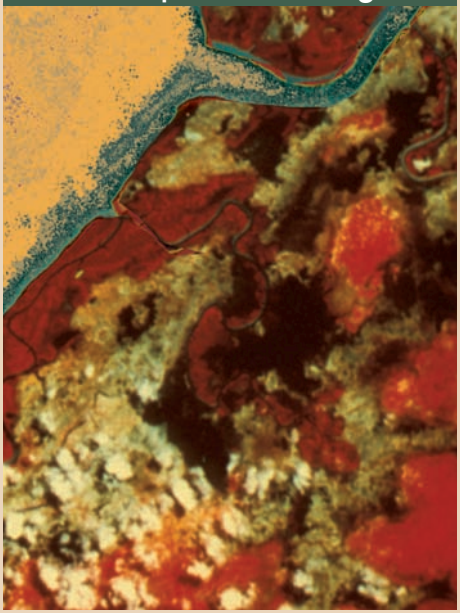
collection **Expertise collégiale**



Expertise réalisée par l'IRD à la demande de l'Institut d'économie rurale (Mali) et avec le soutien du Fonds européen de développement (FED), de l'Union mondiale pour la nature (UICN), de la Coopération technique allemande pour le développement (GTZ) et du Ministère français des Affaires étrangères et européennes (Scac-Ambassade de France au Mali)

Version bilingue

Avenir du fleuve Niger

The Niger River's Future

Coordination scientifique
Jérôme Marie, Pierre Morand, Hamady N'Djim

IRD Éditions
Institut de recherche pour le développement

Avenir du fleuve Niger

Avenir du fleuve Niger

Coordination scientifique
Jérôme Marie, Pierre Morand, Hamady N'Djim

La première partie (synthèse et recommandations) du rapport est présentée sur support papier, successivement en français et en anglais. La seconde partie (analytique) est présentée sur le CD-Rom joint.

IRD Éditions
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT
collection Expertise collégiale
Paris, 2007

Préparation éditoriale
Christian Delvaux

Mise en page
Bill Production

Maquette couverture et intérieur
Pierre Lopez

Traduction en anglais
Cabinet Champolion

Coordination
Département Expertise et Valorisation, IRD

Fabrication
Catherine Plasse

Ce document synthétise les travaux fournis par douze experts pour répondre au mieux, à partir de la connaissance scientifique disponible, à des questions posées par des gestionnaires publics du fleuve Niger et de son environnement au Mali. Conduits par l'IER (Institut d'économie rurale, Mali) et par l'IRD (Institut de recherche pour le développement), les travaux ont bénéficié de soutiens du FED (Fonds européen de développement), de l'UICN (Union mondiale pour la nature), de la GTZ (Coopération technique allemande pour le développement) et du MAE (Scac-Ambassade de France au Mali).

La loi du 1er juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, " toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite " (alinéa 1er de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2007
ISSN 1633-9924 / ISBN : 978-2-7099-1632-5

Composition du collège d'experts

Président

Ousmane Sy,
ministre de l'Administration territoriale et des Collectivités locales
(République du Mali)

Coordinateurs scientifiques

Jérôme Marie (Université Paris-X)

Pierre Morand (IRD)

Hamady N'Djim (Ingénieur conseil)

Membres

Jean-François Bélières (Cirad)

Cheik Cissé (Juriste consultant)

Lassine Diarra (IER - CRRA)

Almoustapha Fofana (DNH)

Pierrick Givone (Cemagref)

Housseini Maïga (DNH)

Mamadou Kabirou N'diaye (IER)

Didier Orange (IRD)

Pierre Sibiri Traoré (Icrisat/IER)

Table des matières

Objectifs et méthodes de l'Expertise collégiale 11
Introduction 15
Présentation du plan adopté pour le rapport de synthèse 15
Rappels généraux 16

■ *Première partie*
Synthèse et recommandations

Situations et tendances, composante par composante 25
Tendances et prospective concernant les forces motrices et autres facteurs forçants 25
Caractérisation et performances des systèmes d'usage du fleuve Besoins et impacts relatifs à son eau 32
État de santé et tendances évolutives de l'écosystème du fleuve Niger 62
Cadre institutionnel et instruments de gestion existants 81
Les problèmes : modes actuels de leur gestion 99
Risques liés à la survenue d'aléas 100
Tensions et modes actuels de leur gestion 109
Menaces sur le futur 117
Difficulté des institutions à mettre en œuvre une gestion efficace de l'environnement et des ressources naturelles 120
Propositions, conclusions et recommandations 125
Mise en place ou consolidation des outils de gestion 125
Conclusions 132
Recommandations 134
Références bibliographiques 139

■ *Annexes*

Annexe 1 – Cahier des charges de l'expertise collégiale 149
Annexe 2 – Présentation du collège d'experts 150

■ *Cartes hors texte*

La population communale au Mali et la vallée du fleuve Niger
Le fleuve et les régions administratives
Le bassin du fleuve et les aménagements

■ *Seconde partie*

Chapitres analytiques (CD-ROM)

1 – Présentation du fleuve Niger
Housseini Maïga, Jérôme Marie, Pierre Morand, Hamady N'Djim, Didier Orange CD-ROM

2 – Variables et régulation de l'eau
Jean-François Bélières, Mamadou Kabirou N'Diaye, Hamady N'Djim CD-ROM

3 – Connaissance du fleuve, évolution et indicateurs
Lassine Diarra, Almoustapha Fofana, Pierrick Givone, Housseini Maïga, Pierre Morand, Didier Orange, Pierre Sibiri Traoré CD-ROM

4 – Prévention des risques
Cheikh Cissé, Laminé Diarra, Almoustapha Fofana, Pierrick Givone CD-ROM

5 – Cadre institutionnel et juridique de gestion de l'activité liée au fleuve Niger
Cheick Cissé, Pierre Morand CD-ROM

6 – Les systèmes d'information environnementaux
Almoustapha Fofana, Pierrick Givone, Jérôme Marie, Pierre Morand, Didier Orange, Pierre Sibiri Traoré CD-ROM

Abréviations

ABFN Agence du bassin du fleuve Niger

ABN Autorité du bassin du Niger

AHA Aménagement hydroagricole

Cemagref Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement

CILSS Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse au Sahel

CIPEA Centre international pour l'élevage en Afrique

Cirad Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

CMDT Compagnie malienne de développement textile

Comanav Compagnie malienne de navigation

DNH Direction nationale de l'hydraulique (Mali)

ENP Étude nationale de prospective

ESP/GRN Équipe systèmes de production et Gestion des ressources naturelles

FAO *United Nations' Food and Agriculture Organization* (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)

FED Fonds européen de développement

Ghenis Gestion hydro-écologique du Niger supérieur

Gire Gestion intégrée des ressources en Eau

GTZ *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (Coopération technique allemande pour le développement)

Huicoma	Huilerie cotonnière du Mali
Icrisat	*International Crop Research Institute for Semi-Arid Tropics*
IER	Institut d'économie rurale
IER-CRRA	Institut d'économie rurale - Centre régional de recherche en agronomie
IRD	Institut de recherche pour le développement
MS	Matière sèche
MAE	Ministère des Affaires étrangères (France)
MDRE	Ministère du Développement rural et de l'Environnement (Mali)
MEA	Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement (Mali)
MES	Matières en suspension
MMEE	Ministère des Mines, de l'Énergie et de l'Eau (Mali)
ON	Office du Niger
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONG	Organisation non gouvernementale
ORM	Office du riz Mopti
PAM	Programme alimentaire mondial
Pirl	Projet inventaire des ressources ligneuses
PIV	Périmètres irrigués villageois
PPIV	Petits périmètres irrigués villageois
SIG	Système d'information géographique
SAP	Système d'alerte précoce
Scac	Services de coopération et d'action culturelle (ambassades de France)
SED	Stratégie énergie domestique
SNDI	Stratégie nationale de développement de l'irrigation
UICN	Union mondiale pour la nature

Objectifs et méthodes de l'Expertise collégiale

Les expertises collégiales sont engagées par l'Institut de recherche pour le développement « sur commande », pour éclairer la décision politique et le débat public sur des enjeux de société : mettre la recherche et les connaissances des chercheurs à la disposition de la collectivité fait partie des missions des établissements publics de recherche.

Cependant, il n'entre pas dans la fonction d'un établissement scientifique de dresser pour les pouvoirs publics des « projets d'action » : les choix d'action sont éminemment politiques, ils font appel à d'autres données, extérieures au monde scientifique. En mettant au point la méthode des Expertises collégiales, l'IRD entend, plus modestement, contribuer à rassembler sur un sujet donné les connaissances disponibles dans la littérature spécialisée, à en dégager la portée dans le cas spécifié, à distinguer les conclusions fermes sur lesquelles les scientifiques peuvent se mettre d'accord, à identifier les points encore controversés et préciser les domaines sur lesquels les travaux disponibles sont insuffisants pour en tirer quelque conclusion pratique que ce soit.

Trois réalités doivent être prises en compte pour réaliser une expertise utile et fiable :

■ le temps de la décision n'est pas celui de la recherche : il est souvent beaucoup plus court. Les citoyens ont besoin que des mesures soient prises vite – parfois en urgence. L'expertise collégiale est organisée afin de faire le point sur les connaissances existantes dans la littérature internationale : elle ne comporte ni collecte de données ni exploitation complexe nouvelle ;

■ la question posée concerne rarement une discipline unique : « toutes les facettes » du problème posé doivent être éclairées en tenant compte de la littérature la plus récente. C'est pourquoi un collège très interdisciplinaire d'une douzaine d'experts est mobilisé. Les conclusions d'ensemble sont débattues et assumées collectivement, en toute responsabilité. L'IRD fait

assurer une relecture scientifique du rapport par des personnalités qualifiées extérieures au groupe d'auteurs pour vérifier la complétude de l'exposé, sa clarté et sa conformité à la littérature internationale. Le groupe d'experts reste maître de ses conclusions ;

■ enfin, le langage des différentes disciplines scientifiques peut apparaître comme hermétique aux décideurs comme aux citoyens. Pourtant, le débat public nécessite qu'ils aient un accès direct aux raisonnements et aux conclusions des experts scientifiques. Ceux-ci doivent donc se plier à un double exercice : présenter leurs analyses dans leur langage habituel pour assurer la « traçabilité » de leurs raisonnements ; élaborer une synthèse simple et assez concise, accessible aux non-spécialistes.

L'agenda des expertises, ainsi que la forme des publications, sont fixés en fonction de ces réalités. En particulier, la première et l'ultime phase de l'expertise ont pris une forme originale pour répondre à ces exigences :

■ avant même de réunir le groupe d'experts, les questions à poser à ces derniers sont mises au point d'un commun accord entre institutions commanditaires (qui souhaitent en général s'entourer d'acteurs-partenaires directement intéressés) et scientifiques au cours d'un « atelier initial ». Il faut, en effet, s'entendre précisément sur les attentes réciproques. D'une part, certaines questions, cruciales pour la décision, ne relèvent pas d'une approche scientifique ; il convient donc de les écarter. D'autre part, pour cibler leurs conclusions, les scientifiques doivent être guidés par une bonne connaissance du contexte dans lequel des décisions doivent être prises ;

■ après rassemblement des données et analyses apportées par chaque expert scientifique dans son champ de compétence, c'est la confrontation des connaissances et des avis qui doit être organisée et les conclusions élaborées collégialement rédigées et publiées sous forme de synthèse accessible à un public relativement large. De telles synthèses, qui représentent un travail considérable rarement réalisé sous cette forme, ont fréquemment une portée (scientifique comme pratique) qui va bien au-delà de la région ou du pays concerné. C'est pourquoi la publication de la synthèse est systématiquement bilingue (français et anglais).

La présente expertise sur l'avenir du fleuve Niger a été réalisée dans cette perspective.

Cette expertise collégiale menée par l'IRD a bénéficié du soutien du Fond européen de développement (FED), de l'Union mondiale pour la nature (UICN),

de la GTZ (Coopération technique allemande pour le développement) et du MAE (Scac Ambassade de France au Mali). Avant de décider s'il faut encourager et faciliter la gestion des ressources naturelles du fleuve Niger, les institutions en charge de l'administration du fleuve souhaitaient savoir quelles en sont les données scientifiques, techniques et financières actuellement connues et ses possibilités de développement au Mali, avec les avantages et les inconvénients prévisibles.

Le cahier des charges mis au point au cours d'un atelier initial a comporté six questions (annexe 1). Un collège de douze scientifiques a été réuni sous la présidence du ministre Ousmane Sy (composition du groupe en annexe 2).

Une présentation des principales conclusions de l'expertise a été organisée à Bamako en juin 2005 sous l'égide du représentant de l'IRD au Mali, Gilles Fédière et du directeur de l'IER Bino Témé, au cours de laquelle les experts ont pu relever remarques et questions complémentaires dont ils se sont efforcés de tenir le plus grand compte. Enfin, le rapport a été soumis à deux relecteurs extérieurs dont les observations ont également conduit à une amélioration de la présentation du rapport.

Conformément aux choix établis pour cette collection, le lecteur trouvera dans l'ouvrage lui-même la synthèse et les conclusions du groupe d'experts, en français et en anglais ; le CD-ROM inclus dans la couverture contenant les six chapitres analytiques sur lesquels s'appuie cette synthèse.

Que soient remerciées très vivement toutes les personnes qui ont bien voulu contribuer à la réalisation de cette publication : en premier lieu, Marianne Berthod-Wurmser, Directrice du département Expertise et Valorisation, sans laquelle ce travail n'aurait pu être mené à bien, Caroline Weill-Giès et Olivier Monga, à l'origine de ce travail. Aux experts eux-mêmes revient la responsabilité de l'expertise et l'essentiel du travail considérable qu'ils ont accompli sous la coordination de Jérôme Marie, Pierre Morand et Hamady N'Djim.

Enfin, tous nos remerciements les plus sincères pour leur lecture approfondie et compétente vont à Yveline Poncet (IRD) et Philippe Mangé (Conseil général du génie rural, des eaux et forêts).

Marie-Laure Beauvais
Chargée de mission Expertise collégiale
Département Expertise et Valorisation

Introduction

Présentation du plan adopté pour le rapport de synthèse

Les termes de référence de l'Expertise collégiale étaient d'apporter une réponse aux six questions posées par les principaux acteurs publics du suivi et de la gestion du fleuve Niger au Mali. Les questions qui avaient été identifiées étant de nature et de niveau très hétérogènes, il ne nous a pas semblé souhaitable d'y répondre, dans un premier temps, point par point. Cela aurait entraîné de nombreuses redites et n'aurait pas permis de dégager l'interdépendance entre les différentes questions posées et les réponses que l'on peut leur apporter. Le rapport présenté ici est, par conséquent, organisé selon un plan qui suit une progression décrite ci-après, plus intégrée et assez linéaire.

Après quelques rappels généraux en fin d'introduction qui présentent de façon générale le fleuve et son cadre environnemental, une longue partie expose ce qui est connu des scientifiques et des experts sur les situations et les tendances en cours, composante par composante, du socio-écosystème (SES) que constituent le fleuve et son bassin. On y décrit, en premier lieu, les « grandes variables motrices » qui résultent de dynamiques générales et qui « s'imposent » à ce système. Il s'agit, d'abord, de la croissance de la population et de ses besoins en nourriture et en énergie et ensuite, de la dynamique climatique de cette partie du continent africain. Suit une description des situations et des tendances concernant, au Mali, les « systèmes d'usage du fleuve (de son eau mais aussi de l'espace et des écosystèmes qui l'environnent) », c'est-à-dire : les aménagements pour la production électrique et agricole, l'agriculture, la pêche, l'élevage, l'utilisation domestique et industrielle des eaux du fleuve et la navigation. Ces différents systèmes d'usage sont décrits en termes d'importance économique pour le pays, de performances productives et de besoins et d'impacts par rapport à l'eau du fleuve. Le point suivant présente ce que l'on sait de la situation et les tendances concernant les composantes de l'écosystème fleuve Niger au sens large : les ressources en eaux de surface et en eaux souterraines considérées du point de vue de leur abondance et de leur qualité, la stabilité géomorphologique,

la fertilité des sols, la végétation et la flore, les peuplements de poissons et la faune sauvage. Enfin, le dernier chapitre de cette partie présente la situation de l'appareil de gouvernance et des instruments de gestion qui le composent ainsi que leur mode actuel de mise en œuvre.

La troisième partie utilise les informations précédemment fournies pour analyser de façon concise les problèmes – classés respectivement en risques d'aléa, en tensions et en menaces – que la gestion du fleuve Niger doit affronter. Ces problèmes naissent souvent, en effet, à la conjonction des dynamiques de différentes composantes, humaines et naturelles, dont les besoins ou les impacts, variés par nature, rentrent en friction ou en contradiction. Plusieurs des problèmes ainsi analysés correspondent d'ailleurs, de façon étroite, à des questions qui ont été posées dans les termes de référence.

Enfin, une quatrième partie tente de proposer des outils et des options de gestion qui, à l'avenir, pourraient permettre de mieux maîtriser les difficultés identifiées et d'assurer à la région du fleuve Niger au Mali, à ses populations et à son environnement, un avenir plus serein.

C'est en rassemblant le contenu de ces quatre parties que l'on peut fournir, de la façon la plus complète et claire possible, des réponses aux six questions posées dans les textes de référence. Toutefois, pour aider le lecteur de cette synthèse qui ne serait intéressé que par les informations se rapportant à une seule des six questions, un tableau de correspondance est présenté ci-contre (tableau 1).

Rappels généraux

Le Mali

S'étendant entre les latitudes 10°30 et 25°00 et les longitudes 12°00 ouest et 4°00 est sur les zones soudanienne, sahélienne et désertique, le Mali est un pays enclavé de l'Afrique de l'Ouest qui couvre une superficie de 1 240 000 km^2. Les climats sont caractérisés par l'alternance d'une longue saison sèche de 6 à 9 mois et d'une courte saison humide au cours de laquelle se produit la presque totalité des précipitations. Son relief, peu contrasté, est constitué de plateaux et de plaines avec des systèmes dunaires bien développés dans les régions nord et est. La moitié sud du Mali est parcourue, selon un axe sud-ouest à nord-est, par le fleuve Niger.

Tableau 1 – Tableau de correspondance questions/points de traitement

Questions (textes de référence)	Point de traitement (principal)	Autres points de traitement
1 – « Allocation de l'eau entre les usages, à large échelle (Mali, bassin) »	– « Caractérisation et performances des systèmes d'usage du fleuve. Besoins et impacts relatifs à son eau » p. 32-62 – « Tensions et modes actuels de leur gestion » p. 109-117	– « Facteurs forçants climatiques sur le bassin du Niger » p. 29-32 – « Menaces sur la sécurité alimentaire à l'échelon national » p. 118-119 – « Mise en place ou consolidation des outils de gestion » p. 125-132 – « Troisième recommandation : éléments pour des options stratégiques équilibrées » p. 136-137
2 – « Gestion de l'eau dans les aménagements hydroagricoles »	– « L'agriculture » p. 40-52 – « Fertilité des sols » p. 69-70 – « Faible efficience d'utilisation de l'eau par les AHA » p. 114-116	– « Ressources et peuplements végétaux » p. 70-75 – « Approche par fonctions opérationnelles : quelques exemples » p. 89-91
3 – « L'état de santé de l'écosystème et son évolution »	– « Etat de santé et tendances évolutives de l'écosystème du fleuve Niger » p. 62-81	– « Facteurs forçants climatiques sur le bassin du Niger » p. 29-32 – « Mise en place ou consolidation des outils nécessaires à la gestion » p. 125-132
4 – « Risques aigus survenant à la suite d'aléas »	– « Risques liés à la survenue d'aléas » p. 100-109	– « Facteurs forçants climatiques sur le bassin du Niger » p. 29-32
5 – « Institutions »	– « Cadre institutionnel et instruments de gestion existants » p. 81-97 – « Difficulté des institutions à mettre en œuvre une gestion efficace de l'environnement et des ressources naturelles » p. 120-124	– « Deuxième recommandation : poursuivre les évolutions du cadre institutionnel » p. 135-136
6 – « Systèmes d'information »	– « Les fonctions d'information et de suivi » p. 91-97 – « Mise en place ou consolidation des outils nécessaires à la gestion » p. 125-132	– « Première recommandation : consolider la connaissance scientifique » p. 134-135

Le fleuve Niger, et plus particulièrement le moyen Niger, a joué un rôle considérable dans l'histoire de l'Afrique occidentale. Sous l'empire du Mali (XIIIe siècle), la ville de Djenné, dont la fondation remonte au début de l'ère chrétienne, acquiert un rôle prééminent dans le commerce transsaharien avec les états arabes de la Méditerranée. La prospérité de la ville, fondée sur le commerce de l'or, du sel et des esclaves, culmine entre 1450 et 1650 et coïncide avec l'apogée de l'empire de Gao. Au début du XVIe siècle, l'établissement, sur la côte du Golfe de Guinée, des portugais qui détournent alors le commerce de l'or à leur profit entraîne la chute de l'empire de Gao dont la capitale est conquise par une expédition marocaine en 1591. Après cette date, le moyen Niger perd son rôle de plaque tournante du grand commerce transsaharien, mais reste très actif dans un commerce régional fondé sur le sel, le riz, le poisson et le bétail. Au XIXe siècle, avant la conquête coloniale, le delta intérieur du Niger est le siège d'une dernière grande construction étatique : l'empire peul du Macina (1818-1862). Celui-ci crée une remarquable organisation du territoire qui influence encore fortement de nos jours le fonctionnement de l'élevage. Il reste toujours, dans la mémoire collective, le référent des règles régissant l'utilisation des terres, de l'eau et des ressources naturelles régionales (Gallais, 1967).

Le fleuve Niger

Le Niger est un fleuve très long qui s'écoule sur près de 4 200 km entre sa source en Guinée et son embouchure au Nigeria. Sur les 1 700 km de son cours supérieur et moyen, le fleuve traverse le Mali, orienté d'abord du sud-ouest vers le nord-est, puis vers l'est et enfin vers le sud au moment de quitter le Mali pour le Niger. Dans ce pays, le bassin versant du fleuve s'étend sur environ 300 000 km^2, ce qui représente 20 % de la superficie totale de son bassin.

Le régime du fleuve Niger est de type tropical et il est animé de très amples variations saisonnières et interannuelles. Le débit du fleuve s'inscrit ainsi dans une large gamme de valeurs : à Mopti, par exemple, un facteur 100 existe entre les minima (de moins de 30 m^3/s) et les maxima (plus de 3 000 m^3/s) couramment enregistrés. Au-delà de Mopti – si l'on excepte le Yamé qui dévale du plateau de Bandiagara – le fleuve ne reçoit que très peu d'affluents actifs jusqu'à Niamey. De surcroît, les apports de ces petits affluents (le Gorouol, le Dargol et le Sirba) modifient si peu le régime du fleuve que l'on

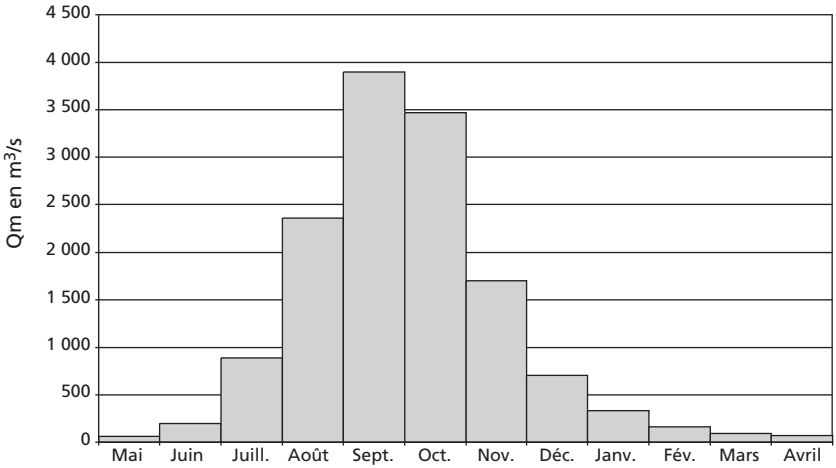
peut parler d'une véritable « traversée du désert ». Le Niger, un peu à la façon du Nil traversant le Sahara oriental, y perd ici la moitié de son eau.

Dans son cours supérieur et moyen, la crue saisonnière du Niger est alimentée par les pluies d'hivernage de façon très régulière en termes de calendrier mais assez variable (d'une année à l'autre) en termes de volume. Le maximum de cette crue se situe en septembre à Bamako, en octobre ou au début de novembre à Mopti, en décembre à Kabara (Tombouctou) et vers la fin de janvier à Gao. La crue est suivie par une période de décrue qui dure jusqu'en décembre, janvier ou février selon les points considérés (d'amont en aval), puis par une période d'étiage (basses eaux) très accusée et qui se prolonge jusqu'en mai, juin ou juillet selon les points. Vers l'aval (Gao au Mali ou Niamey au Niger), les étiages peuvent être véritablement très bas. À Niamey, ils ont été inférieurs à 20 m^3/s en 1943, 1944, 1945, 1947, 1948 et 1950. En 1975/76 et en 1984/85, un quasi arrêt de l'écoulement a même eu lieu.

Il faut enfin rappeler que le fleuve Niger est la plus importante ressource en eau du Mali : il a, en effet, un potentiel d'écoulement de 46 milliards de m^3 par an à Koulikoro contre 10 milliards de m^3 par an pour le fleuve Sénégal à Kayes.

Figure 1

Cycle annuel moyen de débit à la station de Ké-Macina (moyen Niger, Mali)

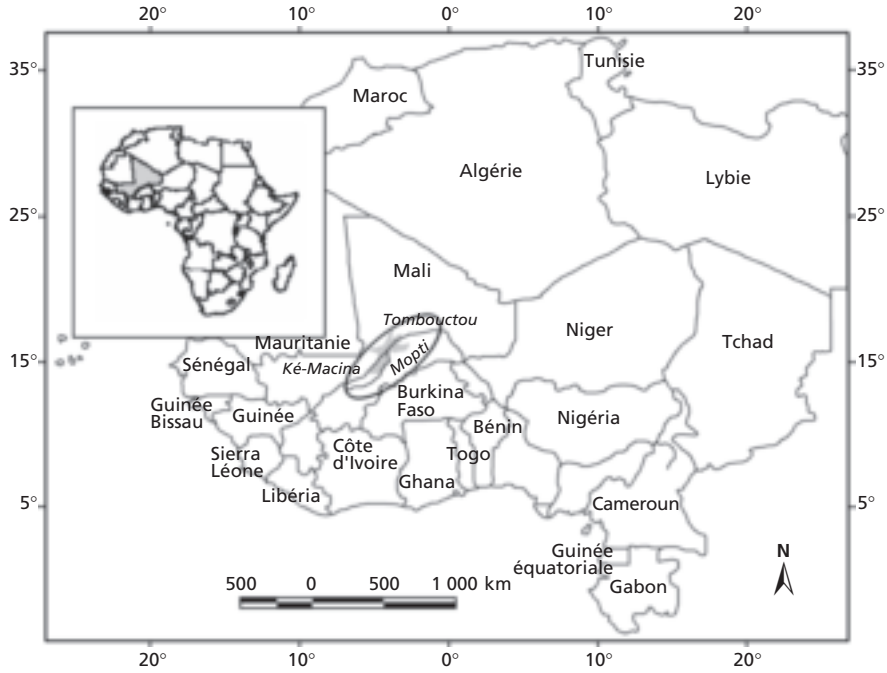


Le delta intérieur du Niger

Encore connu sous les noms de « delta central » ou de « cuvette lacustre », le delta intérieur du Niger constitue l'un des traits les plus remarquables de l'hydrographie du Mali. Situé en pleine zone sahélienne semi-aride, c'est une vaste zone inondable d'environ 40 000 km^2 qui s'étire selon un axe SO-NE (de Ké-Macina à Tombouctou) sur plus de 350 km, entre les parallèles 13° et 17° nord et les méridiens 2°30 et 6°30 ouest. Il est parcouru par un réseau très dense et hiérarchisé de défluents alimentés par le fleuve Niger et par son affluent le Bani qui le rejoint à Mopti. Entre Ké-Macina et le lac Débo, le delta intérieur se compose d'un ensemble de cuvettes et de plaines qui sont normalement inondées chaque année (si la crue n'est pas trop

Figure 2

Le Mali, le fleuve Niger et le delta intérieur du Niger (ellipse)



faible) et qui constituent l'une des plus grandes zones humides d'Afrique. Au-delà du lac Débo, les écoulements, entravés par des barrages dunaires naturels, alimentent irrégulièrement de nombreux lacs à travers un vaste système de chenaux.

Le cadre climatique

La division de l'année en saisons est conditionnée par le déplacement de deux grands anticyclones subtropicaux : l'anticyclone du Sahara, de direction nord-est/sud-ouest, qui donne naissance à un vent sec et chaud, l'harmattan, et l'anticyclone de Sainte-Hélène, responsable de la mousson, qui est un vent maritime tiède et très humide de direction sud-ouest/nord-est. Le contact dynamique de ces deux masses d'air, celle, chaude et sèche, provenant du nord (harmattan) et celle, humide, provenant du sud (mousson), constitue la Zone inter-tropicale de convergence (ZITC). Sa trace au sol est appelée le Front intertropical (FIT) au passage duquel sont liées les pluies. Le FIT suit une oscillation de direction générale sud-nord-sud au cours de l'année. Pendant la période de juillet à septembre, sa position est septentrionale. De décembre à février, le FIT occupe sa position la plus méridionale. La montée en latitude du FIT est lente et irrégulière (6 mois) alors que le retour vers l'équateur est rapide (4 mois).

En relation avec ce phénomène atmosphérique cyclique, l'année climatique malienne se divise en une saison sèche dont la longueur varie de neuf mois au nord à cinq ou six mois au sud et une saison humide, ou « hivernage », qui s'étend d'avril à octobre au sud du Mali mais seulement de juillet à septembre au nord. En début et en fin d'hivernage, les pluies sont surtout des pluies d'est, liées aux lignes de grains particulièrement importantes aux latitudes sahéliennes. Pendant la saison sèche, le vent venu du nord-est a un effet desséchant qui accentue en avril-mai l'effet des températures élevées qui règnent alors sur l'ensemble du pays.

Les totaux pluviométriques mensuels et annuels (plus de 1 400 mm/an au sud de Sikasso et moins de 100 mm/an à la latitude de Tessalit) traduisent une diminution des précipitations au fur et à mesure que l'on s'élève en latitude. Cette distribution est inverse à celle de l'évapotranspiration (moins de 1 700 mm/an au sud de Sikasso, plus de 2 500 mm/an à Tessalit). Dans tous les cas, la pluviométrie est maximale au mois d'août.

Pour mieux caractériser ce gradient climatique sud-nord, on fait en général référence à quatre zones :

■ la zone soudano-guinéenne (située au sud de la ligne Bougouni-Sikasso et couvrant le Niger supérieur et le Haut Bani) : les précipitations annuelles dépassent 1 100 mm avec une saison des pluies d'une durée de sept à huit mois ;

■ la zone soudanienne (centrée sur une ligne Bamako-Ségou-San) : les précipitations annuelles varient de 1 100 à 600 mm et la saison pluvieuse a une durée inférieure à six mois ;

■ la zone sahélienne (située au nord de Mopti et couvrant le delta central et la boucle du Niger) : les précipitations annuelles sont comprises entre 600 et 100 mm et la saison des pluies ne dure que trois mois, de mi-juin à mi-septembre ;

■ la zone saharienne ou désertique (située au nord d'une ligne Tombouctou-Bourem) : les précipitations annuelles sont inférieures à 100 mm. Les pluies tropicales, rares, surviennent entre juin et septembre. Une pluie de saison froide est parfois enregistrée en janvier ou en février.

Synthèse
et
Recommandations

Situations et tendances, composante par composante

Tendances et prospective concernant les forces motrices et autres facteurs forçants

Les évolutions de la société malienne et de ses besoins

L'examen de la situation et des tendances – prolongées de façon prospective jusqu'en 2025 – de la population malienne et de ses besoins s'appuie essentiellement sur les informations fournies par l'« Étude nationale prospective Mali 2025 » (ENP, 2003).

La population du Mali : situation, tendances en cours et prospective sur 2025

La population du Mali était de 9,8 millions d'habitants au recensement de 1998. Cette population est inégalement répartie sur l'étendue du territoire national. En 1987, 65 % de la population vivait sur 25 % du territoire national, dans sa partie sud. En 1998, ce contraste s'était encore accentué puisque 30 % seulement du territoire national renfermait alors 91 % de la population résidente. La densité moyenne sur le territoire national est passée de 6,2 habitants au km^2 en 1987 à 7,9 habitants au km^2 en 1998, avec de fortes disparités selon les régions. En effet, si on relève dans la région de Tombouctou une densité inférieure à 1 habitant par km^2, on note dans la région de Ségou 25,9 habitants au km^2 en 1998. Enfin, le taux d'accroissement naturel qui était de 3,7 % entre 1976 et 1987 est encore de plus de 3 % par an entre 1987 et 1998. Ce rythme naturel de croissance de la population est considéré comme élevé car, en dehors de tout phénomène de migration, il aboutit à un doublement de la population tous les 24 ans. Toutefois, cette forte croissance naturelle est contrebalancée par une forte émigration de la population, ce qui fait du Mali un pays à croissance démographique effective plutôt modérée. En effet, la population résidente n'a augmenté que de 1,8 % en moyenne entre 1976 et 1987 et de 2,3 % entre 1987 et 1998. Ce taux de croissance annuel moyen sur cette dernière période

a cependant été contrasté, atteignant 4,5 % en milieu urbain mais seulement 1,2 % en milieu rural.

Á l'horizon 2025, la population future est estimée entre 16 et 20 millions d'habitants selon les scénarios. La population rurale ne représenterait plus que 51 % du total (environ 9 millions) pour 73 % aujourd'hui. Les plus fortes augmentations de population auront lieu à Bamako, où la population aura doublée, et dans les villes du nord. Mais, en valeur absolue, la région de Bamako et celle de Ségou-Mopti resteront les plus fortes concentrations du pays avec respectivement 2,9 millions et 2,4 millions d'habitants. Ce « triangle » Bamako-Ségou-Mopti représentera d'ailleurs les trois quarts de la population urbaine.

Évolution des besoins alimentaires à l'horizon 2025

La population malienne consomme principalement des céréales (204 kg/personne/an) auxquelles s'ajoutent, en quantité limitée, de la viande, du poisson et des légumes. Il faut noter que la population urbaine consomme un peu moins de céréales (180 kg/personne/an) mais davantage de viande, de poisson et de légumes que la population moyenne qui est encore en majorité rurale.

Tableau 2 – Évolution de la consommation alimentaire au Mali sur la base des données de l'enquête budget consommation de la DNSI en 1988/89 (en tonnes)

Produit alimentaire	1995	2005	2015	2025
Céréales				
– milieu urbain	427 486	702 961	1 144 973	1 544 590
– milieu rural	1 621 000	1 858 861	2 166 096	2 399 282
Fruits et légumes				
– milieu urbain	58 633	103 800	169 068	233 637
– milieu rural	51 169	58 676	68 375	75 735
Viande				
– milieu urbain	25 625	45 365	73 891	102 111
– milieu rural	32 063	36 767	42 844	47 457
Poisson				
– milieu urbain	27 459	48 612	79 178	109 418
– milieu rural	60 093	68 911	80 301	88 945

À l'horizon 2025, le Mali devra produire entre quatre et cinq millions de tonnes de céréales par an afin de satisfaire les besoins d'une population croissante. À l'exception des céréales pour lesquelles la consommation urbaine n'atteindra « que » 40 % de la production nationale, les marchés urbains absorberont en 2025 la plus importante part (55 à 75 %) de la production en poisson, en viande et en fruits et légumes, contre moins de la moitié en 1995. La consommation alimentaire des villes en produits nationaux aura ainsi augmenté 3,5 fois plus vite que celle du milieu rural sur la période 1995-2025.

Les productions de céréales, de poisson, de fruits et légumes et de viande devront donc doubler, voire tripler, d'ici 2025. Pour atteindre cet objectif, la croissance des surfaces cultivées ne suffira pas, l'augmentation des rendements devant devenir le facteur principal de la croissance de la production.

Évolution des besoins en énergie du Mali à l'horizon 2025

Les sources d'énergie traditionnelles (essentiellement le bois et le charbon de bois) représentent jusqu'à aujourd'hui la plus grande part (environ 90 %) de l'énergie consommée au Mali. Une autre part, assez importante, est représentée par les carburants utilisés par les véhicules ainsi que par le gaz domestique.

La consommation d'énergie électrique – qui est celle qui concerne le plus directement la gestion du fleuve – représente jusqu'à ce jour une part relativement modeste, mais elle est en forte augmentation. Au Mali, on peut associer très étroitement l'évolution de la consommation électrique à celle de la production d'énergie électrique dans la mesure où le pays est quasiment en autarcie pour cette ressource qui n'était ni importée ni exportée jusqu'en 2002. Les choses ont un peu changé depuis, bien qu'il ne s'agisse pas d'une exportation au sens de la balance commerciale, avec l'approvisionnement du Sénégal et de la Mauritanie par le courant de Manantali.

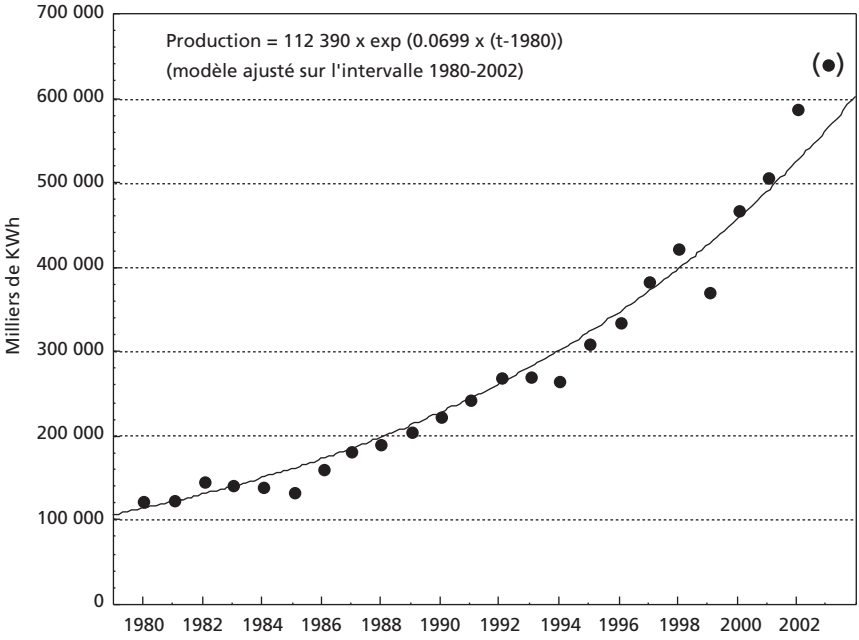
Selon l'Étude nationale de prospective (ENP, 2003), la production d'électricité a été multipliée par 4,8 entre 1980 et 2002, soit un taux de croissance annuelle moyen de 6,99 % (fig. 3). Ce chiffre est à rapprocher du rythme de croissance de la population générale (1,8 % par an) et surtout, du rythme de croissance de la population urbaine (4,5 % par an), puisque, seules, les villes sont pour l'instant concernées par l'électrification en réseau. Mais il faut tenir

compte aussi de l'extension du réseau qui était limité dans les années 1980 aux principales villes et qui s'élargit sans cesse, incluant un nombre croissant de villes moyennes et même de villes petites (26 villes électrifiées en 2002). Ce qui fait que le nombre d'abonnés croit plus vite que la population urbaine. Par exemple, il est passé de 66 000 à 102 000 entre 1995 et 2001, soit un rythme annuel d'augmentation de 7,25 %. On retrouve bien là une valeur de croissance voisine de celle de la production électrique.

Selon cette même étude, le taux de croissance de la population urbaine devrait se maintenir à 4,5 % pour aboutir à une population urbaine prévisible de 9,15 millions d'habitants en 2025 (au lieu de 3,2 millions en 2002). Comme il est prévu que la totalité des villes de plus de 20 000 habitants ainsi qu'un certain nombre de petites villes de moins de 20 000 habitants (soit 93 villes au

Figure 3

Évolution de la production électrique au Mali



Source : ENP, 2003

total) soient alors desservies par un réseau électrique, cela représenterait une population potentiellement connectée de 8,4 millions d'habitants (44 % de la population totale du pays) à comparer au 1,75 million d'habitants vivant dans les 26 villes connectées en 2002 (soit 16,5 % de la population totale). Il est donc logique de prévoir jusqu'en 2025 une poursuite de la hausse de la consommation d'électricité au même rythme que celui observé durant les deux dernières décennies, c'est-à-dire de l'ordre de 6,5 à 7 % par an. Cela ferait passer la consommation effective d'électricité de 430 000 millions de KWh (soit 0,43 TWh) en 2003 à environ 2,00 TWh en 2025, soit une multiplication prévisible de la consommation par un facteur quatre à cinq.

Facteurs forçants climatiques sur le bassin du Niger

Un climat marqué par plusieurs modes de variabilité

Selon Hulme (2001), il n'est pas vraiment possible de définir de valeurs moyennes qui seraient qualifiables, dans la zone nord soudanienne et sahélienne, de « normales » en matière de pluviométrie. La normalité de ce climat est en fait sa grande variabilité affectant plusieurs échelles de temps. Mais, l'imbrication de ces échelles de variabilité a longtemps freiné la compréhension des processus moteurs et par conséquent, la capacité à identifier des tendances et à modéliser les changements. Le terme de « tendance » doit être ici examiné avec une grande circonspection : ce qui peut apparaître comme la tendance à une échelle de temps donnée peut, en fait, être la partie d'un cycle sur une échelle de temps plus longue.

Suivant l'approche de Ward (1998) qui a démontré l'intérêt de distinguer les oscillations climatiques qui se déroulent selon différentes périodicités (ou fréquences), nous tentons ici de décomposer la variabilité du climat soudano-sahélien en plusieurs composantes individualisées et de montrer lesquelles de ces composantes peuvent être reliées à ce qui est perçu comme la « tendance » par les êtres humains à l'échelle décennale.

Variabilité de la structure interne de la saison des pluies

Le Barbé et Lebel (1997) ont montré que les baisses de pluies sur le Sahel durant les décennies récentes sont essentiellement associées à une baisse des précipitations durant les mois centraux de la saison des pluies (juillet-août), alors que la durée totale de la saison des pluies ne change pas significativement. Selon d'Amato et Lebel (1998), il s'agirait, plus précisément, d'une baisse de la

fréquence des passages cycloniques durant ces deux mois centraux. Ainsi, l'étude des modifications de la structure de la saison des pluies peut conduire à la compréhension des mécanismes intimes de la dynamique de la mousson et par conséquent, à des hypothèses sur les facteurs qui créent les tendances affectant les quantités totales de pluies sur le moyen et sur le long terme.

Variabilité inter-annuelle des quantités totales de pluie

Cette variabilité caractérise les variations enregistrées d'une année à la suivante ou d'un petit groupe d'années (2 ou 3 ans) à celui qui le suit. Cette échelle de variabilité existe, mais elle est en importance relative, plutôt moindre que dans d'autres régions d'Afrique. Les oscillations à périodicité quasi-quinquennale, quasi-triennale ou quasi-biennale ne représentent en effet guère que 15 à 20 % de la variabilité totale. Ceci signifie qu'en règle générale, les années qui se suivent tendent à se ressembler du point de vue de la pluviométrie plutôt qu'à s'opposer. Toutefois, il semble que ce constat statistique établi par les météorologues examinant les séries longues du siècle passé ne soit plus valable pour la toute dernière décennie qui est, au contraire, caractérisée par de fortes oscillations interannuelles avec des années sèches (1996, 1997, 2000, 2002, 2004) étroitement entremêlées aux années pluvieuses (1994, 1995, 1998, 1999, 2001, 2003, 2005).

Variabilité inter-décennale des quantités totales de pluie

Une grande proportion de la variabilité du climat soudano-sahélien relève de cette échelle de temps que l'on qualifie aussi de fluctuation à basse fréquence. Selon Moron (1997), il existerait une pulsation quasi-décennale de périodicité sur 12-13 ans qui représenterait, à elle seule, 12 à 14 % de la variabilité. Les durées « typiques » de phases sèches ou de phases humides seraient donc plutôt de 5 à 10 ans. La double décennie sèche de 1973 à 1993 pourrait être rattachée à cette catégorie de variabilité même si elle en constitue une sorte d'anomalie par sa durée très longue.

Variabilité multi-décennale des quantités totales de pluie

On peut classer dans cette catégorie les évolutions qui se révèlent à l'échelle du siècle et de l'histoire. Il semble qu'il existe – certainement depuis la fin du XIXe siècle et vraisemblablement depuis le XVIIe siècle (Hulme, 2001) – une tendance à la décroissance progressive de la pluviométrie sur cet horizon très long. Cette tendance affecterait également le Sahara qui est d'ailleurs connu pour avoir été beaucoup plus vert (et riche en faune) à l'époque pré-

historique qu'aujourd'hui. Mais, compte tenu de la variabilité interdécennale très forte, une telle tendance historique n'empêche pas que des épisodes très pluvieux de plusieurs années puissent encore se produire à l'avenir comme cela a été le cas vers le milieu du XXe siècle.

Par rapport à l'ensemble des variabilités décrites, il semble que les conditions de surface au sol jouent un rôle d'amplification des oscillations climatiques ; c'est-à-dire qu'elles tendraient à renforcer les situations pluviométriques en cours (*feed back positif*) avec une certaine inertie. Ceci est peut être un facteur d'explication de la prédominance de la variabilité interdécennale sur la variabilité interannuelle.

Changements perçus et discutés par les humains

Une succession d'épisodes humides et pluvieux a été documentée dans les archives coloniales depuis le début du XIXe siècle. On sait ainsi qu'un épisode très sec s'est produit dans la première moitié du XIXe siècle, vraisemblablement d'intensité et de durée comparable à celui de 1973-93. Un autre épisode sec très marqué s'est produit au début du XXe siècle. Par contre, les années 1950 à 1960 ont été anormalement humides, ce qui s'est traduit par des crues très puissantes (fig. 4).

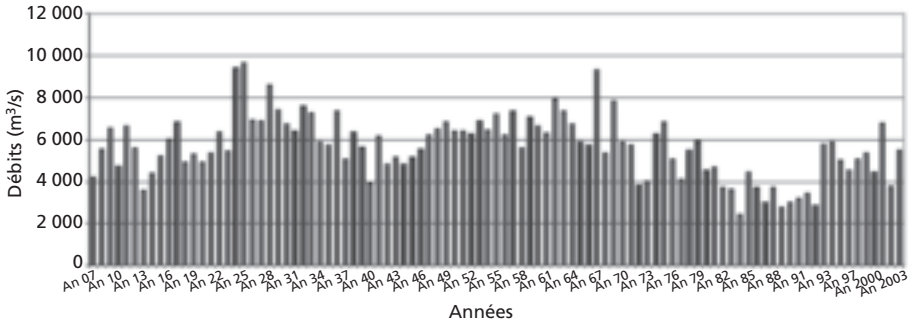


Figure 4

Débits maximums du fleuve Niger à Koulikoro

Pour illustrer les différentes échelles de la variabilité soudano-sahélienne, notamment interannuelle et interdécennale, la série des débits maximums du fleuve Niger à Koulikoro constitue un bon témoignage sur le dernier siècle même si un artefact (la création d'un barrage à Sélingué) est intervenu à partir de 1982.

Aujourd'hui, l'idée d'une baisse permanente de la pluviométrie est trop souvent véhiculée comme une évidence indiscutable d'autant qu'elle est souvent associée à la notion de « désertification ». Or, celle-ci est davantage liée à des phénomènes d'érosion des sols plutôt qu'à une « avancée » du désert.

Un autre sujet d'importance est celui du réchauffement climatique global qui semble affecter la zone ouest-Africaine de la même façon que le reste du monde depuis le début du XXe siècle. Ces effets sur la saison des pluies restent cependant mal connus.

Prévisions/prospectives

Contrairement à ce qui a pu être obtenu pour d'autres régions du monde (l'Afrique australe), les modèles d'évolution climatique les plus récents développés dans le cadre des travaux sur le *global change* ne fournissent pas, à l'horizon 2100, de prédictions stables et univoques pour la zone soudano-sahélienne. Il y a donc lieu de reconnaître aujourd'hui une certaine impossibilité à attribuer à cette zone une tendance d'évolution climatique à long terme. On dispose de modèles proposant des scénarios sur le siècle avec augmentation de la température au sol. Ces modèles aboutissent à une fourchette de prévision très large en termes de pluviométrie (- 20 % à + 40 %). Ainsi, nous ne disposons d'un large consensus que sur l'augmentation de la température et sur l'absence de prévisibilité de l'évolution de la pluviométrie. Il faudrait donc raisonner, à long terme, sur plusieurs scénarios.

Des résultats assez stables ont cependant été obtenus par les modèles de simulation concernant l'évolution de la pluviométrie à moyen terme jusque vers 2040. Ils laissent espérer que la période normale à légèrement excédentaire qui prévaut depuis 1994 pourrait se poursuivre jusqu'à cette date (fig. 5).

Caractérisation et performances des systèmes d'usage du fleuve. Besoins et impacts relatifs à son eau

Les grands ouvrages hydrauliques

En comparaison à d'autres grands fleuves du monde, on peut dire que le Niger reste jusqu'à ce jour un fleuve assez peu aménagé. Cela est particulièrement vrai pour son cours supérieur et moyen : entre les sources et Niamey, il n'existe que trois ouvrages, tous situés dans la partie malienne du

Source : McCarthy *et al.*, 2001

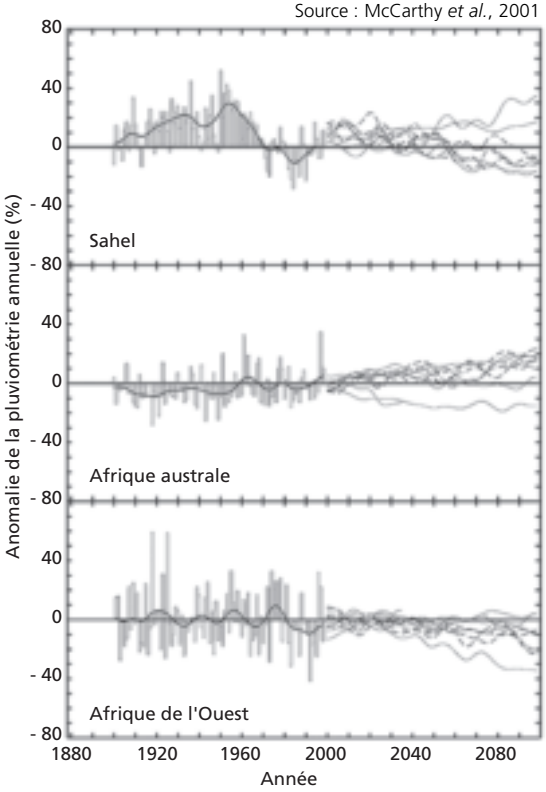


Figure 5

Anomalies de pluviométrie observées et simulées, en déviation (%)

fleuve. D'amont en aval, il s'agit des ouvrages de Sélingué, de Sotuba et de Markala. Ces aménagements n'ont d'ailleurs pas du tout le même niveau d'importance.

Sélingué

Depuis 1982, les débits du fleuve Niger sont partiellement contrôlés par le barrage de Sélingué situé sur son affluent, le Sankarani, à environ 60 km de son confluent avec le Niger, soit à 150 km en amont de Bamako.

L'ouvrage lui-même est constitué d'une digue en terre d'une longueur totale de 600 m en deux tronçons qui encadrent l'ouvrage central composé d'un déversoir en huit volets déversants de 13 x 5 m^2 chacun et d'une vanne

en secteur central de 14 x 11 m^2. Ce déversoir est dimensionné pour évacuer en ce point la crue millénaire estimée à 3 500 m^3/s. La production d'électricité est confiée à une centrale hydroélectrique équipée de quatre turbines Kaplan de 11,9 MW chacune. Une prise d'irrigation permet de desservir un périmètre irrigué de 1 500 ha destiné aux populations déplacées par le barrage, mais les prélèvements directs exercés par Sélingué pour l'irrigation sont très faibles.

La zone de retenue s'étend sur deux vallées fluviales de 65 km de longueur chacune. Lorsque le lac de retenue est à son niveau maximal (cote 348,5 m atteinte chaque année fin septembre), son volume s'élève à 2,63 milliards de m^3 et sa surface est de 430 km^2.

Le barrage de Sélingué est géré avec un remplissage total en quelques semaines (entre les derniers jours de juillet et le 20 septembre) par la crue naturelle annuelle, puis avec une phase de déstockage et de turbinage au fur et à mesure que les besoins d'électricité et de soutien de débit aval augmentent, de janvier à juin, pour atteindre finalement une vidange quasi-totale début juillet. Le volume résiduel est alors inférieur à 10 % du volume plein. Sur l'ensemble d'un cycle annuel et si l'on s'en tient à des termes qualitatifs, l'effet du barrage sur le débit aval est donc simple à décrire : il s'agit d'une « régulation » avec écrêtage de la crue puis soutien du débit d'étiage. Sélingué est d'ailleurs le seul ouvrage qui dispose d'une capacité de soutien des débits d'étiage, tant pour l'approvisionnement en eau de l'Office du Niger en fin de saison sèche que pour celui de la ville de Niamey située pourtant à près de 1 500 km en aval.

Du point de vue des gestionnaires, l'utilisation du barrage comme soutien des débits d'étiage en aval a fait l'objet de grandes attentions avec, notamment, les consignes suivantes : maintien d'une cote minimale de 60 cm à l'échelle de Koulikoro et débit minimum garanti de 40 m^3/s en aval de Markala.

L'effet du remplissage de la retenue sur la crue annuelle du Sankarani (et donc sur celle du Niger, en aval) n'a par contre guère suscité l'attention. On peut cependant estimer que l'écrêtement du pic de crue doit être de l'ordre de 400 m^3/s qui sont donc retirés à ce que serait la crue naturelle en aval en l'absence de barrage. En effet, le fait d'avoir à remplir environ 2 milliards de m^3 en huit semaines conduit nécessairement à prélever de l'ordre de 413 m^3/s

(en moyenne) durant ce même laps de temps. Il faut noter que cette phase de remplissage, donc de prélèvement, affecte la totalité de la phase de montée naturelle des apports du Sankarani, pic de crue inclus, puisqu'elle se poursuit jusque vers le 20 septembre.

Sotuba

Situé sur le fleuve Niger au niveau de Bamako, le barrage des aigrettes de Sotuba est un barrage au fil de l'eau qui produit de l'électricité pour la capitale. Il exerce aussi un prélèvement pour irriguer le modeste périmètre agricole de Baguinéda. Mais ce prélèvement est faible (0,22 km^3/an) et l'on peut donc considérer comme négligeable l'influence de l'aménagement de Sotuba sur le régime du fleuve en aval.

Markala

Le barrage de Markala est un ouvrage au fil de l'eau en service depuis 1947. Il est situé sur le Niger à environ 250 km en aval de Bamako. Il est formé d'une digue en terre de 1 813 m de longueur et d'un barrage, à hausses mobiles à plusieurs positions, de 816 m de longueur créant une retenue aux basses eaux et s'effaçant complètement sur le radier pendant les moyennes et les hautes eaux. Barrage de dérivation, il maintient un plan d'eau à une cote qui permet l'alimentation par gravité des périmètres irrigués de l'Office du Niger.

Le réseau de canaux à partir de la retenue est constitué, en rive gauche, par le canal adducteur qui a une capacité nominale de 200 m^3/s partagés ensuite entre le canal du Sahel, le canal du Macina et le canal Costes-Ongoïba. Ces canaux alimentent 77 200 ha de périmètres irrigués de l'Office du Niger en maîtrise totale de l'eau (cultivés en riz et maraîchage), 3 000 ha en submersion contrôlée de l'Office Riz Ségou (cultivés en riz) et enfin, 5 000 ha (cultivés en canne à sucre) dans les périmètres agro-industriels de la Sukala.

Le prélèvement annuel d'eau exercé par Markala pour l'Office du Niger et estimé à près de 2,6 milliards de m^3 est petit par rapport à l'apport annuel moyen du fleuve qui est de 46 milliards de m^3 en ce point. Cependant, au moment de la période d'étiage, les prélèvements exercés représentent 50 % à 80 % de l'apport du fleuve. Outre cet impact assez important sur le débit aval en étiage, le barrage de Markala a également un impact sur la crue puisqu'il prélève, pratiquement sans retour vers le fleuve, 150 m^3/s durant cette période.

La gestion du barrage vise d'abord à satisfaire l'objectif prioritaire qui est de maintenir le plan d'eau à une cote de consigne (300,10 m en étiage - 300,54 m en crue) pour assurer l'irrigation gravitaire des périmètres de l'Office du Niger. Elle tient compte également, pour la période d'étiage, de contraintes de débits minimums à assurer en aval. Il faut noter que, en cette saison, cet objectif ne peut être assuré que dans la mesure où il existe un soutien de débit apporté depuis l'amont par le barrage de Sélingué.

En pratique, la gestion du barrage de Markala est commandée par l'amont qui cible la cote de consigne. Le gestionnaire traite les informations sur les débits qui arrivent, les débits prélevés à Markala et les débits qui passent pour les utilisateurs en aval du barrage.

Synthèse sur les ouvrages existants et sur leurs impacts sur l'eau

Une première façon d'exprimer les impacts des trois ouvrages est de décrire les quantités annuelles totales qu'ils prélèvent annuellement (tableau 3).

Tableau 3 – Prélèvements par les aménagements hydrauliques du bassin versant du Niger supérieur et moyen

Nom	Cours d'eau	Prélèvement effectif	Capacité nominale
Sélingué	Sankarani	0,023 km^3/an	0,1 km^3/an
Sotuba	Niger	0,21 km^3/an	0,22 km^3/an
Markala	Niger	2,6 km^3/an	5,7 km^3/an

Cependant, ces quantités prélevées annuellement ne rendent pas compte des impacts en termes de modification du régime de débit en aval. Ainsi, un ouvrage comme Sélingué qui prélève très peu de façon absolue a, en fait, un fort impact sur le régime du fleuve en aval dans la mesure où il prélève beaucoup d'eau pour la stocker à un moment de l'année avant de la libérer quelques mois plus tard. On doit donc rechercher un schéma de présentation plus compréhensif (tableau 4).

En résumé, il apparaît que, pour les deux principaux ouvrages que sont Sélingué et Markala, les effets de prélèvement en phase de crue sont responsables d'une perte de débit en aval de l'ordre de 500 à 550 m^3/s qui s'applique sur la totalité de la phase de montée des eaux jusqu'au pic inclus.

Tableau 4 – Impacts des deux grands ouvrages sur le débit en aval exprimé par saison

	Crue		Étiage (basses-eaux)	
	Type de besoin et d'usage	Effet sur disponibilité en aval	Type de besoin et d'usage	Effet sur disponibilité en aval
Sélingué	Stockage	Négatif, assez important (- 400 m^3/s)	Déstockage (pour production d'énergie)	Positif, très important par rapport au débit à cette saison (+ 70 à + 120 m^3/s)
Markala	Prélèvement (pour irrigation)	Négatif, modeste par rapport au débit à cette saison (- 125 m^3/s)	Prélèvement (pour irrigation)	Négatif, important par rapport au débit à cette saison (- 70 m^3/s)

Notons que la phase de « queue » de l'onde de crue que l'on peut situer à partir de fin septembre sur le Niger amont et à partir de fin octobre à Mopti est sans doute beaucoup moins affectée par ce prélèvement, car le remplissage de Sélingué est alors terminé. Quoiqu'il en soit, l'effet négatif induit sur les niveaux atteints par la crue en aval, à Mopti par exemple, et sur les surfaces et les durées d'inondation dans le delta intérieur du Niger n'est certainement pas négligeable[1] même s'il n'a jamais fait l'objet d'une quantification précise, celle-ci n'étant d'ailleurs pas simple à effectuer compte tenu de l'effet d'étalement de l'eau dans la région du delta et des apports additionnels du Bani dont le débit n'est pas, jusqu'à présent, affecté par des ouvrages.

Pour la période d'étiage (février-juin), le soutien de débit qui est fourni par le déstockage de l'eau de la retenue de Sélingué fait un peu plus que compenser le prélèvement opéré à cette même saison par le barrage de Markala. L'accroissement de débit sur tous les points situés en aval de Sélingué est certain mais il faut toutefois souligner que ce sont surtout les points situés entre Sélingué et Markala (Bamako, Koulikoro, Ségou…) qui en bénéficient car au-delà, le prélèvement par ce dernier ouvrage se fait sévèrement sentir.

[1] L'ordre de valeur des débits maximums de crue à Ké-Macina (localité en aval de Markala, en entrée du delta) étant de 3 000 et 5 000 m^3/s, une modification de débit de 500 ou 550 m^3/s n'est pas anodine puisque qu'elle représente 10 % à 18 % de changement en valeur relative.

Aménagements hydrauliques en projet

Taoussa

Situé entre Tombouctou et Gao, il s'agit d'un projet d'aménagement qui prévoit un barrage couplé à une microcentrale hydroélectrique. Son objectif est la production d'électricité et le développement des activités agricoles dans la boucle du Niger. Avec un réservoir prévu pour stocker 6 milliards de m^3, Taoussa est le projet le plus important de la république du Mali. Implanté au Point kilométrique 1 436 pour une cote de fond de 249,95 m, la cote maximale prévue pour le réservoir atteindrait 258,75 m. Le lac de retenue aurait ainsi une longueur d'environ 140 km et approcherait Korioumé (le port de Tombouctou) du côté amont.

Le barrage modifierait l'onde de crue annuelle qui est issue des pluies d'hivernage sur le haut bassin et qui parvient ici en décembre. Cette onde qui est déjà émoussée lorsqu'elle atteint cette zone septentrionale (suite, notamment, à la traversée du delta) deviendrait encore plus faible à l'aval du barrage puisqu'elle serait utilisée pour son remplissage. L'inondation annuelle des rives du fleuve dont bénéficie aujourd'hui la région de Gao en saison froide (janvier-février) tendrait donc à disparaître. Par contre, le barrage permettrait de garantir un débit de 100 m^3/s à Niamey pendant toute la saison sèche et devrait permettre d'irriguer 70 000 à 80 000 ha au Mali.

Par ailleurs, une simulation effectuée à l'aide du modèle mathématique du fleuve Niger (Carima) montre qu'en amont, le barrage diminuerait les vitesses d'écoulement par diminution de la pente d'eau dès lors que son plan d'eau atteindra un certain niveau. Cela aurait pour effet d'augmenter les niveaux du fleuve et par conséquent, de ralentir la décrue et donc de prolonger la saison de crue/hautes-eaux – du moins dans la partie nord du delta en aval du lac Debo.

Des inconnues subsistent cependant quant au mode de gestion de ce barrage avec une vidange annuelle quasi-totale (comme pour Sélingué) ou bien un maintien permanent du plan d'eau à une cote relativement élevée. Cette seconde option permettrait d'accroître l'effet positif sur la durée d'inondation dans le delta.

Talo

Ce projet d'aménagement consiste en un barrage seuil implanté sur le Bani au droit de Talo. L'objectif de ce projet est le développement des activités agri-

coles en permettant l'alimentation en eau de périmètres irrigués (24 000 ha). Il n'est pas prévu de production électrique. Sur le site de Talo, le Bani coule dans deux chenaux séparés par une île : un déversoir fermera le chenal le moins profond du côté nord (niveau minimum du lit : 270,50 m) et une digue fermera le chenal sud plus profond (niveau minimum du lit : en dessous de 268,00 m).

La simulation de la lame d'eau déversante montre qu'elle atteindrait la cote de 277 m. En amont, la lame d'eau pourrait dépasser les niveaux des berges droites et gauches en deux endroits, créant deux zones inondées totalisant 150 km^2. Cependant la précision des données topographiques disponibles lors de la simulation ne permettait pas une grande précision dans la définition des surfaces inondables. Les effets sur l'aval ont également fait l'objet d'une simulation : l'implantation du barrage de Talo entraînerait un léger effet de retard, de l'ordre d'une semaine, sur les dates (juillet-août) d'arrivée de la crue sur le Bani en aval de Talo, notamment à Djenné. En revanche, il ne semble pas avoir d'impact mesurable en terme de hauteur du pic de crue à Djenné, à Mopti et dans le delta en général. Ce qui était prévisible compte tenu de la nature de l'ouvrage prévu – un déversoir – et de sa taille somme toute modeste. On peut discerner enfin un léger effet de soutien d'étiage en mars-avril.

Djenné

Le projet de barrage de Djenné, « concurrent » de celui de Talo, permettrait de sécuriser l'inondation de 85 000 ha de plaines (le Pondori) très mal alimentées par la crue du fleuve lors des mauvaises années tout en produisant de l'électricité en quantité limitée pour alimenter la ville. Comme pour celui de Talo, cet aménagement de taille modeste ne devrait pas avoir d'impact mesurable sur l'inondation du reste du delta intérieur.

Un autre petit ouvrage, fonctionnant au fil de l'eau, sans volume de retenue et sans modification du débit aval, est prévu à Kénié, entre Bamako et Koulikoro.

Il faut mentionner enfin, hors Mali, le projet de Fomi situé sur le haut bassin en Guinée. Fomi serait un barrage du même type que Sélingué avec pour objectif principal de produire de l'électricité. La retenue prévue, d'une capacité de 6 milliards de m^3, laisse entrevoir un impact élevé sur le régime du fleuve avec notamment, une possibilité encore plus grande de soutien d'étiage mais également un très fort écrêtage de la crue annuelle aux conséquences sans doute importantes sur l'inondation dans le delta intérieur du Niger.

La production d'énergie hydro-électrique

D'après les chiffres de l'IEPF (2004), la production annuelle 2002/03 d'un volume de 0,46 TWh était assurée pour plus de la moitié (56 %, soit 0,262 TWh) par les ouvrages hydroélectriques de Sélingué (0,18 TWh) et de Sotuba (0,04 TWh) sur le fleuve Niger avec un complément apporté par le barrage de Manantali qui était alors en début de fonctionnement sur le bassin du fleuve Sénégal. Mais la production de Manantali, une fois son plein régime atteint, passera à 0,41 TWh, du moins en ce qui concerne la part du Mali, le reste étant dirigé sur le Sénégal et la Mauritanie. Ce qui fait que la production annuelle additionnée des trois ouvrages hydroélectriques doit atteindre rapidement 0,63 TWh. Si l'on y ajoute la production des centrales thermiques qui était de 0,20 TWh en 2002-03 mais qui est en train de passer à 0,30 TWh suite à de nouveaux investissements, on s'aperçoit que la production potentielle annuelle des équipements installés au Mali atteint, voire dépasse, les 0,9 TWh et couvre les besoins actuels.

Toutefois, cette production sera d'ici quelques années insuffisante (dès 2007 selon certains) pour faire face à la hausse de la consommation (cf. « Les évolutions de la société malienne et de ses besoins » p. 25). Si bien que de nouveaux investissements s'imposeront pour doubler au minimum la capacité de production d'ici 2025.

Cette nouvelle capacité productive va devoir certainement s'appuyer sur l'énergie hydroélectrique et sur les autres sources (centrales thermiques, énergies renouvelables) dans des proportions qui, toutefois, ne semblent pas encore précisément arrêtées.

L'agriculture

Performances générales en termes de production du secteur agricole

Le pays tire d'importants revenus de la culture du coton (612 000 t/an en 2003/04), deuxième source nationale de devises après l'or. Cette culture se pratique en grande partie dans le bassin du Niger, au sud d'une ligne Bamako-Segou-San, dans la zone dite « CMDT » et donc sur les bassins versants des affluents que sont le Bani, le Baoulé et le Sankarani. Les pratiques culturales sont partiellement intensifiées avec un recours généralisé à divers intrants (engrais, pesticides). Au Mali, la culture du coton est une culture pluviale.

Du point de vue des productions vivrières, la production nationale de céréales est passée entre 1961 et 2003 de 1 032 000 t (moyenne 1961-66) à 2 707 000 t (moyenne 1998-2003). Après une période de stagnation, la production a crû régulièrement à partir des années quatre-vingt en affichant une progression de près de 5 % par an sensiblement supérieure à la croissance de la population. Sauf année climatique mauvaise (cas de 2004), l'indice de couverture des besoins alimentaires du pays est normalement supérieur à 100.

La croissance de la production céréalière a d'abord été réalisée par une augmentation des superficies cultivées qui, toutes céréales confondues, sont passées de 1 384 000 ha (moyenne 1961-66) à 2 636 000 ha (moyenne 1998-2003) et, secondairement, par un début d'intensification de l'agriculture qui s'est traduit par une augmentation des rendements du maïs (indice 149) et du riz (indice 200), les rendements du millet et du sorgho évoluant, de leur côté, assez peu.

Source : FAOSTAT

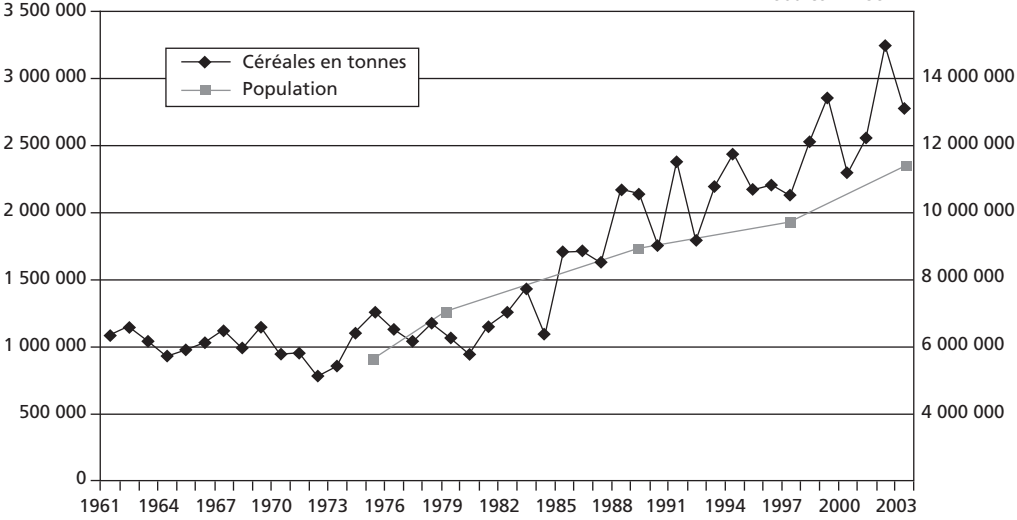


Figure 6

Évolution de la production céréalière et de la population du Mali depuis 1961

Malgré les variations interannuelles qui restent fortes, la situation de couverture des besoins du pays s'est globalement améliorée.

Source : FAOSTAT

Tableau 5 – Surfaces cultivées, rendements et productions de céréales au Mali (1961-2003)

	Moyenne 1961-1966	Moyenne 1998-2003	Croissance (1961-1966 = 100)
Superficie (ha)			
Maïs	109 258	303 653	278
Millet	662 333	1 142 516	172
Riz (paddy)	168 333	395 948	235
Sorgho 447 333	795 038	178	
Rendements (kg/ha)			
Maïs	832	1 243	149
Millet	665	752	113
Riz (paddy)	1 052	2 106	200
Sorgho 727	842	116	
Production (t)			
Maïs	90 460	369 560	409
Millet	442 200	838 896	190
Riz (paddy)	171 960	828 863	482
Sorgho	327 000	661 999	202
Production totale (t)	**1 031 620**	**2 706 914**	**262**

On observe que le riz, dont la production était fort limitée jusqu'au début des années 1980, tend aujourd'hui à rejoindre le mil comme première céréale produite au Mali. La majeure partie de la production en riz étant obtenue avec utilisation de l'eau du fleuve Niger ou de celle de ses affluents, on peut donc dire qu'une partie croissante de la production agricole vivrière du Mali est liée au fleuve Niger.

Le mécanisme de l'accroissement de la part du riz dans la production agricole est lié à l'accroissement des superficies consacrées au riz qui ont progressé régulièrement depuis le début des années 1980 et à une augmentation concomitante des rendements moyens qui sont passés de 1 à 2 t/ha. La production qui est restée longtemps inférieure à 200 000 t, dépasse maintenant chaque année, les 700 000 t avec une production record en 2001 de plus de 900 000 t.

Tableau 6 – Évolution de la culture du riz au Mali

	1961	1971	1981	1991	2001
Surfaces cultivées (ha)	182 000	169 400	115 593	263 019	465 898
Rendements (kg/ha)	1 016	925	1 165	1 727	2 002
Production (t)	185 000	156 800	134 755	454 349	932 588

Davantage consommé en ville que dans les campagnes, la place du riz va encore logiquement s'accroître dans les prochaines années et ce, d'autant plus que des progrès importants sont encore possibles en matière de rendement puisque l'écart de rendement entre les systèmes de culture les moins productifs et les systèmes de culture les plus productifs atteint un facteur six (de moins de 1 tonne à l'hectare à 6 tonnes et plus à l'hectare).

Il existe au Mali trois systèmes de culture du riz d'importances très inégales tant par le poids qu'ils pèsent dans la production que par les surfaces cultivées qu'ils représentent :

- le système pluvio-fluvial propre à la vallée du fleuve et en particulier, au delta intérieur du Niger ;
- le système à submersion contrôlée ;
- les systèmes avec maîtrise totale de l'eau, les seuls qui répondent à la définition d'un système agricole irrigué.

Le bilan de performance doit être fait séparément pour chacun de ces trois systèmes de culture.

La riziculture pluvio-fluviale ou « traditionnelle » (hors AHA)

Ce système, très ancien, ne suppose aucun aménagement hydraulique. Il repose sur l'utilisation de variétés locales de « riz flottant » capables de surmonter une submersion de trois mètres. La rizière est située en fonction de la hauteur de crue espérée par le riziculteur qui se fie à son expérience et peut déplacer son champ chaque année. Les labours ont lieu soit en février-mars après la récolte, soit en mai-juin juste avant le retour des pluies. Le semis est effectué à la volée, le riz lève avec la pluie puis poursuit son développement avec l'eau de la crue qui inonde alors les plaines. Les riz flottants dérivés d'*Oryza glaberrima* peuvent supporter une lame d'eau de 3 m à condition que la vitesse de montée de l'eau ne dépasse pas 5 cm par jour.

La récolte a lieu dans l'eau, entre fin octobre et décembre, en fonction des variétés utilisées. Ce système, très répandu dans le delta intérieur, occupait à la fin des années 1980 une superficie d'environ 160 000 ha (selon le rapport du projet Pirl, 1988) et pourrait occuper actuellement entre 180 000 et 200 000 ha. Il se caractérise par des rendements très bas (en moyenne moins de 900 kg/ha) et inchangés depuis les années 1950, par une grande mobilité spatiale et par l'incertitude des rendements, en particulier lorsque les crues sont mauvaises ou lorsque les pluies, trop faibles ou ne survenant pas au bon moment, ne permettent pas la sortie des pousses de riz avant l'arrivée de l'inondation.

Lors des bonnes années, les quantités de riz commercialisées en dehors du delta atteignent 10 000 t (Kuper et Maiga, 2002) alors que le delta est déficitaire en riz lors des mauvaises années.

Par rapport à ce système de culture, on peut calculer une « surface agricole utile (SAU) » que l'on définit chaque année comme étant la surface du delta intérieur qui est recouverte par une lame d'eau convenable pour la réussite de cette forme de culture. On constate (tableau 7) que cette surface est très variable selon les années. Si en 1994, les trois quarts du delta présentent de bonnes conditions hydrologiques pour la culture des riz flottants, en 1972, la superficie « possible » devient très réduite (Marie, 2000).

Ces très fortes variations constatées expliquent la grande mobilité des rizières, les riziculteurs tentant de s'adapter aux mauvaises crues successives. Ce qui n'empêche pas que les résultats de production restent très aléatoires. Cette mobilité des rizières, qui était de l'ordre de la dizaine de kilomètres dans les années 1950 (Gallais, 1967), s'est aggravée avec la forte irrégularité des crues des années 1980. Les plaines de la défluence Niger/Diaka, par exemple, ont été abandonnées par les riziculteurs qui ont massivement déplacé leurs rizières vers les cuvettes les plus profondes comme les plaines du Kootya au centre du delta. La bonne crue de 1994, noyant les hameaux du Kootya, a provoqué, à son tour, l'abandon de ces cuvettes et de nouveaux déplacements des rizières.

Tableau 7 – Surface agricole utile (SAU) des riziculteurs traditionnels en 1972, 1978 et 1994

	1972 (mauvaise crue)	1978 (crue moyenne)	1994 (bonne crue)
SAU	332 000	831 000	1 342 000

L'agriculture irriguée dans les aménagements hydroagricoles (AHA)

Dans les aménagements hydroagricoles, l'agriculture bénéficie d'infrastructures (les systèmes d'irrigation) qui permettent une utilisation des eaux de surface pour la croissance des plantes. Ces systèmes présentent une diversité très importante, allant de la submersion contrôlée à la maîtrise totale de l'eau. Le bassin versant du Niger au Mali dispose actuellement d'un domaine aménagé d'environ 250 000 ha irrigables dont environ 100 000 ha dans des aménagements hydroagricoles avec maîtrise totale de l'eau.

Pour arriver à son objectif de satisfaire les besoins de la population et d'assurer un développement durable, le Mali a mis la maîtrise de l'eau comme priorité dans sa stratégie de développement. Pour cela, une stratégie de développement de l'irrigation a été développée à partir des potentialités existantes (MDRE, 1999). La mise en œuvre de cette stratégie s'est traduite par un programme de développement des infrastructures hydroagricoles de 50 000 ha supplémentaires en maîtrise totale et de 14 000 ha dans les autres systèmes (bas-fonds et submersion) d'ici 2007. L'objectif est d'augmenter la surface des terres sous irrigation à l'Office du Niger de 120 000 ha dans 20 ans ; ce qui amènera la surface des terres irriguées de cette zone à 200 000 ha.

En ce qui concerne l'irrigation liée au fleuve, on distingue les types d'aménagement suivants.

La submersion contrôlée

Ces aménagements représentent 60 % des superficies aménagées pour la riziculture. Ils ont été réalisés sur financement public et sont gérés par des organismes publics déconcentrés et dotés d'une autonomie de gestion dont les principaux sont :

- l'Office Riz Mopti (ORM) : 34 000 ha ;
- l'Office Riz Ségou (ORS) : 34 676 ha.

Dans ce système, la submersion est contrôlée au moyen de digues et de prises d'eau qui sont de petits ouvrages situés à une cote donnée. La culture est donc un peu moins soumise à l'aléa portant sur les dates de pluies puisqu'on peut, théoriquement, semer plus tard et s'assurer en même temps que les pousses de riz soient levées avant l'entrée de l'eau dans les plaines, cette entrée étant contrôlée et donc retardée si nécessaire. Mais la plupart de ces systèmes ont été conçus à la fin des années 1960 à une époque de

fortes crues et relativement régulières (moyenne 1960-69 des maximums à Mopti : 693 cm), si bien qu'ils sont situés à des cotes trop élevées qui les rendent très vulnérables aux crues déficitaires devenues, hélas, fréquentes (moyenne 1980-89 des maximums à Mopti : 539 cm). Ils se caractérisent donc aujourd'hui par des rendements très faibles en moyenne (souvent moins de 1t/ha) et par des écarts considérables entre les superficies semées et celles effectivement récoltées. Dans les casiers de l'ORM, par exemple, le ratio surface récoltée/surface semée est inférieur à 0,33 lorsque la crue est inférieure à 550 cm et il reste encore inférieur à 0,75 lorsque la crue dépasse 620 cm. Lors des très mauvaises années (1984), la récolte peut être nulle.

Inadapté à la variabilité et à l'incertitude de la crue, le système à submersion contrôlée n'offre, la plupart du temps, ni revenu satisfaisant ni sécurité de production. En effet, il n'a pas la souplesse d'adaptation du système pluvio-fluvial traditionnel qui, bien que peu productif, a au moins la capacité de se déplacer en fonction des périodes climatiques.

Par ailleurs, des mares ont été aménagées de façon un peu différente dans la zone de Tombouctou ainsi que dans la région de Gao (projet « Action Riz Sorgho »). Le principe consiste ici à contrôler (à freiner) la décrue par de petits ouvrages de façon à assurer une durée d'inondation suffisante.

L'irrigation en maîtrise totale de l'eau par système gravitaire

Ce système d'irrigation caractérise les aménagements qui bénéficient d'un plan d'eau à niveau garanti en amont et où l'écoulement de l'eau à partir de ce plan d'eau se fait de façon gravitaire. Ce sont les « grands » aménagements de l'Office du Niger (83 000 ha, dont 5 000 ha en canne à sucre), du périmètre de Baguinéda (3 000 ha) et de Sélingué (1 000 ha), tous liés à l'existence de barrages (cf. « Les grands ouvrages hydrauliques » p. 32).

À partir du plan d'eau, la « maîtrise de l'eau » est obtenue par un système de canaux (généralement en terre) qui conduit l'eau vers les parcelles, puis par le compartimentage et le planage de ces dernières et enfin par un réseau de drainage.

Bien que représentant la troisième catégorie de riziculture par l'étendue (un peu moins de 100 000 ha sur l'ensemble du pays), ce système procure près de 80 % de la production nationale de riz en année moyenne grâce aux assez forts rendements obtenus (moyennes de 4,5 à 6 t/ha, selon les auteurs). Par ailleurs, une importante population composée en majorité de familles d'agricul-

teurs s'est installée dans ces zones d'irrigation. La zone Office du Niger étendue (c'est-à-dire l'ensemble des terres en gérance à l'Office du Niger) couvre une superficie de 28 174 km^2 sur lesquels les huit systèmes hydrauliques occupent 19 074 km^2 pour une population estimée à 321 069 habitants en 1998, soit une densité moyenne de 16,83 hab./km^2 (Sogreah, BCEOM-Betico, 1999).

En termes de productivité, les performances de ce type de système sont donc bonnes. Le talon d'Achille de ce type de système réside plutôt dans sa gestion qui est complexe puisqu'elle comporte de nombreux points sensibles. Il s'agit notamment des aspects de suivi et de maintenance des infrastructures hydrauliques lourdes. Il s'agit aussi de la gestion du foncier, de la répartition des coûts (notamment celui de l'eau) entre les acteurs, de la préservation de la fertilité des sols et, plus généralement, de la préservation de l'environnement. Sur tous ces points, les organismes publics en charge de la gestion des grands périmètres s'efforcent d'élaborer et de mettre en œuvre des stratégies qui soient durables et en cohérence avec les orientations nationales. Ce qui nécessite l'intervention de nombreux personnels et experts qualifiés dont les coûts doivent également être pris en compte.

Du point de vue écologique, une question importante soulevée par ce type de système est la quantité d'eau prélevée sur le fleuve et qui, dans sa plus grande partie, n'y retourne pas.

En effet, les débits et quantités prélevés sur le fleuve par ces grands systèmes gravitaires sont loin d'être négligeables (tableau 8) et ces prélèvements influencent négativement la disponibilité de l'eau en aval non seulement en étiage (le prélèvement est alors de plus 50 % du débit du fleuve, avec des pointes à 80 %) mais aussi en période de crue lorsque le prélèvement par ces systèmes gravitaires vient s'ajouter à l'effet du stockage d'eau dans la retenue de Sélingué.

Les niveaux de prélèvements effectués par les grands systèmes de périmètres gravitaires (au premier rang desquels figurent l'Office du Niger) dépendent bien sûr de l'extension de ces périmètres mais aussi de leur capacité à ne pas gaspiller l'eau prélevée, c'est-à-dire à minimiser les prélèvements par rapport à un besoin donné d'irrigation par unité de surface cultivée. Cette capacité est encore appelée « efficience » et celle-ci semble actuellement assez mauvaise du fait des pertes d'eau dans le réseau d'irrigation (cf. « Faible efficience d'utilisation de l'eau par les AHA » p. 114).

Source : Kuper *et al.*, 2002

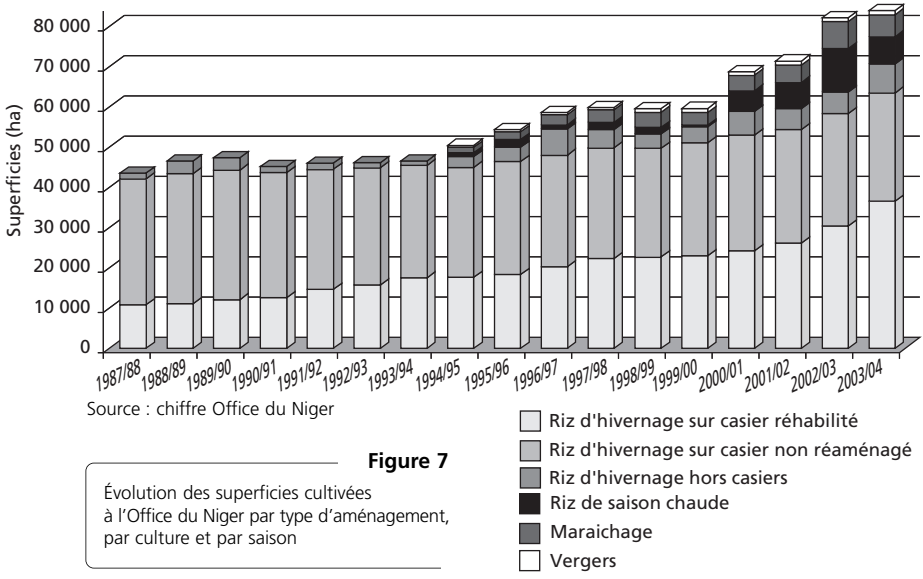
Tableau 8 – Apport du fleuve Niger à Koulikoro et prélèvements d'eau exercés par les périmètres gravitaires en maîtrise totale de l'eau

		Quantités d'eau (en millions de m^3) et, entre parenthèse, débits instantanés moyens (en m^3/s) Moyennes mensuelles pour la période 1989/97												Qtés ann. (millions de m^3)
		Janv.	**Fév.**	**Mars**	**Avr.**	**Mai**	**Juin**	**Juil.**	**Août**	**Sept.**	**Oct.**	**Nov.**	**Déc.**	
	Apports du fleuve Niger à Koulikoro	568 (219,1)	380 (146,6)	339 (130,8)	368 (142,0)	444 (171,3)	745 (287,4)	1759 (678,6)	4455 (1718,5)	8571 (3306,0)	7794 (3006,9)	3483 (1343,7)	1311 (505,8)	30217
Prélèvement	Sélingué	2,2 (0,85)	3,9 (1,50)	5,0 (1,93)	5,1 (1,97)	2,8 (1,08)	0,5 (0,19)	0,7 (0,27)	1,7 (0,66)	2,9 (1,12)	4,4 (1,68)	2,8 (1,08)	1,5 (0,58)	33,5
	Baguinéda	18,0 (6,95)	18,0 (6,95)	18,0 (6,95)	18,0 (6,95)	18,0 (6,95)	18,0 (6,95)	18,0 (6,95)	18,0 (6,95)	18,0 (6,95)	18,0 (6,95)	18,0 (6,95)	18,0 (6,95)	216,0
	Office du Niger	151,0 (58,3)	151,0 (58,3)	167,0 (64,4)	166,0 (64,0)	200,0 (77,2)	218,0 (84,1)	219,0 (84,5)	235,0 (90,7)	321,0 (123,9)	321,0 (123,9)	254,0 (98,0)	160,0 (61,7)	2563,0
	Total prélèvement	171,2	172,9	190,0	189,1	220,8	236,5	237,7	254,7	331,9	343,4	274,8	179,5	2812,5
	Taux de prélèvements (%)	**30,1**	**45,5**	**56,0**	**51,4**	**49,7**	**31,7**	**13,5**	**5,7**	**3,9**	**4,4**	**7,9**	**13,7**	**9,31**

Une autre mesure de l'efficience de l'utilisation de l'eau dans un périmètre pourrait être exprimée par la quantité de riz produit (en kg) par unité de volume d'eau prélevée sur le fleuve. Pour l'Office du Niger, ce chiffre serait d'environ 0,13 kg/m^3 (soit 320,10^6 kg divisé par 2 500,10^6 m^3) en veillant à retirer une part de prélèvement attribuable à la canne à sucre et aux utilisations non agricoles (abreuvement des troupeaux…). Cette valeur d'efficience serait, là aussi médiocre, au regard de la « norme » asiatique qui est au minimum de 0,2 kg de riz par m^3 d'eau.

Il apparaît ainsi que le faible niveau d'efficience de l'utilisation de l'eau constitue le point faible des grands systèmes d'irrigation gravitaire tels que celui de l'Office du Niger. Il est vrai que, jusqu'à ces dernières années, la pression sur la ressource eau était faible et que les pratiques de gestion ne privilégiaient pas l'efficience.

Augmenter cette efficience représente un défi majeur pour le développement de ce type de système et pour la gestion de l'eau sur l'ensemble du fleuve. Car il faut rappeler ici que les grands périmètres irrigués gravitaires sont en constante extension, notamment en termes de superficies cultivées (fig. 7), et qu'il est prévu que cette évolution se poursuive dans les années à venir.



Source : chiffre Office du Niger

Figure 7

Évolution des superficies cultivées à l'Office du Niger par type d'aménagement, par culture et par saison

On observe la forte croissance des superficies notamment de celles cultivées en contre-saison (riz de saison chaude et maraîchage).

L'irrigation en maîtrise totale de l'eau par pompage

L'irrigation par pompage s'est développée depuis le début des années 1980 avec la réduction des crues et de la pluviométrie. Pour le fleuve Niger[2], les principales régions concernées sont celles de Mopti, de Gao et de Tombouctou. Il s'agit de surfaces, généralement modestes, gérées par des privés ou par des communautés villageoises, les « PIV » (périmètres irrigués villageois), souvent appuyées par des « projets » (ONG).

En 1998, dans le delta intérieur, on comptait 154 de ces périmètres totalisant une superficie de 1 400 ha (Ducrot *et al.*, 2002). L'irrigation s'effectue au moyen d'une moto-pompe qui alimente un bassin de dissipation répartissant ensuite l'eau par gravité. Les résultats agronomiques attendus peuvent être bons à très bons avec des rendements dépassant généralement 6 t à l'hectare et pouvant atteindre 9 t en culture de contre-saison (saison sèche). Le problème posé par les PIV est celui du coût relativement élevé de réalisation et d'une rentabilité des équipements qui n'est pas facile à atteindre car elle exige des exploitations un minimum de superficie. En effet, l'expérience de ces périmètres, notamment dans la vallée du Sénégal, montre qu'ils ne sont pas rentables lorsque les exploitants ne disposent que d'une faible surface irriguée. Il existe en effet une taille minimum à respecter pour pouvoir amortir les coûts d'installation et de fonctionnement. Par ailleurs, des coûts de fonctionnement élevés (liés notamment au prix des carburants pour le fonctionnement des moto-pompes), des défaillances dans la gestion communautaire ou encore des difficultés à réaliser les lourds travaux d'entretien peuvent être à l'origine de nombreux dysfonctionnements. Ceux-ci peuvent alors aboutir à un abandon partiel ou complet des aménagements après une période d'utilisation plus ou moins longue.

L'agriculture de décrue et de contre-saison sur les rives du fleuve

Elle est surtout développée dans le nord du delta et dans la boucle du Niger ainsi que dans la région des lacs. On compte, en effet, 17 grands lacs

[2] La région de Kayes est également concernée avec les petits périmètres qui s'approvisionnent sur le fleuve Sénégal.

situés principalement sur la rive droite du fleuve Niger. Ceux-ci, ainsi qu'un important réseau de mares permanentes à semi-permanentes, voient leurs rives mises en culture de sorgho ou de tubercules et de légumes (pommes de terre, tomates…) dès que l'eau de la crue commence à se retirer à partir de fin janvier ou février. Ces cultures de décrue représentent un apport alimentaire de subsistance qui est d'une grande importance pour les populations de ces zones à climat sahélien ou désertique qui ne peuvent guère compter sur les cultures pluviales. La surface cultivable est liée aux superficies des rives humectées par la crue et donc à l'ampleur de celle-ci. Il semble toutefois que les zones favorables à ces cultures de décrue soient loin d'être pleinement exploitées.

Tableau 9 – Synthèse qualitative sur les besoins et les impacts par rapport à l'eau des différents types de cultures liées au fleuve

	Crue		Basses-eaux	
	Type de besoin et d'usage	Effet sur la disponibilité en aval	Type de besoin et d'usage	Effet sur la disponibilité en aval
Riz flottant (traditionnel + submersion contrôlée)	Besoin de cote et de surface en eau, consommation de volume	Négatif mais très faible	Pas de besoin (car c'est la morte-saison pour cette culture)	Nul
Riz en grands périmètres à irrigation gravitaire	Prélèvement pour consommation de volume	Négatif, modeste mais non négligeable	Prélèvement pour consommation de volume	Négatif, important
Riz en petits périmètres à moto-pompes	Prélèvement pour consommation de volume	Négatif mais très faible (négligeable)	Prélèvement pour consommation de volume	Négatif, assez faible (mais non négligeable)
Culture de décrue et maraîchage de rive en contre-saison	Besoin de cote pour surfaces imprégnées	Nul	Prélèvement pour consommation de volume (faible)	Négatif et très faible (négligeable)

Les pollutions agricoles affectant le fleuve

Bien que le niveau d'intensification de l'agriculture au Mali ne soit pas le même que celui qui prévaut dans les pays du Nord, la recherche de rendements plus élevés passe par une augmentation de l'utilisation d'engrais et de pesticides et par une mécanisation croissante. Les effets combinés de ces nouvelles pratiques culturales et de l'extension des superficies cultivées vont dans le même sens et se renforcent : l'érosion des sols accélère le ruissellement qui draine alors plus facilement vers le fleuve les éléments arrachés à la terre. Comme des pratiques culturales intensives commencent à se développer dans la zone cotonnière qui fait partie du bassin du Niger, des phénomènes de pollution liés à l'utilisation des engrais chimiques et des pesticides pourraient apparaître et devenir de plus en plus fréquents. Par ailleurs, les périmètres irrigués font également l'objet d'efforts d'intensification des cultures qui s'accompagnent de l'utilisation d'intrants et parfois (mais en quantité encore très réduite) de pesticides. L'accroissement du domaine aménagé, l'intensification et le développement de complexes agro-industriels sont des éléments qui vont accroître le risque de pollution et il y a donc nécessité de suivre dès aujourd'hui le degré de contamination des eaux.

La pêche

Bien qu'une petite part de la production halieutique du Mali, de l'ordre de quelques pourcents, soit issue du bassin du fleuve Sénégal (en particulier du lac de barrage de Manantali), on peut affirmer que la pêche malienne se déploie, pour sa majeure partie, dans le bassin du fleuve Niger. Il est donc acceptable, en première analyse et compte tenu des incertitudes statistiques, d'attribuer à ce bassin la quasi-totalité du chiffre de la production nationale et de son évolution, soit 55 000 à 140 000 t d'équivalent poids frais selon les années (fig. 8). L'essentiel de la production du bassin du Niger est lui-même assez concentré : il provient pour 80 % environ (40 000 à 120 000 t/an) de la région du delta intérieur du Niger considérée dans sa définition étendue (de Ké-Macina à Diré, lacs inclus). Le reste provient du lac de la retenue de Sélingué (4 000 t/an), de la partie du fleuve en amont de Macina, de la région de la boucle du Niger entre Diré et Gao ou bien encore des affluents sud (Baoulé).

Grâce à cette forte production, le Mali est pratiquement auto-suffisant en poisson, du moins lors des années de crues moyennes ou bonnes (pro-

duction supérieure à 100 000 t). De petites quantités de poissons de mer congelés sont toutefois importées et consommées dans la capitale alors que des poissons frais et fumés du Mali sont exportés vers le Burkina Faso et la Côte d'Ivoire.

Le nombre de pêcheurs n'est pas facile à évaluer de façon précise, à la fois pour des raisons de définition (où commence et où s'arrête la notion de « pêcheurs » ?) et pour des raisons de couverture statistique. Sur le premier point, on peut définir plusieurs catégories de pêcheurs en établissant une correspondance avec la terminologie internationale promue par la FAO. Il y a tout d'abord, des personnes qui pêchent mais dont la profession principale est autre, par exemple l'agriculture. On peut les considérer comme des pêcheurs occasionnels (*occasional fishers*) et ils peuvent avoir une origine ethnique très variée. Il existe aussi des pêcheurs qui combinent agriculture et pêche de façon assez équilibrée. Ils appartiennent généralement à des foyers polyactifs de grande taille qui se dédoublent de décembre-janvier jusqu'à mai-juillet : certains hommes restent au village pour récolter, se reposer et préparer les parcelles de riz tandis que les autres partent en migration pour s'adonner à la

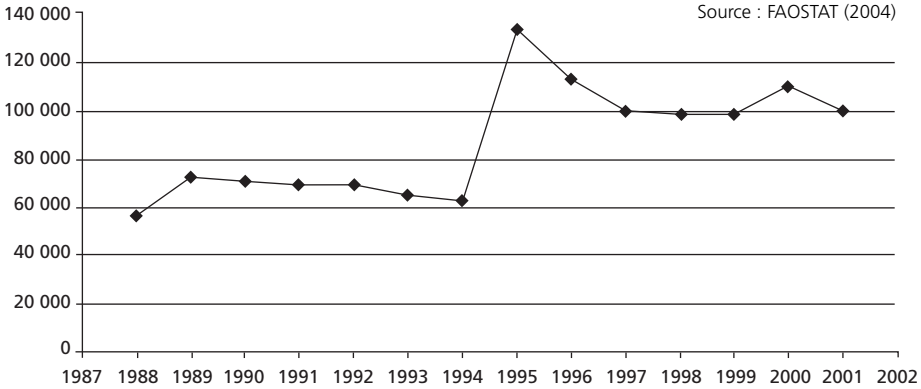


Figure 8
Débarquement de poids frais (en tonnes)

Évolution récente de la production halieutique du Mali déclarée par les services nationaux à FOASTAT. La très grande majorité (plus de 95 %) de la production provient du bassin du Niger.

pêche à plein temps jusqu'à l'hivernage où il leur faudra revenir au village pour s'occuper, eux aussi, des champs. Ces derniers peuvent être considérés comme des pêcheurs intensifs à temps partiel (*part-time fishers*). Il y a enfin les ménages et les personnes qui se consacrent à plein temps à la pêche en effectuant souvent des circuits migratoires saisonniers pour être toujours présents là où le poisson est le plus disponible (*full-time fishers*). Au Mali, les deux dernières catégories décrites se réclament généralement de l'identité *bozo* ou *somono* (Fay, 1989 ; Bauman *et al.* 1994).

À la fin des années 1980, de grandes enquêtes ont permis d'estimer que pour ces deux dernières catégories de « vrais pêcheurs », le nombre de ménages avoisinait le chiffre de 30 000 pour le seul delta. Ce qui représentait environ 60 000 hommes actifs pratiquant la pêche (Morand *et al.*, 1991). Mais ce chiffre est aujourd'hui sans doute largement dépassé, et il faudrait aussi y ajouter les pêcheurs des autres régions du bassin du Niger au Mali. Un nombre de pêcheurs (hommes actifs) de 80 000 apparaît donc comme un chiffre minimal plausible pour aujourd'hui.

Mais il faut aussi tenir compte des nombreuses personnes qui travaillent dans la pêche sans être pêcheurs : commerçants de filets, commerçants de poisson, transformatrices de poisson, petite main-d'œuvre de débarcadère (porteurs des caisses, conditionneuses des lots à expédier).

En tenant compte de toutes ces catégories et en acceptant un ratio minimaliste de 1 emploi à terre pour 1 emploi de pêcheur, *stricto sensu*, on peut estimer à 160 000 au moins le nombre de personnes qui ont un emploi directement lié au secteur. Ceci permet d'évaluer – en adoptant le ratio accepté pour l'Afrique de l'Ouest rurale (Hugon, 1998) de deux personnes non professionnellement actives pour une personne active – à près de 500 000 personnes (enfants et vieillards inclus) la population dont les moyens d'existence sont basés de façon importante ou exclusive sur la pêche. Cette estimation, même grossière, permet d'affirmer que le secteur pêche est très important pour la population du Mali même s'il ne génère pas d'importantes recettes pour le budget de l'État. La contribution relative du secteur de la pêche à la richesse nationale était estimée à 4,2 % du PIB en 1995 (Breuil *et al*., 1996).

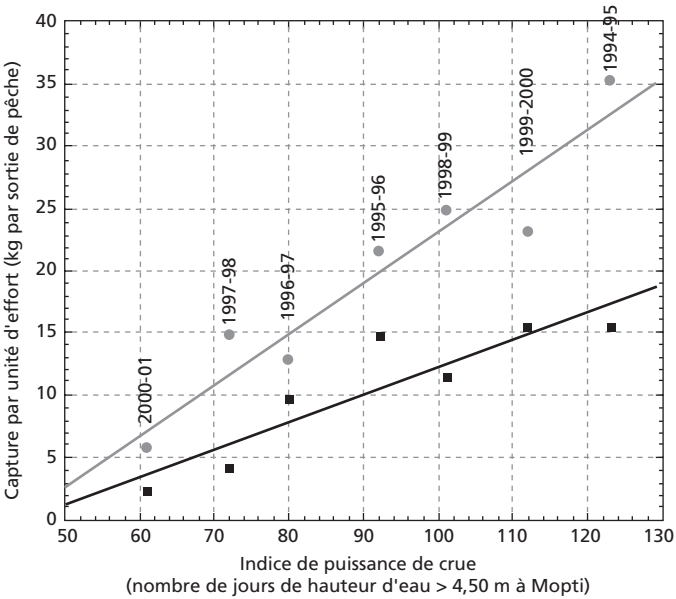
En tous points du fleuve, la pêche se déroule par campagnes de huit à neuf mois. Elle commence de façon intensive au début de la décrue, en

novembre ou en décembre selon les endroits, puis elle se poursuit au cours de l'avancée de la décrue et de l'étiage jusqu'à la montée de la crue suivante (fin juin ou début août, selon les endroits). La pêche est intensive et les captures décroissent au fur et à mesure de l'avancée de la campagne. On estime que les trois quarts de la biomasse de poisson présente dans le fleuve début décembre sont ainsi « récoltés » au cours d'une campagne de pêche (Kodio *et al*., 2002) avant que la crue suivante ne permette la reconstitution de la biomasse entre juillet et novembre. Cette reconstitution est « totale » – du moins si la crue est bonne – et l'on ne note jamais d'effet négatif du prélèvement de poisson exercé lors d'une campagne « n » sur les résultats en volume de la campagne suivante « n+1 ».

Mis à part le cas du lac de Sélingué où la production est remarquablement stable, les performances de production halieutique dans la vallée du fleuve Niger et singulièrement dans le delta, sont très variables d'une année à l'autre. Elles sont étroitement corrélées avec la puissance de la crue annuelle et notamment avec l'ampleur et la durée de l'inondation (fig. 9). Ceci s'explique par le fait que la croissance des jeunes poissons éclos en début de crue (en juillet) se déroule ensuite dans les plaines inondées jusqu'en novembre (Bénech et Dansoko, 1994 ; Niaré, 1994). Ce sont ces mêmes poissons qui seront ensuite pêchés lors de la campagne de pêche en décrue puis en étiage.

Les performances de la production halieutique peuvent aussi être évaluées en rapport avec les surfaces qui la génèrent. Cela est possible dans le delta intérieur où l'on peut mettre en relation les surfaces inondées par la crue (7 000 à 20 000 km^2 selon les années) avec la production (40 000 à 120 000 t selon les années et en fonction de l'inondation - Laë, 1992b) en faisant apparaître une productivité moyenne de 60 kg/ha d'inondation. Ce qui se situe dans la fourchette généralement admise pour ce type de milieu et qui est de 40 à 100 kg/ha (Welcomme, 1989). Mais si l'on considère des zones particulières du delta, favorables et intensivement exploitées, on observe, localement, des valeurs élevées de 100 kg/ha, voire davantage.

Par ailleurs, le potentiel de développement de la pisciculture villageoise reste important, mais il concerne d'autres zones (hors des régions de grande pêche commerciale) et d'autres populations, plutôt agricoles (Niaré *et al*., 2000).



Source : Morand et Kodio, 2004, d'après les chiffres de l'Observatoire de la pêche

Figure 9

Pente de réponse des captures médianes par unité d'effort (sortie de pêche) à un indice de puissance de crue (nombre de jours de niveau au-dessus de 4,50 à Mopti)

Les points ronds et la droite supérieure correspondent à la première moitié de la campagne de pêche (décembre à mi-mars) ; les carrés et la droite inférieure correspondent à la fin de campagne (mi-mars à juin). Les chiffres dans le graphique indiquent l'année de campagne.

Par rapport à l'environnement, on doit rappeler ici que la pêche n'exerce, dans ses formes actuelles, aucun impact sur les flux et les quantités d'eau qui circulent ou séjournent dans les différentes parties du bassin du fleuve Niger. Quant aux pollutions éventuelles générées par la pêche, elles restent jusqu'à ce jour vraisemblablement très modestes, car elles se limitent, en fait, aux hydrocarbures émis par les moteurs des pinasses utilisées pour la migration et pour le transport du poisson.

Tableau 10 – Besoins en eau de la ressource poisson et de la pêche

	Crue		Basses-eaux	
	Type de besoin et d'usage	Effet sur disponibilité en aval	Type de besoin et d'usage	Effet sur disponibilité en aval
Production halieutique	Besoin de niveau pour un maximum de superficies inondées permettant la reconstitution de la biomasse	Nul	Besoin d'un minimum de volume d'eau « refuge » pour la ressource	Nul

L'élevage

Le cheptel bovin national est estimé à 7,6 millions de têtes. Alors que le troupeau est plutôt stable dans les grandes régions traditionnelles d'élevage du nord du pays (Mopti), il tend à se développer dans le sud : par exemple, pour la région de Sikasso, le troupeau est passé de 336 000 têtes en 1970 à 741 000 têtes en 1995, soit + 121 % d'accroissement. Toutefois, la région de Mopti reste, en valeur absolue, la première au Mali pour l'élevage : on lui attribue 1,6 million de têtes dont 1,2 million environ à l'intérieur et autour du delta intérieur du Niger (chiffre obtenu par comptage aérien dans les années 1980).

Le delta intérieur joue en effet un rôle très particulier dans l'organisation et l'économie de l'élevage au Mali. Ceci tient à l'exceptionnelle productivité de ses pâturages inondés qui restent « en vert » pendant sept à huit mois. Les meilleurs d'entre eux, les bourgoutières, ont une productivité annuelle qui se situe entre 20 000 et 30 000 kg de matière sèche (MS) par hectare, avec une période de production de fourrage vert qui dure de décembre à juillet. Rappelons que les pâturages sahéliens habituels dépassent rarement 2 t de productivité en MS et qu'ils restent verts généralement moins de quatre mois dans l'année. Les bourgoutières existent également dans la vallée du fleuve, en amont du delta mais surtout en aval, en particulier dans la boucle du Niger où elles jouent un rôle important dans l'organisation de l'élevage du Gourma. Elles n'ont cependant dans ces zones qu'une extension limitée.

Le delta intérieur reste donc la seule région naturelle au Mali – et en Afrique de l'Ouest – qui permet une forte charge pastorale sur une vaste superficie puisqu'il concentre environ 20 % du cheptel bovin national sur 1,5 % du territoire.

Le delta intérieur est submergé par la crue à partir d'août, et il est alors déserté par les pasteurs dont les troupeaux entament une longue transhumance vers les pâturages du Sahel. Le retour s'effectue en novembre-décembre selon un calendrier dicté par la vitesse de la décrue, les troupeaux parcourant alors le delta en suivant un réseau de pistes et de gîtes dont l'usage est strictement réglementé par la coutume.

Si l'on excepte l'abreuvement, les pasteurs ne sont pas, au sens strict, des utilisateurs consommant la ressource en eau mais, tout comme les pêcheurs, ils dépendent très étroitement de la crue annuelle dont l'amplitude conditionne directement l'existence et la productivité des formations végétales qui constituent la ressource fourragère de leurs troupeaux.

L'élevage peut donc être menacé par des crues trop faibles dans la mesure où la reconstitution de la biomasse végétale dépend, pour partie, de l'inondation.

Pour une crue très faible (5,10 m), les pertes de production fourragère avoisinent les 40 %. Il faut cependant remarquer que la perte de production fourragère est notablement plus faible que la diminution de la surface inon-

Tableau 11 – Besoins en eau du pastoralisme

	Crue		Basses-eaux	
	Type de besoin et d'usage	Effet sur disponibilité en aval	Type de besoin et d'usage	Effet sur disponibilité en aval
Production de fourrage et de viande	Besoin de surface en eau pour la pousse des meilleurs pâturages	Nul	Besoin d'un volume minimal à boire pour le bétail	Très faible, négligeable

Tableau 12 – Productions fourragères du delta et charges théoriques en fonction de la cote atteinte par la crue à Mopti

Scénario	Production fourragère (en millions de tonnes de MS)	Perte par rapport au scénario 1 (%)
Scénario 1 : crue de 6,60 m	15	
Scénario 2 : crue de 6,00 m	12,8	- 14 %
Scénario 3 : crue de 5,10 m	9	- 39 %

Source : Marie, 2002

dée qui, pour une hauteur de crue de 5,10 m, atteint environ 80 % de la surface inondée à 6,60 m. L'explication tient au fait que les formations végétales qui ne sont pas atteintes par la crue ont des productions qui ne sont pas nulles. Elles continuent en effet de produire grâce aux pluies et aux remontées capillaires de la nappe phréatique. La variabilité des crues affecte donc la production fourragère du delta intérieur avec une pente de réponse plus faible que celle des surfaces inondées. En termes de capacité de charge, on peut en déduire que le delta qui peut porter 1,5 million d'animaux lors d'une très bonne année ne peut plus nourrir que 900 000 têtes lors d'une mauvaise année (c'est-à-dire succédant à une faible crue). Cependant, il semble que la production fourragère soit très résiliente : après une ou deux années de faible crue et de mauvaise production fourragère, le retour d'une bonne crue permet un retour rapide à une production plus importante (Hiernaux et Diarra, 1986).

Consommation et rejets domestiques

Les besoins et les impacts de la consommation domestique vis-à-vis de l'eau du fleuve peuvent être synthétisés qualitativement de la façon suivante (tableau 13).

Le problème peut provenir de l'exigence de qualité, d'autant plus que l'usage domestique peut entraîner de façon concomitante une certaine dégradation de cette même qualité, au moins de façon locale (proximité des villes et des villages) et momentanée (étiage, début d'hivernage et de crue).

Tableau 13 – Besoins en eau et impacts de la consommation domestique

	Crue		Basses-eaux	
	Type de besoin et d'usage	Effet sur disponibilité en aval	Type de besoin et d'usage	Effet sur disponibilité en aval
Consommation domestique	Besoin de volume d'eau de qualité à consommer Besoin d'eau pour l'évacuation des déchets	Négligeable	Besoin de volume d'eau de qualité à consommer Besoin d'eau pour l'évacuation des déchets	Faible sur les quantités, localement non négligeable sur la qualité

Les rejets d'eau usée domestique comprennent deux catégories : les eaux-vannes, provenant des WC ou des latrines, et les eaux domestiques, regroupant les eaux de ménage et les eaux savonneuses résultant des bains, des douches, de la lessive, etc.

Selon Leroy (1999), la pollution domestique générée par les villes et les villages peut être évaluée à 65 g/habitant/jour en charge organique dissoute et à 70 g/habitant/jour de matières en suspension.

Consommation et rejets industriels

Les pollutions urbaines et industrielles sont très variées et regroupent les déchets des abattoirs, des teintureries, des usines et des hôpitaux auxquels s'ajoutent ceux occasionnés par le lavage des rues, des marchés et des trottoirs. Ils n'ont pas les mêmes impacts sur le fleuve Niger : les déchets d'abattoirs – qui sont des déchets organiques – ont un impact seulement local et sont moins préoccupants que ceux des usines.

Dans le district de Bamako, la production annuelle de déchets industriels atteint 9 715 tonnes métriques dont 7 830 tonnes (81 %) sont récupérées, 276 t (3 %) recyclées, 238 t (2 %) brûlées et 1 372 t (14 %) jetées (ESP/GRN Sotuba). Les huit unités industrielles les plus importantes rejetteraient en moyenne 2 200 m^3 d'eaux usées par jour, soit près de 800 000 m^3/an, et les

300 teintureries 16 000 m^3/an qui s'infiltrent dans les sols ou sont rejetées directement dans le fleuve Niger.

Une étude effectuée dans la région de Koulikoro par la Direction régionale de l'assainissement, du contrôle des pollutions et des nuisances (DRACPN) fait ressortir que plusieurs unités industrielles contribuent à polluer le fleuve et que 80 % des usines maliennes sont implantées entre Bamako et Koulikoro. Elle fait ressortir aussi que la principale source de pollution du fleuve Niger est l'Huilerie cotonnière du Mali (Huicoma).

Utilisation du fleuve et pollution par le transport fluvial

Le transport fluvial de personnes et de marchandises est exercé sur le fleuve Niger par deux types de bateaux : les deux gros bateaux de la Comanav (Compagnie malienne de navigation) et les très nombreuses pinasses privées, généralement de 10 à 50 t. Les pêcheurs disposent également de pinasses de 2 à 4 t à l'usage des migrations saisonnières familiales.

D'une façon générale, le fleuve Niger ne présente pas de bonnes conditions de navigation durant toute l'année : les niveaux d'eau y sont trop faibles en étiage. Pour les gros bateaux, la saison de navigation ne dure que de début août (ou mi-août) à mi-décembre ou début janvier, en fonction de la durée et de la hauteur de la crue (les deux paramètres étant en général très liés). En début de saison, c'est le bief Koulikoro-Mopti qui est navigable ; puis Koulikoro-Tombouctou et Koulikoro-Gao sont ouverts. En fin de saison, la navigation des gros bateaux se cantonne sur le bief aval (au-delà de Mopti). Les pinasses de transport peuvent continuer à naviguer jusqu'à février et les pinasses familiales jusqu'en fin d'étiage mais avec quelques risques d'échouage.

Les sources de pollution par les bateaux de transports sont variées et difficiles à quantifier. D'une façon générale, on peut dire que les deux gros bateaux de la Comanav et les nombreuses pinasses de transports ne génèrent pas d'importantes pollutions. Mais il faut quand même signaler :

- le déversement des huiles de vidange des moteurs. Cependant, cet impact est faible car les populations récupèrent souvent ces huiles pour d'autres besoins ;
- le lavage des citernes contenant des lubrifiants ;
- les pertes d'huile dues à des fuites de réservoir ou à des moteurs de bateaux défaillants.

Tableau 14 – Besoins en eau et impacts de la navigation fluviale

	Crue		Basses-eaux	
	Type de besoin et d'usage	Effet sur disponibilité en aval	Type de besoin et d'usage	Effet sur disponibilité en aval
Navigation	Besoin d'une cote suffisante pendant la plus longue durée possible (surtout pour les gros bateaux)	Nul, mais léger effet négatif sur la qualité de l'eau	Besoin d'une cote minimale pour les pinasses alors seules en usage	Nul, mais léger effet négatif sur la qualité de l'eau

Par ailleurs, les points de stationnement des bateaux sont de véritables lieux d'échanges qui génèrent différents déchets pouvant être toxiques (sachets plastiques, huiles, graisses). Le niveau de pollution dépend de l'importance du lieu et de la durée de stationnement. Au cours du voyage, tous les déchets produits par les voyageurs sont déversés dans le fleuve ainsi que toutes les marchandises avariées. Le nettoyage des cuves de produits pétroliers et des citernes transportant les pesticides contribue aussi à la pollution des eaux. Des éléments précédents, on peut déduire une synthèse qualitative (tableau 14).

Etat de santé et tendances évolutives de l'écosystème du fleuve Niger

Quantités d'eau de surface

Dans cette région du monde, les eaux de surface sont, plus que partout ailleurs, sous la dépendance drastique du climat du fait d'une variabilité extrême des déficits pluviométriques (cf. « Facteurs forçants climatiques sur le bassin du Niger » p. 29). La sécheresse des décennies 1970 et 1980 est largement responsable, d'une part, des fortes variations saisonnières actuelles (avec des niveaux d'étiage très bas) et, d'autre part, des fortes variations interannuelles. La question de savoir s'il y a une tendance récente à la dégradation de la relation pluie-écoulement (c'est-à-dire qu'il y aurait moins

d'écoulement – donc moins de débit dans le fleuve – que par le passé pour une pluviométrie équivalente) est toujours en débat.

Certaines eaux de surface, notamment au nord et nord-est du delta intérieur du Niger, sont des lacs qui sont mis en eau lorsque la crue franchit certains seuils. Dans ces cas, la relation entre pluviométrie et ressource en eau de surface est moins immédiate. En effet, situés en contrebas du fleuve mais à bonne distance de celui-ci, les lacs sont approvisionnés par des chenaux dont l'alimentation est gouvernée par des seuils (Orange *et al.*, 2002). Lors de la décrue, les lacs gardent l'eau reçue du fait des seuils et ne se déversent donc pas dans le fleuve. De plus, du fait de leur forme en cuvette, ils peuvent rester en eau jusqu'à deux ou trois ans après un seul remplissage en perdant de leur profondeur par évaporation mais en conservant l'essentiel de leur surface en eau. C'est pourquoi il suffit à ces lacs de bénéficier d'une crue satisfaisante franchissant le seuil nécessaire pour leur alimentation tous les deux ou trois ans pour conserver leur caractère de lac et de ressource en eau. Corollairement, ils sont peu affectés par la survenue d'une seule mauvaise crue isolée. Mais, inversement, ces lacs ne bénéficient pas de l'effet d'amélioration qui peut exister entre une crue « très faible » et une crue simplement « faible » car dans les deux cas, les seuils permettant leur alimentation ne sont pas franchis (c'était le cas durant toute la période 1981/93). La détermination du seuil d'intensité (hauteur) de crue nécessaire à leur remplissage peut se faire à partir de l'examen de l'historique de remplissage.

Quantités d'eau souterraine

Les eaux souterraines existent en grande quantité au Mali. Elles sont caractérisées par un flux de renouvellement annuel de 55 milliards de m^3 sur lesquels seulement 105 millions de m^3 sont exploités, soit à peine 0,2 %.

Les réserves sont classées en deux grandes catégories selon le mode de gisement des eaux : les aquifères généralisés et les aquifères fissurés qui sont généralement étroitement localisés.

Les aquifères généralisés sont associés aux formations détritiques peu ou non consolidées et d'origine essentiellement continentale qui se sont accumulées dans les bassins sédimentaires au Secondaire et au Tertiaire. Ces aquifères sont généralement multicouches avec porosité intergranulaire et occupent un peu plus de la moitié du territoire national. Ils renferment des eaux anciennes

et généralement non-renouvelables à cause de la faiblesse des précipitations et de leur profondeur souvent trop élevée qui ne permet pas leur alimentation périodique. Les débits des forages de ces aquifères sont supérieurs à 10 m^3/h pour plus de la moitié des cas et peuvent parfois dépasser 50 m^3/h.

Les aquifères fissurés sont associés aux formations cristallines (le socle) ou sédimentaires anciennes du Précambrien et du Primaire. Ils sont caractérisés par des nappes semi-continues ou discontinues en fonction de la densité des réseaux de fracturation qui les affectent. On distingue les aquifères discontinus, les aquifères semi-continus qui bénéficient d'un apport élevé par la pluviométrie grâce à leur situation géographique et enfin, les aquifères superficiels.

Qualité des eaux

Qualité des eaux de surface

D'après l'ensemble des études menées sur la qualité des eaux du Fleuve Niger (Iwaco, 1996 ; Equanis, 1997 ; Gihrex, 2000 ; Ghenis, 2001), le fleuve Niger est, comme la plupart des grands fleuves africains, encore peu touché pour l'instant par les contaminations chimiques (Picouet *et al.*, 2002). En effet, les eaux du fleuve sont globalement et pour la majeure partie de son cours au Mali exemptes de pollution métallique, de pollution par les nitrates et l'ammonium, de pollution par les phosphates et de pollution biologique du fait du grand volume d'eau impliqué dans l'écoulement du fleuve (effet de dilution). Ce résultat est logique étant donné la faible industrialisation du bassin versant du Niger, l'utilisation minoritaire des engrais et des pesticides dans l'agriculture et surtout, le désert anthropique (la faible démographie).

Cependant sur ce dernier aspect, un suivi hebdomadaire de la qualité des eaux de puit et de forage ainsi que des eaux de ruissellement dans la zone cotonnière (CMDT du Mali-Sud) a montré l'existence de pollutions ponctuelles importantes par des pesticides, notamment le DDT, liées principalement à des problèmes de stockage des engrais ou à un mauvais usage de ceux-ci (Bonnefoy, 1998).

Par ailleurs, si la qualité physico-chimique des eaux du fleuve Niger reste globalement bonne – à l'exception de certains points à proximité de rejets industriels sur l'axe Bamako-Koulikoro (Palangié, 1998) –, il existe des phénomènes ponctuels de pollution bactériologique au niveau de la plupart des sites d'habitat. Dans ces lieux, la grande concentration de coliformes et de

streptocoques fécaux rend l'eau de surface non potable au regard des normes de l'OMS. Or, cette eau est encore couramment employée pour la boisson ; ce qui induit des risques sanitaires importants.

De plus, le bief Bamako-Koulikoro mérite un examen particulier eu égard à la grande concentration d'habitats et d'activités tant industrielles qu'agricoles, qui sont installées sur ses rives. Le suivi de 18 points à risques (Palangié, 1998) sur ce bief a montré, en effet, que tous les points de rejet d'eau dans le fleuve dépassent les normes de qualité OMS sur au moins trois paramètres. Les paramètres sur lesquels il est urgent d'agir en priorité sont : la DBO[3], la DCO[4], les matières en suspension (MES) et les métaux lourds. Cependant, toutes les teneurs en DBO, en DCO et en MES restent inférieures ou égales aux valeurs moyennes des eaux usées des pays industrialisés, à l'exception des eaux de rejet de la centrale électrique de Dar-Salam qui sont, de loin, les plus polluées. Nos mesures montrent par ailleurs qu'une part importante des charges polluantes est liée aux matières en suspension (MES) de taille supérieure à 0,7 µm. La décantation des eaux usées de Bamako dans des installations adéquates (à construire) devrait donc permettre, à elle seule, d'éliminer une part importante des polluants.

En conclusion, l'ensemble des études s'accorde pour souligner que la qualité des eaux de surface du fleuve est encore globalement bonne sauf en certains points ou biefs particuliers, mais qu'elle est menacée : les grands projets d'industrialisation, le développement agricole dans la vallée du Niger et les rejets systématiques et sans traitement des effluents des agglomérations riveraines constituent autant de risques majeurs d'une pollution significative dans le futur.

Qualité des eaux souterraines

Au niveau des eaux souterraines, deux problèmes de qualité peuvent être décrits, tous deux situés dans le district de Bamako : celui de la nappe superficielle de Bamako et celui des aquifères profonds sous cette même nappe (Palangié, 1998).

Concernant la nappe phréatique (ou l'aquifère superficiel) de Bamako, on peut dire qu'elle est totalement polluée du fait de sa très faible profondeur, du

[3] Demande biologique en oxygène, indicateur d'une pollution biologique.
[4] Demande chimique en oxygène, indicateur d'une pollution chimique.

grand nombre de sources ponctuelles de pollution dans le district de Bamako, de l'absence quasi complète de mesures d'atténuation, de l'importante perméabilité du sol à certain endroits (en rive droite notamment) et de l'abondance de puits non protégés et d'ouvrages d'assainissement individuel mal conçus (Zallé et Maiga, 2002) qui ouvrent des communications directes entre la surface et les eaux souterraines. Plusieurs études (Alpha *et al.*, 1991 ; Iwaco, 1996 ; Palangié, 1998) ont caractérisé la pollution qui l'affecte : forte concentration en nitrates, en nitrites, en phosphates et en chlorures pouvant provenir de sources diverses (détergents, engrais, matières organiques en décomposition), présence éventuelle de pesticides et pollution bactériologique très élevée (coliformes et streptocoques fécaux, germes totaux) provenant soit des puits d'infiltration trop profonds ou sous-dimensionnés, soit des fosses d'aisance non étanches, soit encore de l'apport de matières fécales par des eaux de ruissellement qui coulent dans des puits généralement dépourvus de margelle. L'eau de cette nappe superficielle est donc, d'après les normes de potabilité de l'OMS, impropre à la consommation humaine. L'augmentation, constatée ces dernières années, de la pollution de cette nappe couplée à l'explosion de la population et de l'extension urbaine de Bamako laisse présager, si aucune mesure n'est prise, une aggravation rapide du problème privant la majorité de la population de sa principale ressource en eau (66 % en 1998).

Toujours au niveau de Bamako, une menace pèse sur la qualité des eaux de l'aquifère profond (« aquifère des grès fracturés »), ce qui est d'autant plus inquiétant que cet aquifère est pressenti comme source d'eau potable exploitable par forage dans un proche avenir. Or, cet aquifère est en communication avec la nappe superficielle par l'intermédiaire de fissures et d'accidents majeurs qui restent ouverts jusqu'à une profondeur supérieure à 100 m. Jusqu'à présent, la qualité constatée des eaux de cet aquifère fracturée est très bonne, mais cet équilibre risque d'être brisé par l'exploitation par forage de la nappe profonde : l'ouverture de communications avec la surface va non seulement permettre un accès direct à la pollution (si des mesures de protection des ouvrages ne sont pas prises) mais surtout, provoquer une perte de pression qui accélérera les transferts dans le sens de la nappe superficielle vers l'aquifère profond. Si de plus, la pollution de la nappe superficielle s'aggrave, une pollution sérieuse de l'aquifère des grès fracturés devient parfaitement possible.

Les autres aquifères du pays, superficiels ou profonds, sont *a priori* peu touchés par la pollution compte tenu de la qualité générale des eaux de sur-

face. Seuls des points très particuliers, comme les nappes sous les grandes villes, peuvent faire exception ici ou là.

Stabilité géomorphologique : érosion/sédimentation/ensablement

L'érosion

La pluviométrie, le relief, la lithologie du bassin et la qualité des sols qui en découlent sont les principaux facteurs explicatifs des taux d'érosion observés sur le Niger. Les études des variations spatiales des flux de matières en suspension réalisées par la DNH (Direction nationale de l'hydraulique du Mali) avec l'Orstom puis l'IRD depuis les années 1970 jusqu'aux années 1990 montrent que l'érosion augmente sur le bief de Koulikoro-Ké-Macina du fait du changement des conditions lithologiques (Picouet *et al*., 2002). La faiblesse des exportations de matière sur le bassin amont du Niger est d'ailleurs remarquable en comparaison d'autres grands bassins du globe. Notons aussi qu'à l'approche des zones de plus en plus désertiques, la vulnérabilité des sols à l'érosion éolienne augmente largement et que les flux de matières (représentés alors par des sables) s'accroissent dans le fleuve après son passage dans le delta intérieur. Ce gradient tend à montrer que le facteur d'activité humaine ou agricole qui est bien plus présent au sud (à l'amont du bassin) ne génère pas, jusqu'à présent, d'importants phénomènes d'érosion.

La sédimentation

Compte tenu des faibles concentrations de matières solides en suspension (MES) transportés par ce fleuve, la sédimentation est globalement très faible dans la vallée du fleuve Niger. Cependant, des travaux ont montré l'existence d'un certain phénomène de sédimentation dans le delta intérieur du Niger. En effet, les bilans des pertes de flux de matières en suspension transportées par le fleuve entre les entrées (Ké-Macina et Douna) du delta et sa sortie (Diré) montrent que le delta intérieur du Niger retient annuellement entre 0,15 million de tonnes (lors des années « sèches », c'est-à-dire à faible superficie d'inondation) et 1,3 million de tonnes de sédiments (lors des années de fortes crues). En fait, les pertes en sédiments sur l'ensemble du delta représentent une fonction croissante, presque linéaire, des flux entrants de matières en suspension. Mais dans le détail, il faut souligner une différence de comportement entre le delta amont et le delta aval : s'il y a toujours accumulation de sédiments dans le delta amont, les bilans sur le delta aval sont relativement équilibrés.

En effet, dans la partie amont, le delta est une immense plaine d'inondation classique où les nombreux méandres d'alimentation des innombrables mares et l'importante couverture végétale constituent des pièges à sédiments parfaits. Dans cette partie du delta, la quantité de matière déposée est une fonction directe de l'importance de l'hydraulicité de la crue. Cependant, il faut noter que la quantité de sédiments mise en jeu est très faible si on rapporte ces tonnages à la superficie du delta. Il n'y a donc aucun souci de comblement du delta. Par contre, ces apports de sédiments sont des apports majeurs pour maintenir la fertilité du milieu.

Dans la partie aval du delta, après le passage de la plaine amont et des lacs centraux, les eaux sont très peu chargées et les quantités de sédiments mises en jeu sont donc faibles. La reprise des laissés de crue dans les lits mineurs et l'érosion de versant probable en début de crue, puis la remobilisation de décrue et l'érosion éolienne après la crue en début de saison sèche sont sans doute les processus majeurs du fonctionnement sédimentologique du delta aval.

Enfin, les travaux Gihrex (projet Gestion intégrée, hydrologie, ressources et systèmes d'exploitation, Département Milieux et Environnement de l'IRD) ont montré qu'il existait une menace particulière sur le lac Debo, grand lac central du delta intérieur du Niger. En effet, à la faveur des décennies de sécheresse, le bourgou s'est très largement développé sur ses berges et a même été planté par les agriculteurs. Ces fourrages retiennent les sédiments terrigènes apportés par le fleuve et y associent d'année en année des matières organiques. Or, malgré la reprise des écoulements depuis une dizaine d'années, on s'aperçoit qu'il s'est formé un bouchon vaseux à la sortie du lac Debo. Ce bouchon représente un danger important pour l'écologie du lac, sa navigation et à terme, pour la vie du fleuve Niger (Orange *et al.*, 2002).

« L'ensablement » du fleuve

Le terme commun « d'ensablement » peut recouvrir différents phénomènes : l'augmentation du stock de sable, la mobilité des bancs de sable et les problèmes de perte de plages ou de déstabilisation de certaines berges qui peuvent se traduire localement par des rétrécissements du lit.

Concernant le premier phénomène, toutes les données scientifiques montrent qu'il n'y a pas d'augmentation du stock total de sable dans le lit du fleuve, sur la partie malienne du fleuve Niger. Cependant, le second phé-

nomène (la mobilité naturelle des bancs de sable) existe et entraîne une gêne des usagers du fleuve. Ce phénomène est très largement lié à l'absence de dragage des chenaux de navigation ; ce qui est systématiquement fait dans tous les fleuves à lit sableux.

Quant aux problèmes de perte de plages et de déstabilisation de certaines berges, ils sont liés à l'exploitation intensive du sable du lit du fleuve à proximité des zones urbaines. Par ailleurs, une impression d'ensablement du fleuve peut naître à « l'apparition » de bancs suite à une baisse du niveau des eaux, notamment lors d'étiages très déficitaires (ex. : juin 1999).

Enfin, dans la boucle du Niger, le transport éolien du sable provoque la disparition de zones de culture ou l'obstruction locale de chenaux et de bras alimentant des mares ou des cuvettes. Il provoque aussi l'obturation de méandres des bras secondaires du fleuve : le Koli-Koli est ainsi devenu impraticable aujourd'hui à la navigation.

Il faut également souligner un phénomène contraire à l'ensablement et qui est lié à la seule activité de l'homme : le « désensablement » lié à l'exploitation du sable par l'homme pour les constructions. Cette activité est très largement développée près des grands centres urbains et notamment aux alentours de Bamako et de Koulikoro. Dans ce bief, les bancs de sable ont reculé d'une centaine de kilomètres en 10 ans ! Cela modifie l'écologie du fleuve en détruisant les zones de frayères du fait de la disparition de la végétation aquatique. Cela modifie aussi la forme des écoulements et, notamment, garantit moins les risques de crues éclair. L'exploitation du sable est le problème environnemental majeur de la vie du fleuve.

Fertilité des sols

Au Mali, dans le cas général, la baisse de fertilité des sols est l'une des contraintes majeures à l'accroissement des productions agricoles. D'une façon générale, elle est davantage liée à la pression démographique et notamment à la réduction des temps de jachère qu'à l'érosion hydrique, voire éolienne. En effet, les phénomènes d'érosion, lorsqu'ils se produisent, sont souvent associés à des processus de redistribution locale de la fertilité des sols sans conséquence large.

Dans le cas particulier du delta intérieur du Niger, la fertilité est entretenue par la combinaison « sur place » de processus naturels de l'écosystème

et de processus générés par les systèmes de production traditionnels qui exploitent cette fertilité (notamment l'élevage). Toutefois, les apports sédimentaires du fleuve en provenance du bassin amont (qui sont d'un volume modéré mais non négligeable) jouent un rôle complémentaire. Rappelons ici que ces apports sont d'autant plus élevés que la crue est forte et l'inondation importante.

Dans les grands périmètres irrigués, tels que ceux de l'Office du Niger, la fertilité des sols est non seulement affectée par une augmentation de l'alcalinité mais aussi par une baisse de leur fertilité organique et minérale (potassium) dont l'impact commence à se faire sentir, notamment dans la zone du Macina. Par ailleurs, le phénomène de salinisation des sols existe dans les périmètres, mais il a été bien étudié et on en connaît aujourd'hui les facteurs de risque, ce qui permet de mieux le contrôler. On note cependant que plusieurs facteurs de risque sont en voie d'aggravation, ce qui devrait inciter à une vigilance accrue. Ces facteurs sont :

- l'extension des superficies cultivées et la diminution des volumes d'eau disponibles, limitant par conséquent le lessivage ;
- le développement des cultures de contre-saison qui a pour conséquence une mise en eau permanente des canaux d'irrigation et qui contribue à la recharge et à la remontée de la nappe, phénomène favorisant la concentration des sels à la surface des sols ;
- la multiplication des aménagements sommaires (du point de vue de la qualité du planage et du réseau de drainage).

Ressources et peuplements végétaux

Situation générale

Au Mali, tous les observateurs s'accordent pour reconnaître que les forêts sont menacées, mais la plus grande incertitude règne sur l'ampleur réelle du recul de ces formations forestières. Il semble, en fait, que la superficie des formations ligneuses ait connu au cours des quinze dernières années une baisse annuelle assez limitée de 0,05 % (87 km^2 par an, soit 1 000 km^2 au total en 15 ans) qui est essentiellement attribuable à l'accroissement des surfaces cultivées ainsi qu'à la disparition de plusieurs forêts dans la région de Mopti. Ainsi donc, la déforestation serait limitée, contrairement au ressenti des villageois, et cela peut s'expliquer par le fait que le processus de reconstitution naturelle des forêts se maintient.

D'une façon générale, on ne constate pas d'effet majeur de la sécheresse, en termes de présence ou de disparition d'espèces, sur la biodiversité de la flore au Mali. Mais s'il n'y a pas disparition d'espèces, il y a raréfaction de certaines d'entre elles.

Peuplements végétaux du delta intérieur du Niger

L'inventaire réalisé par les chercheurs du CIPEA fait ressortir dans cette zone une liste de 189 espèces avec 137 espèces herbacées pour le delta et 52 espèces ligneuses. Comparée au Gourma voisin qui compte 350 espèces, c'est une flore relativement pauvre à l'instar de celle de la majorité des plaines inondables. Cette pauvreté de la flore du delta contraste toutefois avec une forte production saisonnière de biomasse qui est 15 à 20 fois plus élevée que celle des zones sahéliennes avoisinantes.

Les forêts du delta

Selon le Projet inventaire des ressources ligneuses (Pirl), les formations forestières couvrent, pour l'ensemble de la région de Mopti, 4,5 millions d'hectares tandis que les cultures et les jeunes jachères s'étendent sur 1,8 million d'hectares. Il s'agit essentiellement de savanes arbustives, rarement arborées, ainsi que de palmeraies diverses. Des fourrés dominés par diverses espèces s'observent également.

Le delta intérieur et les plaines du Farimaké au nord-ouest regroupent trois familles de formations forestières d'importance très inégale (situation du début des années 1980) :

■ des forêts inondées à *Acacia kirkii* supportant une lame d'eau de 4 m. Occupant une superficie de 5 000 ha, elles jouent un rôle fondamental dans la reproduction des oiseaux d'eau ;

■ des forêts à *Acacia nilotica* et à *seyal,* inondées surtout par ruissellement mais pouvant l'être secondairement par la crue : la hauteur de la lame d'eau ne dépassant pas 0,6 m. Elles occupaient 115 000 ha ;

■ les forêts sèches des bordures et des buttes du delta qui occupaient 425 000 ha.

À ces formations forestières s'ajoutent, dans le sud de la zone, des formations de type parc arboré composées notamment de *Faidherbia albida*, arbre que l'on retrouve également sur les replats sablonneux des savanes à *Andropogon gayanus* ainsi qu'en périphérie des casiers rizicoles.

Depuis cette période, aucune étude générale ne fait le point sur l'évolution générale de la végétation du delta intérieur, ni sur celle des forêts en particulier. Les observateurs s'accordent pour reconnaître le fait que les forêts sont fortement menacées depuis une trentaine d'années sous les effets conjugués de la sécheresse, de la faiblesse des crues à partir de la fin des années 1970 et de la croissance de la population qui augmente la pression anthropique sur les ressources. On peut également avancer que cette tendance a été aggravée par la destruction des règles communes de gestion qui étaient observées par les communautés locales d'éleveurs, de pêcheurs et d'agriculteurs, cette destruction étant imputable, pour une grande part, aux lois foncières et au dysfonctionnement des administrations en charge des forêts avant 1991 (Marie, 1989 ; Moorehead, 1997).

En ce qui concerne les formations forestières de la région de Mopti, la production annuelle potentielle de bois énergie (quantité exportable annuellement sans entamer le capital forestier) était estimée à 1,8 million de tonnes selon le Pirl. Quant au stock de bois énergie, il a été estimé à 40 millions de m^3 pour l'ensemble de la région de Mopti, dont 3,5 millions de bois mort.

Sur la base des travaux du Pirl (1988), le projet Stratégie énergie domestique (SED) a recalculé les productions annuelles ainsi que les superficies occupées par les différentes formations forestières du delta (tableau 15).

Il apparaît que le stock de bois mort « sur pied » est relativement abondant, surtout au nord du delta. Il assurerait plus de 70 % de l'approvisionnement en bois de feu des populations de la vallée du fleuve.

Tableau 15 – Potentiel ligneux de cinq cercles du delta intérieur du Niger

Cercle	Surface des forêts (ha)	Volume de bois énergie (m^3)*	Volume de bois mort (m^3)*
Youwarou	204 400	1 628 695	423 571
Tenenkou	262 550	2 773 040	Nd
Mopti	178 800	1 465 825	60 000
Macina	240 750	2 429 896	201 457
Djenné	118 200	939 590	40 000
Total	**1 004 700**	**9 297 046**	**725 028**

*$1m^3$ = 2,3 stères et 1 stère = 330 kg

Source : Projet SED, 1999

Les formations herbacées du delta

La majorité des formations végétales du delta intérieur sont des formations herbacées constituées de savanes herbeuses et de prairies aquatiques qui fournissent des pâturages d'une exceptionnelle richesse. On distingue :

■ les *bourgoutières*, pâturages de graminées à tige flottante. Celles-ci se développent sur des plaines recevant 4 à 5 m d'eau par an, mais elles ne survivent à la submersion profonde que si la montée des eaux se fait progressivement. Ce sont les parcours les plus productifs du delta avec des productions moyennes de 20 t/ha. Elles occupent environ 160 000 ha ;

■ les *vétiveraies* qui occupent environ 30 % du delta (640 000 ha). Leur production moyenne varie de 10 à 12 t/ha selon leur écologie ;

■ les *rizières sauvages* sont aussi bien représentées : elles couvrent 15,4 % du delta (environ 340 000 ha). Leur production se situe entre 6 et 8 t/ha ;

■ les *eragrostaies* qui occupent 190 000 ha. Leur valeur pastorale oscille entre 5 et 8 t/ha ;

■ et les formations très faiblement inondées (*andropogonaie*, *panicaie*…) qui occupent 200 000 ha environ. Leurs productivités moyennes se situent autour de 5 t/ha.

On dispose de peu d'informations, faute d'études diachroniques, sur l'évolution des formations végétales herbacées du delta intérieur en relation avec la faiblesse des crues des années 1980-1990. Mais on a montré que les formations inondées du delta intérieur sont en équilibre écologique avec une hauteur moyenne des crues de 6,60 m à Mopti.

À partir de cette situation de référence, il faut faire une différence entre une évolution conjoncturelle liée à une dégradation passagère des crues et qui se traduit par une évolution réversible (les formations végétales retrouvant leur équilibre antérieur avec le retour des bonnes crues) et une évolution irréversible de l'environnement qui se traduirait par l'installation d'un nouvel équilibre crue/formations végétales adapté à des crues inférieures à 6,60 m.

Concernant la première hypothèse, c'est-à-dire une faiblesse temporaire des crues, une étude (Hiernaux et Diarra, 1986) réalisée après la très mauvaise crue de 1984, la plus faible du siècle, met en évidence les points suivants :

■ les formations profondes (*bourgoutières*, *vétiveraies* profondes…) sont peu affectées par la faiblesse de la crue de même que les formations les plus hautes (*panicaies*, *andropogonaies*…) qui dépendent davantage de la pluie que de la crue ;

■ les formations intermédiaires (orizaies, eragrostaies, vétiveraies hautes…) sont, au contraire, très affectées dans leur production et dans leur structure, l'espèce dominante étant décimée et remplacée par un peuplement très irrégulier dominé par des espèces annuelles sahéliennes.

Il semblerait donc que les formations profondes du delta présentent, comme les formations les moins inondées, une certaine résilience aux aléas hydrologiques. Leur production, qui reste non nulle lorsqu'elles ne sont pas atteintes par la crue, tamponne partiellement les aléas hydrologiques, ceci n'étant valable que dans une hypothèse de crise passagère n'entraînant pas de modification irréversible de l'écosystème.

Quant à la seconde hypothèse supposant un changement durable de l'hydrologie se traduisant par une perte définitive de hauteur d'eau, on peut se demander quelles en seraient les conséquences. Pour cela, une simulation a été effectuée, la valeur retenue pour la baisse moyenne du niveau de la crue étant de - 1 m par rapport à l'équilibre antérieur (crue-climax à 5,60 m au lieu de 6,60 m : une telle hypothèse peut correspondre aussi bien à un changement climatique qu'à la création d'un nouvel aménagement important sur le fleuve en amont).

Il ressort de cette simulation les indications suivantes :

■ les formations sèches du delta, situées sur les bordures et sur les buttes exondées, tripleraient pratiquement leur surface pour atteindre plus de 900 000 ha ;

■ les formations inondées profondes, situées dans des tranches d'eau comprises entre 150 cm et 400 cm, subiraient une forte réduction. En particulier, les formations situées entre 150 cm et 280 cm occuperaient une surface d'environ dix fois moindre qu'actuellement.

Par ailleurs, les formations les plus profondes, celles situées dans une tranche d'eau comprise entre 280 cm et 400 cm, pourraient disparaître au profit de formations moins profondes. Outre la perte de production fourragère (ces formations fournissent respectivement 20 000 kg et 15 000 kg de MS à l'hectare, soit largement plus que la moyenne du delta qui se situe aux alentours de 6 000 kg), il en résulterait également une forte diminution de la biodiversité avec une disparition des forêts à *Acacia kirkii,* lieu de reproduction de nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs paléarctiques.

Les conséquences sur la production fourragère seraient importantes puisque la production fourragère ne serait plus que de 6 à 7 millions de tonnes par an au lieu des 15 millions de tonnes correspondant à une crue de 6,60 m. La réduction de la production et des capacités de charge serait de l'ordre de 55 à 60 %. Au lieu de pouvoir accueillir 1,5 million de têtes chaque année, le delta ne pourrait plus en nourrir que 600 à 700 000. La perte ne serait pas seulement quantitative mais également qualitative, liée à la très forte réduction des « bourgoutières », les meilleurs pâturages du delta. On peut penser dans ces conditions que l'organisation de l'élevage, telle qu'elle existe encore actuellement, ne résisterait pas à ce changement.

Le cas de la jacinthe d'eau

La jacinthe d'eau, apparue au Mali en 1990 autour de Bamako, est potentiellement présente sur tout le cours du fleuve Niger en amont du delta intérieur. En réalité, elle n'est présente en masse que dans certaines zones bien précises, dans les canaux d'irrigation et dans certains bras du fleuve au niveau des villes, c'est-à-dire là où l'eau est « polluée » ou du moins très riche en substances nutritives. Elle y constitue une nuisance qui peut être localement très importante, notamment par rapport au fonctionnement des prises d'eau des ouvrages. Il existe cependant des méthodes de lutte par procédé biologique ou par procédé mécanique, cette dernière voie étant celle actuellement utilisée à l'Office du Niger.

Ressources et peuplements en poissons

D'un point de vue biogéographique, l'ichtyofaune du fleuve Niger appartient à la province ichtyologique nilo-soudanienne (Lévêque et Paugy, 1999). Celle-ci, bien que très vaste et formée de trois grands bassins (Nil, Tchad, Niger) et divers autres petits bassins (Sénégal, Volta et autres), a gardé une composition faunistique remarquablement homogène du fait des contacts qui sont restés ou restent encore maintenus entre ces bassins. La grande taille de cette province biogéographique explique sa richesse en espèces de poissons et, en particulier, la richesse du fleuve Niger. Le nombre d'espèces peuplant la région du Niger supérieur et du delta intérieur du Niger est en effet de 130 à 140 selon Daget (Daget, 1954).

Cependant, une moitié d'entre elles est peu connue ou du moins très rarement capturée par les engins de pêche, notamment du fait de sa petite

taille. En fait, ces espèces n'entrent dans la composition des captures qu'à titre accessoire et accidentel et non en tant qu'espèces ciblées. Il est clair que, concernant de telles espèces qui ne font pas vraiment partie de la ressource halieutique, il serait vain de tenter de caractériser une quelconque situation et plus encore d'essayer de dégager des tendances évolutives. Seules des missions de chercheurs spécialisés en systématique, travaillant par empoisonnement de petites portions du fleuve ou de ses bras, sont en mesure de fournir des informations sur la présence de ces espèces et cela ne peut se faire, évidemment, que de façon très ponctuelle.

Par conséquent, les informations présentées concernent les espèces qui sont (ou qui étaient) rencontrées dans les captures de la pêche, c'est-à-dire un nombre limité à une soixantaine d'espèces. On ne peut donc répondre de façon absolue et sans aucun biais à la question « y a-t-il perte de biodiversité ? ». Par contre, il est possible de dire si, parmi les espèces mentionnées comme pêchées il y a trente ans ou soixante ans, certaines se sont raréfiées dans les captures, voire même n'apparaissent plus du tout.

L'examen des séries disponibles sur les poissons du fleuve Niger au niveau du delta et du Mali montre, en effet, que la ressource halieutique présente aujourd'hui un aspect un peu différent dans sa structure spécifique de celle qu'elle avait dans les années 1950 et même à la fin des années 1960 (Quensière *et al.,* 1994 ; Wetlands, 1999). Très peu d'espèces ont disparu (et sans doute de façon seulement locale), mais un certain nombre de celles-ci se sont considérablement raréfiées tandis que la part relative à d'autres espèces a augmenté. De façon plus précise, on s'aperçoit que les un ou deux cas de disparition ou de quasi-disparition d'espèces dans la région du delta (*Epsetus odoë* et peut être *Arius gigas*) sont intervenus de façon ancienne, entre le début du XXe siècle et les années 1960. Cependant, quatre autres espèces ou groupes d'espèces (*Gymnarchus niloticus*, *Parachana obscura, Heterotis niloticus* et trois espèces du genre *Polypterus)* ont fortement diminué depuis les années 1960, de façon liée, semble-t-il, à la raréfaction de certains types de milieux (les ceintures palustres de hautes graminées sauvages autour de pièces d'eau permanentes). Par contre, d'autres espèces appartenant notamment aux genres *Clarias* et *Chrysichthys* ont vu leurs captures augmenter. En volume, les poissons de la famille des Cichlidae (les tilapias au sens large) dominent aujourd'hui les captures au côté des genres *Clarias* et *Labeo*. Le « capitaine » *Lates niloticus* est bien présent mais en abondance limitée.

Par ailleurs, la structure démographique des populations s'est également modifiée. Toutes les populations exploitées ont acquis une structure « rajeunie », caractérisée par une dominance d'individus jeunes (les trois quart des poissons capturés sont des individus « 0+ », c'est-à-dire dans leur première année de vie) et de taille assez faible (Laë, 1995), alors que les gros individus (de plus de 3 ans, de plus de 50 cm) sont devenus très rares dans la plupart des zones du fleuve et en particulier dans le delta intérieur. Mais, là où la pression d'exploitation est restée plus faible (comme sur les cours d'eau du haut bassin), on trouve encore des poissons de grande taille.

Si les changements de composition spécifique semblent surtout liés à la perte de certains types de milieux naturels, on pense que les changements de structure démographique sont une conséquence directe de la pression de pêche.

Toutefois, on constate que, pour l'instant, ces différents changements structurels n'affectent en rien la ressource du point de vue de sa productivité, c'est-à-dire de son aptitude à produire annuellement de la biomasse prélevable : la production halieutique (en tonnes par an) avait, certes, beaucoup baissé lors de la période de grande sécheresse (1973-93) mais elle est remontée depuis le retour de crues moyennes ou bonnes et elle reste toujours proportionnelle, chaque année, à la puissance de la crue et à l'ampleur de l'inondation (cf. fig. 8 et 9, « La pêche » p. 52 et suiv.). Il existe d'ailleurs des relations statistiques permettant de prédire la production d'une campagne de pêche dans le delta à partir de la surface inondée ou bien à partir du débit du fleuve sur une station amont. Laë (1992b) établit ainsi une relation entre les captures et un indice d'inondation calculé sur les deux crues précédentes (respectivement n et n-1) :

$$\text{Captures annuelles de juillet}_{n} \text{ à juin}_{n+1} = 780{,}95\ (\text{Indice inond})_{n} + 770{,}71\ (\text{Indice inond})_{n-1} + 32\,304$$

Quant aux « baisses de ressource » régulièrement annoncées, elles ne sont que des phénomènes provisoires liés à la survenue d'une crue particulièrement mauvaise et généralement démentis dès l'année suivante. Ou bien elles relèvent d'artefacts liés à la méthode d'appréciation comme, par exemple, l'excès de focalisation sur les captures réalisées par unité d'effort (indice de type ratio qui baisse évidemment lorsque l'effort de pêche augmente, ce qui est le cas).

Toutefois, il existe un certain nombre de « dommages » liés aux évolutions récentes décrites :

■ on peut regretter sur le plan éthique la perte ou la raréfaction de certaines espèces qui représentaient souvent des types bio-écologiques originaux ;

■ on peut diagnostiquer de façon certaine une perte économique liée, d'une part, à l'excès de moyens consacrés à l'effort de pêche pour capturer une quantité annuelle de poisson (qui est étroitement dépendante de l'ampleur de la crue/inondation et qui n'est donc pas extensible) et, d'autre part, à la baisse des tailles moyennes de poisson capturé, donc de leur valeur spécifique par kg.

Enfin, il faut rappeler que la poursuite du « bon fonctionnement productif » de la ressource poisson est étroitement conditionnée au maintien de l'écosystème fleuve-plaine en bon état de santé et, en particulier, au maintien d'une ample inondation annuelle des plaines.

Ressources et peuplements en faune sauvage

L'examen de cette composante est particulièrement intéressant pour le delta intérieur du Niger qui est une grande zone présentant des milieux naturels aquatiques et palustres originaux et riches. Car pour le reste de la vallée du fleuve au Mali, il y a moins à dire. La faune (en dehors des poissons) ne s'y distingue pas sensiblement de la faune soudano-sahélienne environnante. Or, cette faune est relativement pauvre car mise à mal par l'anthropisation croissante (agriculture, défrichage, chasse) et par le dernier grand épisode de sécheresse.

Le delta intérieur du Niger renferme une grande variété d'habitats aquatiques (marécages, lacs, mares, plaines et forêts inondables) qui hébergent, toute l'année ou de façon saisonnière, des colonies de poissons, de reptiles, de mammifères et d'oiseaux aquatiques qui trouvent ici des conditions favorables à leur reproduction et à leur nourrissage. Si le delta intérieur du Niger partage ce rôle avec plusieurs autres zones humides en Afrique soudano-sahélienne, notamment avec le delta du Sénégal (Djoudj), la plaine de Hadéjia-Nguru au Nigeria, l'ensemble des plaines inondables dépendant du lac Tchad, du Logone et du Chari et les marais du Sudd au Soudan, il est, en Afrique de l'Ouest, la plus grande de ces zones humides. Seuls, les marais

de l'Okavango au Botswana pour l'Afrique australe et les marais du Sudd au Soudan peuvent lui être comparés.

Toutefois, la biodiversité du delta est loin d'être intacte. En effet, depuis une trentaine d'années, la dégradation du régime hydrologique conjuguée à l'augmentation de la pression anthropique a entraîné une pression accrue sur le milieu naturel avec des conséquences sur la grande faune sauvage.

On a observé, notamment, une disparition des grands carnivores qui fréquentaient certaines parties hautes du delta ainsi que ses marges (cas de la panthère et du lion, ce dernier étant peut être encore présent en petit nombre dans la région voisine du Gourma) et également une forte raréfaction des grands reptiles (crocodiles du Nil, pythons, varans) et des grands mammifères herbivores (lamantins et hippopotames, ces derniers étant toutefois moins touchés).

Mais pour les oiseaux d'eau, le delta intérieur du Niger reste d'une importance primordiale en Afrique de l'Ouest, tant pour la nidification que le repos migratoire ou l'hivernage. Il s'agit soit d'oiseaux afro-tropicaux, soit d'espèces paléoarctiques. Cependant, la distribution de ces oiseaux d'eau varie durant l'année, selon les saisons et d'une année sur l'autre, selon l'importance de la crue.

On ne peut tirer, à partir des observations effectuées par différents projets, un tableau univoque des évolutions en cours dans le delta. On peut cependant esquisser des tendances dont certaines pourraient se révéler inquiétantes. Alors que 125 espèces d'oiseaux d'eau fréquentaient le delta au début des années 1980, le projet « Wetlands » n'en signale plus que 103 à la fin des années 1990. Les oiseaux de grandes tailles (héron goliath, jabiru, cigogne blanche, grue couronnée) semblent particulièrement touchés par la baisse de leur présence ou de leurs effectifs. Pour les espèces de petite taille, les évolutions sont plus contrastées : les populations d'ibis falcinelle, par exemple, auraient régressé de 50 % sur ces vingt dernières années. Par contre, d'autres espèces se sont bien maintenues, leurs effectifs restant stables.

Il semble que le maintien de grandes colonies d'oiseaux d'eau soit lié à l'intégrité des forêts d'*Acacia kirkii* inondées, fortement menacées par la baisse de l'hydrologie et par les défrichements durant les années 1980/90. Le retour de meilleures crues après 1994 ainsi que des mesures de protection efficaces (forêt de Dentaka et d'Akkagoun) pourraient avoir inversé cette tendance.

Tableau 16 – Populations reproductrices (nombre de couple nicheurs) des espèces d'oiseaux d'eau nicheurs des forêts inondées du delta

Espèces	1986/1987	1994/1996	1999/2001*	Tendance
Aigrette ardoisée	200 - 250	150	130	En déclin
Aigrette garzette blanche	900 - 1 000	500 - 1 000	500 - 1 000	Stable
Aigrette garzette noire	80 - 110	+	80	En déclin/stable
Aigrette intermédiaire	800 - 875	> 200	1 700	En augmentation
Grande Aigrette	2 800 - 3 100	500 - 1 000	1 500 - 1 800	En déclin
Anhinga d'Afrique	40 - 45	15 - 30	250 - 300	En augmentation
Bec-ouvert africain	30 - 40	0 - 1	-	En déclin
Bihoreau gris	1 - 10	100 - 300	1 - 10	Irrégulier
Cormoran africain	17 000 - 17 500	16 000 - 17 000	18 000 - 20 000	En augmentation
Crabier chevelu	550 - 650	+	500	Stable ?
Héron cendré	10 - 15	30 - 50	-	Irrégulier
Héron garde-bœuf	63 000 - 65 000	65 000 - 90 000	50 000 - 60 000	En déclin
Héron mélanocéphale	10	1 - 5	2	En déclin/stable
Héron pourpré	-	2 - 10	-	Irrégulier
Ibis falcinelle	-	150	-	Irrégulier
Ibis sacré	30 - 40	50	200 - 250	En augmentation
Spatule d'Afrique	300 - 350	50	100 - 150	En augmentation

*Moyenne annuelle d'après observations sur 2 ans

Source : Wimenga *et al.*, 2002

Les oiseaux jouent un rôle écologique et économique important dans le fonctionnement de l'écosystème du delta et dans sa productivité. Ils participent à la protection des cultures par la consommation de criquets, sauteriaux et autres insectes. Une relation a pu être établie entre la production de riz, les attaques de criquets et l'abondance des oiseaux.

Pendant les bonnes années, le nombre d'oiseaux est élevé car la niche écologique est plus grande et la nourriture plus abondante. Ces oiseaux

peuvent alors constituer une source de protéines d'appoint pour les populations (chaque année, des milliers d'oiseaux, surtout des sarcelles, sont capturés et vendus dans différents marchés). Enfin, l'avifaune aquatique fait partie de l'image attractive du delta qui fait de cette région, avec le pays Dogon, la première région touristique du Mali.

Le delta intérieur du Niger, comme les autres grandes zones humides d'Afrique, fait l'objet depuis 1975 de la convention internationale de Ramsar (Iran). Cette convention définit et organise les modalités de protection de ces espaces naturels.

Conclusion sur l'état de santé du fleuve Niger et de ses écosystèmes

Cela fait bien longtemps que le fleuve Niger et sa vallée n'abritent plus des écosystèmes « vierges » ni même des écosystèmes préservés de l'anthropisation et de ses effets. De nombreux facteurs (climatiques, anthropiques) sont intervenus au cours du dernier siècle et ont appauvri la richesse (la biodiversité) des écosystèmes associés au fleuve. Il en résulte que ni le fleuve Niger dans son ensemble, ni le delta en particulier ne peuvent aujourd'hui être considérés comme de grandes zones de nature sauvage. Par ailleurs, des phénomènes de pollution localisés sont apparus ici ou là et peuvent constituer des menaces pour l'avenir.

Cependant, malgré ces évolutions, les mécanismes écologiques de base de la productivité du fleuve et de ses écosystèmes, exprimés en termes de capacité à générer une biomasse de qualité sans apports d'intrants, sont intacts et sont toujours aussi remarquables par leurs performances quantitatives – en comparaison de celles d'autres milieux naturels en Afrique et dans le monde. Et ces mécanismes s'activent sans difficulté dès que l'eau arrive en quantité suffisante.

Cadre institutionnel et instruments de gestion existants

Les sociétés qui peuplent la vallée du fleuve Niger ont depuis longtemps instauré des règles communautaires ou coutumières pour gérer l'utilisation de l'espace et de ses ressources. En particulier, un code pastoral définissant des territoires pastoraux (*leydii*) gérés par des clans peuls fut formalisé au XIXe siècle par l'Empire Peul du Macina. Les ressources halieutiques ont

également fait l'objet, depuis longtemps, de règles d'usage appliquées sous le contrôle de « maîtres d'eau ». Ces systèmes traditionnels de règles de gestion ont été étudiés et décrits par de nombreux auteurs à la suite de A.H. Bâ et J. Daget (1955) et Gallais (1967). Les changements politiques, économiques et environnementaux de la deuxième moitié du XXe siècle ont considérablement affecté et déstabilisé le bon fonctionnement de ces systèmes qui restent cependant très ancrés dans les esprits et les comportements.

Le présent chapitre traite des institutions et des codes « modernes » issus d'abord des efforts accomplis au début de l'Indépendance pour remplacer ces systèmes traditionnels, puis des réformes récentes de la décentralisation qui tentent maintenant de concilier les règles modernes de gestion et les pouvoirs traditionnels locaux.

Les réformes institutionnelles que connaît le Mali depuis 1991 sont actuellement complétées par une nouvelle approche de la gestion des ressources en eau qui ne peut se comprendre que dans un cadre international compte tenu du caractère transfrontalier du bassin du Niger.

Le cadre international

La Gire ou « vision partagée »

Un ensemble d'initiatives internationales sur la gestion et la gouvernance de l'eau apparu à la conférence de Paris en 1998 et réaffirmé au « Sommet de la terre » (Johannesburg - 2002) oriente les politiques de l'eau au plan national et régional.

Cette nouvelle politique de l'eau, la Gire (Gestion intégrée des ressources en eau) se définit comme un processus qui favorise le développement et la gestion coordonnés de l'eau, des terres et des ressources connexes, en vue de maximiser de manière équitable le bien être économique et social en résultant, sans pour autant compromettre la pérennité d'écosystèmes vitaux.

La Gire, qui se définit comme une « vision partagée », pose le principe qu'une bonne gouvernance de l'eau ne peut être qu'une gestion intégrée à l'échelle des bassins versants. En accord avec les États membres, les instances internationales et les bailleurs de fonds ont mis l'accent sur les grands bassins fluviaux transfrontaliers. Parmi ces grands bassins figurent en Asie le Mékong, en Afrique les bassins des lacs Tchad et Victoria, les bassins des

fleuves Orange et Volta et le bassin du fleuve Niger. Dans ce contexte, l'application de la Gire – qui est devenue la politique officielle de la République du Mali – entraîne de profondes réformes juridiques et institutionnelles. Elles devraient permettre de faire passer la gestion de l'eau, qui était jusque là une gestion sectorielle et technique, à une gestion intégrée opérant par bassin et sous-bassin.

La mise en œuvre de la Gire au Mali s'appuie sur les changements très importants survenus ces dernières années dans la législation consacrée à l'eau, dans le périmètre des structures responsables de la gouvernance de l'eau ainsi que dans les relations qu'elles entretiennent entre elles et avec les acteurs de la société civile.

Une institution internationale : l'Autorité du Bassin du Niger (ABN)

La principale institution internationale est l'Autorité du Bassin du Niger (ABN). Composée de neuf États riverains du fleuve (Cameroun, Côte d'Ivoire, Bénin, Guinée, Burkina Faso, Mali, Niger, Nigeria, Tchad), elle a été instituée par la convention du 21 novembre 1980 signée à Faranah (République de Guinée). À partir de son siège à Niamey, elle a pour but de promouvoir la coopération entre les pays membres et d'assurer le développement intégré du Bassin du Niger dans les domaines de l'énergie, de l'hydraulique, de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche et de la pisciculture, de la sylviculture et de l'exploitation forestière, des transports et communications et de l'industrie.

Les objectifs de l'ABN sont les suivants :

■ harmoniser et coordonner les politiques nationales de mise en valeur des ressources en eau du bassin du Niger ;

■ promouvoir et participer à la planification du développement par l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de développement intégré du bassin ;

■ promouvoir et participer à la conception et à l'exploitation des ouvrages et des projets d'intérêt commun ;

■ assurer le contrôle et la réglementation de toute forme de navigation sur le fleuve, ses affluents et sous-affluents ;

■ participer à la formulation des demandes d'assistance et à la mobilisation des financements des études et travaux nécessaires à la mise en valeur des ressources du bassin.

L'ABN s'informe de façon permanente des plans de développement des États. Les États, de leur côté, doivent tenir informé l'organe d'exécution de l'ABN (secrétariat exécutif) de tous les projets et travaux qu'ils se proposeraient d'entreprendre dans le bassin, en particulier des aménagements susceptibles de modifier le disponible en eau. Ils s'abstiennent d'exécuter sur la portion du fleuve (ou de ses affluents et sous-affluents) relevant de leur juridiction territoriale, tous travaux susceptibles de polluer les eaux ou de modifier négativement les caractéristiques biologiques de la faune et de la flore.

Le cadre légal et institutionnel au Mali

Les codes

Le Code domanial et foncier

Dans le domaine de l'eau, le code domanial et foncier différencie :

■ le domaine public naturel qui comprend notamment les cours d'eau navigables ou flottables et leurs rives (zone de passage de 25 m), les sources et cours d'eau non navigables ni flottables, les lacs et étangs… ;

■ le domaine public immobilier artificiel comprenant les ports fluviaux, les canaux de navigation, les canaux d'irrigation ou de drainage, les aqueducs, les dépendances de ces ouvrages lorsqu'ils sont exécutés dans un but d'utilité publique.

Le Code de l'eau par la loi n°2-006 du 31 janvier 2002

La loi n° 2-006 du 31 janvier 2002 fixe les règles d'utilisation, de conservation, de protection et de gestion des ressources en eau. Elle s'applique à toutes les eaux dépendant du domaine hydraulique, c'est-à-dire du domaine public hydraulique de l'Etat et du domaine public hydraulique des collectivités territoriales, réglementé par le code domanial et foncier. La gestion globale, durable et équitable de la ressource en eau ainsi que sa protection est assurée par l'État qui peut transférer une partie des ressources hydrauliques aux collectivités décentralisées. Un schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux, établi pour vingt ans par le ministère chargé de l'eau, fixe les objectifs d'utilisation, de mise en valeur et de protection quantitative et qualitative des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques. Ce code jette les bases d'une nouvelle réglementation du secteur de l'eau et légitime les structures en charge de la gestion des ressources en eau. Il préconise la mise en place d'un fonds de développement du service public de l'eau et

crée un conseil national, des conseils régionaux et locaux, des comités de bassins chargés d'émettre des avis et de faire des propositions sur la gestion des ressources en eau et sur les projets d'aménagement. Chacun à son échelle, conseil ou comité, a un rôle consultatif sur la gestion des ressources, les projets d'aménagement, les éventuels conflits d'usage d'eau, etc.

La Charte pastorale codifiée par la loi n°004 du 27 février 2001

La Charte pastorale définit les principes fondamentaux régissant l'exercice des activités pastorales et organise la gestion de l'espace pastoral. Elle définit les droits essentiels des pasteurs en matière de mobilité des animaux et d'accès aux ressources pastorales ainsi que leurs obligations (principalement, en fait, de préservation de l'environnement et des biens d'autrui). Les espaces pastoraux constitués par les pâturages herbacés et aériens, les bourgoutières communautaires, les terres salées, les points d'eau et les gîtes d'étape relèvent des domaines de l'État et des collectivités territoriales. L'accès y est ouvert conformément à la réglementation fixant les délais et les modalités de passage d'animaux et conformément aux coutumes et aux droits d'usage locaux. La gestion des ressources pastorales relève des collectivités territoriales sur leur territoire qui gèrent, par conséquent, les pistes pastorales et peuvent réglementer l'accès aux ressources et faire payer des redevances aux pasteurs pour leur utilisation.

Le Code des collectivités territoriales (1995) et les textes connexes

Le Code des collectivités territoriales reconnaît aux collectivités la personnalité morale, l'autonomie financière et la compétence pour régler, par leurs délibérations, leurs affaires respectives en matière de protection de l'environnement et de gestion domaniale et foncière. Les collectivités territoriales peuvent notamment créer et gérer des équipements collectifs en matière d'hydraulique rurale ou urbaine et organiser des activités rurales et des productions agro-sylvopastorales. Si le domaine d'une collectivité se compose d'un domaine public et d'un domaine privé, l'État peut, pour des raisons d'intérêt général, transférer la gestion d'une partie de son domaine public naturel ou artificiel à cette collectivité décentralisée, à charge alors pour elle d'en assurer la conservation.

La loi n°96-050 sur les principes de constitution et de gestion du domaine des Collectivités territoriales

Le domaine public naturel des collectivités territoriales comprend toutes les dépendances du domaine public de l'État situées sur leur territoire et

dont l'État a transféré la conservation et la gestion : les cours d'eau, les mares, lacs et étangs, les périmètres de protection, les sites naturels déclarés domaine public par la loi.

Le domaine public artificiel comprend les aménagements et les ouvrages réalisés pour des raisons d'intérêt régional, de cercle ou communal.

Les collectivités territoriales sont responsables de la gestion, de l'aménagement, de la conservation et de la sauvegarde de l'équilibre écologique de leur domaine. Elles élaborent un schéma d'aménagement du territoire qui, revu et corrigé périodiquement en tenant compte du schéma national, précisera le domaine agricole, pastoral, piscicole, faunique, minier et de l'habitat.

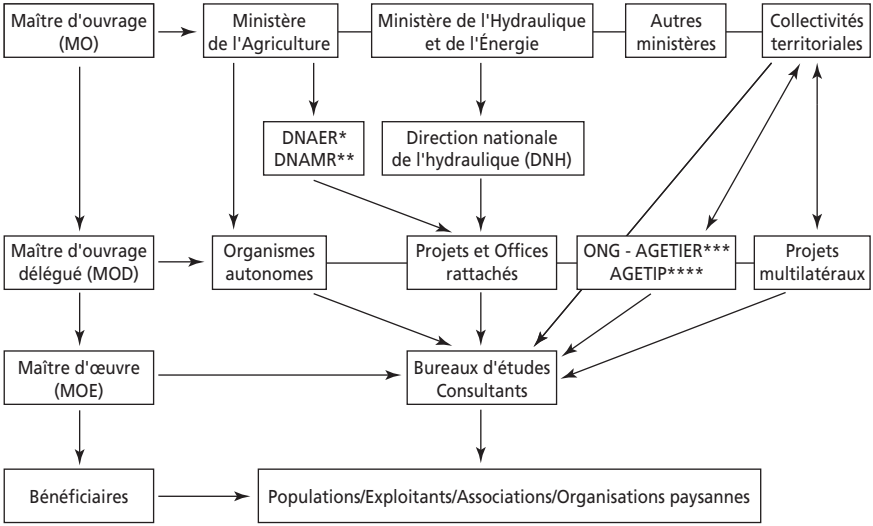
Le domaine pastoral comprend : les zones de pâturage, les jachères de plus de 10 ans, les parcours pastoraux et les points d'eau. Les organes compétents des collectivités réglementent l'organisation des activités pastorales en collaboration avec les organisations professionnelles et les services techniques et fixent les taux des redevances perçues pour les autorisations d'accès aux pâturages après consultation de la Chambre régionale d'agriculture.

Le domaine piscicole comprend les aménagements hydrauliques et piscicoles que les collectivités réalisent sur leur territoire et les eaux publiques qui leur sont concédées par l'État. Là encore, les organisations professionnelles sont consultées et une redevance est perçue pour les autorisations de pêche.

Les institutions politiques, administratives et associatives

Le ministère des Mines et de l'Eau est l'institution principale pour la gestion du fleuve au Mali. Il exerce une tutelle statutaire et de principe sur tout le secteur de l'eau dont il a la charge institutionnelle à travers, principalement, la Direction nationale de l'hydraulique (DNH). La DNH est chargée de faire l'inventaire et d'évaluer au plan national les ressources hydrauliques. Elle évalue tous les projets qui touchent à l'eau et en assure la maîtrise d'œuvre directe (par exemple le projet Gestion hydroécologique du Niger supérieur, Ghenis).

Les Directions régionales et sous-régionales de l'hydraulique et de l'eau (DRHE) sont des services déconcentrés sous la coordination et le contrôle de la DNH. Elles ont un rôle d'appui et de conseil auprès des collectivités territoriales en cumulant les fonctions de gestion, de maîtrise d'ouvrage et de contrôle.



*DNAER : Direction nationale de l'aménagement et de l'équipement rural
**DNAMR : Direction nationale de l'appui au monde rural
***AGETIER : Agence d'exécution des travaux d'infrastructures et d'équipements ruraux
****AGETIP : Agence pour l'éxécution de travaux d'intérêt public contre le sous-emploi

Figure 10
Schéma institutionnel d'intervention dans le secteur de l'eau

Le ministère des Mines et de l'Eau abrite également des comités consultatifs. Ces comités de bassins ou de sous-bassins ont pour mission de garantir une gestion concertée des ressources à l'échelle du bassin et du sous-bassin. À cet effet, ils peuvent formuler des propositions relatives à la gestion des ressources hydrographiques et des systèmes aquifères. Ils peuvent aussi proposer la révision du plan d'aménagement et de gestion des eaux des bassins et sous-bassins hydrographiques ou des systèmes aquifères.

Le Comité du bassin du Niger supérieur couvre, par exemple, les régions de Sikasso, de Koulikoro, de Ségou et de Mopti. Il est composé des usagers, de l'administration et des collectivités territoriales. Il est chargé de donner un avis sur l'exploitation des ressources en eau du bassin. Le comité a, officiellement, une large compétence consultative, mais elle est en réalité, pour l'instant, peu respectée.

Par contre, la Commission de gestion des eaux de Sélingué notamment chargée de la gestion de la retenue, est fonctionnelle. Présidée par la DNH, elle est obligatoirement consultée et se réunit une fois par mois. Elle a pour attributions :

■ d'examiner les différents programmes de gestion de l'eau élaborés par les structures nationales bénéficiaires des eaux de la retenue et de veiller à leur adéquation ;

■ d'arrêter les programmes de gestion des eaux de la retenue (remplissage et déstockage) ;

■ d'informer les décideurs de l'incidence de la gestion des eaux de la retenue sur tous les aspects techniques des activités liées au barrage (production électrique, migration, pêche, santé, industrie, tourisme, environnement) ;

■ de s'assurer de la bonne tenue de l'ouvrage.

Le ministère de l'Environnement exerce ses activités notamment à travers l'Agence du bassin du fleuve Niger (ABFN) créée par ordonnance en 2002. La mission de l'Agence est de sauvegarder le fleuve Niger, ses affluents et leurs bassins versants et notamment de :

■ renforcer les capacités de gestion des ressources du fleuve, de ses affluents et de leurs bassins versants ;

■ promouvoir l'amélioration et la rationalisation de la gestion des ressources en eau pour les différents usagers ;

■ contribuer à la prévention des risques naturels, à la lutte contre les pollutions et les nuisances et au maintien de la navigation ;

■ entretenir des relations de coopération avec les organismes techniques similaires des pays riverains concernés ;

■ concevoir et gérer un mécanisme financier de perception de redevances auprès des organismes préleveurs et pollueurs d'eau et d'utilisation de ces redevances.

D'autres ministères interviennent dans le secteur de l'eau :

■ le ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche qui s'occupe de l'aménagement hydroagricole et de la pêche et qui est également intéressé par la qualité de l'eau ;

■ le ministère de l'Administration territoriale et des Collectivités locales qui a en charge, entre autres, la mise en œuvre des aides d'urgence ou des secours en relation avec les ministères chargés des affaires étrangères et de la protec-

tion civile (catastrophes naturelles, inondations). Trois types de collectivités territoriales peuvent avoir compétence dans le domaine de la politique de l'eau :

– le conseil communal : il est maître d'ouvrage responsable de la politique de l'eau et de l'assainissement au niveau local. Il est doté de conseils pour les différents secteurs (pêche, élevage...) ;

– le conseil de cercle : il approuve les projets communautaires avec l'appui des services techniques ;

– l'assemblée régionale : elle veille à la cohérence des projets élaborés avec les programmes nationaux.

Par ailleurs, les collectivités territoriales participent aux conseils et aux comités de bassin créés par le nouveau Code de l'eau.

Enfin, il ne faut pas oublier les institutions de la société civile (associations) devenues importantes par leur rôle depuis le changement de régime de 1991-92. La société civile intervient dans les comités de bassin à travers les instances élues de la décentralisation (les collectivités territoriales et leurs conseils) mais également à travers les organisations professionnelles qui existent dans les différents domaines d'activité liés au fleuve Niger (pêche, agriculture, élevage notamment). Très actives, elles sont régulièrement consultées. On peut citer, entre autres : l'Association des pêcheurs résidents au Mali, l'Association des pêcheurs et pisciculteurs du Mali, l'Association pour le développement intégré à base communautaire.

Approche par fonctions opérationnelles : quelques exemples

La fonction de concertation – préalable aux politiques ou aux décisions de gestion – est prévue par la Constitution du Mali qui envisage trois grands cadres pour l'assurer :

■ l'Assemblée nationale qui a, avec sa commission du développement rural et de l'environnement, l'initiative des lois en matière d'environnement conjointement avec le haut conseil des collectivités ;

■ le Haut conseil des collectivités territoriales qui a pour mission d'étudier et de donner un avis sur toute politique de développement local et régional. Le Gouvernement est tenu de le saisir pour avis sur ces questions ;

■ le Conseil économique, social et culturel qui a compétence sur tous les aspects du développement économique, social et culturel y compris la protection, la défense de l'environnement et la promotion de la qualité de la vie.

En matière de gestion de l'eau et de façon plus immédiatement pratique, la concertation va pouvoir être assurée par les nouveaux comités ou les commissions de bassin ou de gestion de l'eau qui ont été définis, voire déjà mis en place, à différents niveaux de l'organigramme des institutions de l'État (cf. « Le cadre légal et institutionnel au Mali » p. 84).

Un bon exemple est donné par la commission nationale de gestion des eaux qui, depuis sa mise en place, vise à mieux coordonner les gestions de Sélingué et de Markala, lesquelles sont sous la responsabilité d'institutions très distantes. Elle permet notamment au barrage de Markala (et donc à l'Office du Niger) de mieux profiter de la régulation assurée par Sélingué. Elle a également fixé un seuil minimal de 40 m^3/s à respecter en aval de Markala (en étiage) dans l'intérêt des usagers situés en aval.

La fonction de planification est confiée aux différents ministères et aux directions nationales qui leur sont rattachées. Elle se traduit par la définition de politiques sectorielles présentées sous la forme de schémas directeurs. Toutes les politiques sectorielles sont théoriquement cohérentes et font désormais référence au Cadre stratégique de lutte contre la pauvreté (CSLP) qui est la ligne politique de référence au niveau national et qui s'impose donc à toutes les politiques sectorielles. Un exemple de politique sectorielle est celui du Schéma directeur du secteur développement rural (SDDR) qui constitue le cadre de référence des interventions en matière de développement rural pour la période 2000/10. Les orientations stratégiques du SDDR découlent d'une analyse diagnostique de l'évolution du secteur et sont issues d'un consensus entre tous les acteurs (État, collectivités territoriales, producteurs, société civile, partenaires au développement). Ces orientations stratégiques constituent les fondements des domaines d'intervention et des programmes de développement du secteur. Parmi les domaines prioritaires d'intervention, le développement de l'irrigation occupe une place importante. Ceci a abouti à la définition d'un schéma de Stratégie nationale de développement de l'irrigation (SNDI) qui met la priorité sur le développement des aménagements en maîtrise totale et qui met en avant six objectifs :

- rendre la conception des structures d'irrigation plus rationnelle et en réduire le coût ;
- encourager la participation d'entités non gouvernementales et faciliter leur accès aux financements ;
- améliorer la gestion des périmètres irrigués ;

■ augmenter la production et la productivité sur les périmètres irrigués ;

■ réformer le cadre institutionnel et juridique pour le sous-secteur ;

■ minimiser les impacts environnementaux négatifs et les conflits sociaux créés par l'irrigation.

D'une manière générale, les options prises dans le SNDI ont pour objectifs d'augmenter les surfaces sous irrigation et d'améliorer la productivité des systèmes de production.

Les fonctions d'information et de suivi

Les fonctions d'inventaire, de suivi, d'information et de renforcement des connaissances, notamment à travers la réalisation de collectes régulières de données et la publication de rapports statistiques, sont réalisées de façon séparée au niveau de chacune des institutions de l'État en charge de tel ou tel secteur, ou composante de l'environnement. L'ensemble de ces services peut, potentiellement, fournir une information qui couvrirait assez bien le suivi de toutes les composantes du secteur rural et de l'environnement, en particulier autour du fleuve Niger. La collecte des informations hydrologiques est notamment effectuée par la direction nationale de l'hydraulique au sein d'une base de données (Hydrom) en cours de modernisation et de transformation (la base Hydraccess). Le tableau 17 (p. 92 à 97) récapitule l'ensemble du dispositif assurant les fonctions d'inventaire, de suivi et de renforcement des connaissances sur le fleuve Niger.

Tableau 17 – Dispositifs et services assurant des fonctions d'inventaire, de suivi et de renforcement des connaissances sur le fleuve Niger

Domaine	Identification du dispositif	Rattachement institutionnel	Types de données collectées
Eau de surface	Radio, téléphone, récepteur HF (BLU) PCD (Plate-forme de collecte des données), Poste Réseau hydrométrique	MMEE DNH	Hauteurs et débits des cours d'eau
Eau souterraine	Réseau piézométrique	MMEE DNH	Niveaux statiques
Aménagement hydraulique	Aménagement des cours d'eau	MMEE DNH	* Débits * Pluviométries * Études géotechniques * Levées topographiques * Données topographiques
Hydraulique rurale	Réalisation des forages et des puits	MMEE DNH	* Nombre d'ouvrages réalisés * Nouveaux forages * Nouveaux puits * Réalisations en équipement de pompe * Réhabilitations
Qualité des eaux	Qualité des eaux	MMEE DNH Laboratoire de la qualité de l'eau (LQE)	Paramètres physico- chimiques et bactériologiques

Tableau 17 –

Informations produites	Temporalité	Couverture géographique	Niveau d'informatisation
* Bulletins mensuels, décadaires, hebdomadaires * Notes sur la crue * Annuaires hydrologiques	* Hebdomadaire * Décadaire * Semestrielle * Annuelle	* Nationale * 100 stations hydrométriques	* Logiciels maison : GESTRA, Ghenis * Logiciels spécialisés : HYDROM, SAFARHY, IDRISSI, HYDRACCESS * Logiciels courants, messagerie électronique
Annuaires piézométriques	Bi-annuelle	Nationale	Logiciels courants
Rapports techniques (ensablement du chenal navigable, pose de balises, réparation des quais, protection des berges)	Continuelle	Nationale	* Logiciels courants * Logiciels spécialisés
* Tableaux de bord rendus à la direction hebdomadairement * Rapports trimestriels * Rapports mensuels * Rapports annuels	Continuelle	Tout le territoire	Logiciels courants
Certificats d'analyse d'eau	Journalière	Nationale	Logiciels courants

Tableau 17 – Suite

Domaine	Identification du dispositif	Rattachement institutionnel	Types de données collectées
Météorologie	GTPA (Groupe de travail pluridisciplinaire d'assistance météorologique) (radio, télé, journaux, BLU)	DNM (Direction nationale de la météorologie du Mali)	* Pluviométrie * Niveau d'eau * État des cultures * Pâturages * État phytosanitaire * État zoosanitaire * Pêche
	Agro-météo	DNM	Nombre de paysans suivis
	Système d'information destiné aux usagers	DNM	* Pluviométrie * Température (maxi, mini, moyenne) * Vent (direction, vitesse) * Insolation, * Evaporation, ETP (évapotranspiration potentielle)
Environnement	Information sur la forêt	MEA Direction nationale de la conservation de la nature	* Quantité de bois exploité au niveau des forêts classées * Potentiel des ressources ligneuses * Composition floristique des forêts
	Information sur la faune	MEA Direction nationale de la conservation de la nature	Nombre et diversité des espèces existantes
Navigation	RAC (Radio autonome de communication)	Ministère de l'Équipement et des Transports	* Transport fret et passager * Position des unités
Assainissement	Assainissement Contrôle des pollutions et des nuisances	MEA	Nuisances causées par : - les eaux usées domestiques - les eaux usées artisanales - les eaux usées industrielles - la jacinthe d'eau

Tableau 17 –

Informations produites	Temporalité	Couverture géographique	Niveau d'informatisation
* Bulletins décadaires * Bulletins mensuels	* Saison des pluies * Saison sèche	Nationale	* Logiciel spécialisé CLIMBASE * Logiciels courants
* Champs suivis * Champs non suivis	Saison des pluies		
* Annuaires climatologiques * Prévisions saisonnières	* Annuelle * Juillet, août, septembre	Tout le pays	100 %
* Rapports trimestriels * Rapports annuels * Bulletins Sahel vert	Continuelle	Tout le pays	
	Continuelle	Tout le pays	
* Tonnage et passagers * Programmation des unités	Campagne 6 mois	Koulikoro à Gao	Billetterie, transport, fret et passagers, secrétariat
* Information * Sensibilisation * Éducation	Rapports mensuel, trimestriel, semestriel, annuel	District de Bamako	Connections internet

Tableau 17

Domaine	Identification du dispositif	Rattachement institutionnel	Types de données collectées
Développement rural	Bureau de documentation courante	Direction nationale d'appui au monde rural Ministère de l'Agriculture	Bilan de la campagne agricole du Mali : - superficies emblavées - superficies semées - production - quantité des intrants - rendements
CMDT		Ministère de l'Agriculture	* Rapport bilan * Rapport de commercialisation * Rapport d'achat
Etude et recherche agricole	Institut d'économie rurale (IER)	Ministère de l'Agriculture Ministère de l'Élevage et de la Pêche (MEP)	Etudes et recherches sur les systèmes de production agricole
			Etudes, recherches et suivis sur le système halieutique
			Evolution des systèmes agraires
			Analyse des politiques agricoles
Santé animale	RAC (Radio autonome de communication), FAX	Ministère de l'Élevage et de la Pêche (MEP)	Maladies infectieuses de la liste A et B de l'OIE
Production de pêche	Statistiques de débarquements à Mopti (Opération Pêche Mopti)	Ministère de l'Élevage et de la Pêche (MEP)	* Quantité de poisson pêché par variétés * Quantité de poisson commercialisé

Tableau 17 –

Informations produites	Temporalité	Couverture géographique	Niveau d'informatisation
* Rapport d'activité, émission radio et télévision * Réalisation * Comparaison à l'année précédente	* Bibliothèque et production régulière *Rapport mensuel *Rapport décadaire *Rapport annuel	* Répertoire de la documentation informatisée * Zonale, nationale et régionale	* Messagerie électronique * Logiciel courant de traitement des données
* Superficies * Exploitation * Production * Commercialisation * Évacuation du coton * Égrenage * Population	Conservation des archives de la base jusqu'à la direction à condition que le système d'encadrement soit durable	* Toute la région de Sikasso * Une partie de la région de Kayes * Une partie de la région de Ségou	* Toute la direction générale * La région pour la comptabilité de matière générale et la trésorerie générale
État d'évolution des systèmes agraires	Pluriannuelle et annuelle	Zonale, nationale et régionale	* Site Web * Logiciels courants * Logiciels spécialisés * Logiciels de gestion des données * Le SIG * Tableurs
État de la ressource et indices de production	Pluriannuelle	Surtout dans le delta intérieur du Niger	
Nouvelles orientations de la politique agricole	Pluriannuelle et annuelle	Zonale, nationale et régionale	
Tendance des filières agricoles	Pluriannuelle et annuelle	Zonale, nationale et régionale	
* État de mortalité * Quantité de vaccins disponibles	* Rapport mensuel * Rapport annuel	Nationale	* Messagerie électronique * Logiciel de traitement
Quantité de poisson frais, fumé, brûlé et séché	* Rapport mensuel * Rapport annuel	Nationale	* Messagerie électronique * Logiciel de traitement

Les problèmes : modes actuels de leur gestion

Nous examinerons dans cette partie les « problèmes », c'est-à-dire que nous focaliserons notre attention sur des points particulièrement difficiles auxquels les gestionnaires doivent faire face. Dans la plupart des cas, ces problèmes naissent à l'intersection des dynamiques de forçage (telles que le climat), des dynamiques de certaines ressources vivantes, des dynamiques d'usage, voire des dynamiques sociétales et institutionnelles ; c'est-à-dire toutes composantes que nous avons examinées, une à une, lors du précédent chapitre.

Nous proposons de classer ces problèmes en quatre catégories : en premier lieu, les « risques d'aléas » qui caractérisent des phénomènes parfois brutaux mais de durée limitée, déclenchés par une composante aléatoire « l'aléa » sur lequel l'homme n'a que peu ou pas de contrôle ; en second lieu, les « tensions » qui caractérisent des états permanents d'opposition ou de souffrance (ouverte ou masquée) dans lesquels la responsabilité de l'homme, de ses activités ou de ses institutions joue un rôle important ; enfin, les « menaces » qui ne sont pas encore tout à fait d'actualité mais qui pèsent sur le futur, surtout si les gestionnaires ne prennent pas aujourd'hui les décisions qui s'imposent pour les juguler. Les dynamiques environnementales, qu'elles soient seules ou qu'elles entrent en interactions négatives ou imprévues avec certains comportements humains, jouent un rôle important dans ces trois premières catégories.

Enfin, une quatrième catégorie de problèmes, que nous nommerons « difficultés institutionnelles » renvoie à l'épineuse question de l'amélioration du système de gouvernance dont on attend, justement qu'il parvienne à faire en sorte que les hommes ne se mettent pas en situation de vulnérabilité par rapport à l'environnement et qu'ils s'entendent entre eux pour le partage de ses richesses.

Mais avant de commencer l'examen des problèmes relatifs aux catégories sus-décrites, il faut rappeler brièvement l'existence d'une autre catégorie de

problèmes, ceux qui concernent la santé et qui sont liés, en particulier, aux « maladies hydriques ». En effet, il est connu qu'un certain nombre de virus, bactéries et autres agents (vers, protozoaires) pathogènes pour l'homme – ainsi qu'un certain nombre d'animaux (insectes, mollusques) vecteurs de ces mêmes agents – trouvent dans les milieux aquatiques des régions tropicales des conditions très favorables à leur persistance ou à leur multiplication. Les populations de la vallée du fleuve Niger subissent, à ce titre et comme celles des autres zones humides de la zone soudano-sahélienne, de lourds taux de morbidité et de mortalité, notamment par le paludisme, la bilharzioze, le choléra (endémique, à poussée saisonnière, dans la région de Mopti), la leishmaniose et le charbon qui, lui, toutefois, touche surtout le bétail. D'autres maladies infectieuses qui sont, quant à elles, davantage liées à la pauvreté et aux comportements qu'au milieu naturel sévissent lourdement : le trachome, la méningite, les amibiases, les hépatites, la tuberculose et le Sida. Si l'on ajoute à cela la faiblesse des équipements sanitaires qui caractérise les zones rurales ainsi que les difficultés de transport des malades, il n'est pas surprenant d'observer des statistiques de santé particulièrement sombres. La région de Mopti (delta intérieur du Niger) se distingue ainsi par une mortalité infantile de 325 ‰ entre 0 et 4 ans, contre 237 ‰ à l'échelle nationale (Coulibaly *et al.*, 1996). Les maladies hydriques des régions tropicales ont été l'objet de nombreuses études qui ont montré notamment, que les aménagements hydroagricoles pouvaient jouer un rôle dans leur diffusion (Samé-Ekobo *et al.*, 2001).

Risques liés à la survenue d'aléas

Survenue d'une mauvaise année « hydroclimatique »

Le phénomène et ses circonstances

C'est le risque le plus élevé encouru par les ruraux. Il s'agit bien d'un risque car un déficit pluviométrique associé à une faible crue constitue un véritable aléa annuel, pratiquement non prévisible. Cet aléa qui touche la campagne agricole et halieutique (mais aussi l'élevage) est d'occurrence fréquente : on peut convenir que depuis les années 1970, la probabilité d'année « assez mauvaise » ou « très mauvaise » en termes de pluviométrie et de crue atteint une occurrence d'au moins une année sur trois. Souvent, cet aléa climatique affecte le bassin du Niger au Mali de façon homogène et globale.

En effet, dans les régions climatiques voisines que sont les régions soudaniennes et sahéliennes, ce sont les mêmes années qui sont déficitaires en pluviométrie. Si bien que les déficits de débit sur le Niger amont et le Niger moyen sont corrélés aux déficits de pluies qui ont lieu non seulement sur la région du Niger amont (ce qui est logique) mais aussi aux pluies qui tombent sur le Niger moyen sahélien (ce qui pourrait ne pas être le cas, puisque ce n'est pas la pluie sahélienne qui « fait » la crue du Niger). Le résultat est qu'il y a peu de chance de compenser un contexte global défavorable (mauvaise crue et problèmes pour les cultures d'inondation) par des conditions locales (pluies et cultures pluviales) qui pourraient être, localement, plus favorables.

La relation inverse n'est pas vraie : il peut arriver, pour une année donnée, que la pluviométrie générale soit bonne (entraînant une bonne crue) mais que les conditions en un lieu donné soient mauvaises pour les cultures. Sont alors en cause des aléas météorologiques de définition plus fine, tels que l'aléa de plus ou moins bonne synchronisation entre pluie et crue qui joue un rôle déterminant pour la réussite des systèmes de riziculture traditionnels.

Les impacts

L'impact social et économique d'une mauvaise année hydroclimatique (comme celle de 2004) est énorme. Les populations rurales directement concernées peuvent subir une disette l'année suivante au moment de la phase de « soudure », c'est-à-dire lorsqu'il faut faire face à un manque de céréales dans les greniers à partir de mai ou de juin en attendant la prochaine récolte qui n'intervient généralement qu'à partir d'octobre ou de novembre. L'économie nationale, dans son ensemble, est également touchée avec une détérioration de la balance commerciale (du fait des importations de riz et de poisson de mer congelé) et un ralentissement de la croissance, voire une récession.

Mode(s) de gestion

La gestion de ces mauvaises années hydroclimatiques est l'un des défis récurrents les plus difficiles parmi ceux posés aux autorités des pays soudano-sahéliens comme le Mali. Plusieurs réponses complémentaires existent :

■ secourir les populations rurales victimes de ces aléas en distribuant de l'aide alimentaire bien ciblée pour ne pas casser le marché des produits agricoles. C'est le rôle du Programme alimentaire mondial (PAM) informé par le Système d'alerte précoce (SAP) ;

■ mettre une partie du secteur agricole à l'abri de ce type d'aléa en créant de grands aménagements hydroagricoles sécurisés (ce qui suppose, tout de même, qu'une quantité d'eau suffisante puisse être stockée en amont) ;

■ tenter de limiter les impacts de l'aléa par une information permettant aux acteurs de l'anticiper de quelques semaines et de mieux le « gérer » (par exemple, en adaptant leurs stratégies annuelles de culture ou bien leurs investissements de pêche : système régional Agrhymet).

Survenue de crues et d'inondations exceptionnelles

Le phénomène et ses circonstances

On rappelle que le régime du fleuve Niger est caractérisé, de façon normale et attendue, par l'occurrence d'une ample crue annuelle dont la montée progressive s'étend sur plusieurs semaines et atteint un maximum juste à la fin de la saison des pluies. Ce maximum – ou sommet de l'onde de crue – se déplace ensuite d'amont en aval entre Bamako (début ou mi-septembre) et Gao (fin décembre ou janvier). Il s'émousse (ou s'aplatit) au fur et à mesure de son avancée vers l'aval.

Il s'ensuit que le phénomène d'inondation est régulier et survient chaque année, en chaque zone, à la période de l'onde de crue. Toutes les rives et les plaines adjacentes au fleuve sont concernées. Dans la région du delta, cette inondation s'étend sur plusieurs milliers de km^2 et dure de sept à dix semaines centrées de septembre à novembre.

D'une façon générale, les animaux (le cheptel) et les hommes connaissent et attendent ces variations de débit et de niveau. Ils calquent leurs rythmes d'activité et de déplacement sur le cycle du fleuve et ils savent même « exploiter » ce régime cyclique pour croître ou produire davantage.

Pour caractériser les risques affectant les installations ou les vies humaines, il est donc nécessaire de bien distinguer ce qui dans le cadre d'un tel régime annuel, peut être considéré comme un aléa réellement porteur de menace. On peut distinguer de ce point de vue deux types d'événements :

■ une crue qui se déroule selon une allure normale (montée progressive de l'eau) mais qui atteint une cote maximale exceptionnellement haute ;

■ un phénomène de montée de l'eau plus rapide que la normale (plus de 5 cm par jour) en un point donné ou sur un bief donné.

On peut analyser, ensuite, les circonstances qui favorisent la survenue de tels événements. De ce point de vue, deux ou trois types d'événements assez différents méritent d'être distingués :

■ le premier cas (événement de type A) correspond, en fait, à l'aléa opposé à la « mauvaise année » hydroclimatique : il s'agit de la « trop bonne année » hydroclimatique. Des analyses fréquentielles conduites par la Direction nationale de l'hydraulique ont permis d'associer à chaque niveau de crue des « fréquences de retour » : crue décennale (une en moyenne tous les dix ans), crue centennale, etc. La probabilité de survenue de l'aléa peut être ainsi assez bien cernée. Cependant, une telle définition devrait être complétée par un facteur associé au vécu générationnel : la crue de 1994, bien que d'une hauteur tout à fait moyenne (6,44 m à Mopti) si l'on se réfère aux statistiques du siècle, a été une crue ressentie comme « exceptionnelle » par les populations dans la mesure où elle survenait après 20 ans de crues très déficitaires. En effet, les jeunes gens n'avaient jamais vu l'eau atteindre une telle hauteur et leurs aînés avaient sans doute un peu oublié qu'un tel phénomène était possible. Les crues comparables de 1999 et 2003 n'ont évidemment, pas été perçues de la même façon ;

■ le second cas (événement de type B) peut correspondre à des circonstances météorologiques particulières : il s'agit de pluies très abondantes qui surviennent en fin d'hivernage sur le haut bassin du Niger. Une « pointe de crue » de 15 à 40 cm se forme alors, pendant quelques heures à quelques jours, et se superpose à l'onde de crue saisonnière du fleuve qui est déjà à son niveau le plus élevé. Si le barrage de Sélingué est déjà plein (à sa cote maximale de sécurité), il ne peut jouer le rôle tampon sur la fraction d'eau qui vient du Sankarani, laquelle va renforcer la pointe de crue sur le Niger. Celle-ci parcourt alors rapidement le fleuve jusqu'à Bamako ou Koulikoro et provoque quelques dégâts sur les rives. Mais cette pointe de crue ne peut pas aller bien loin : elle s'émousse rapidement dès qu'elle entre dans les zones de rives basses et de plaines inondables qui jouent alors un rôle bénéfique de vase d'expansion. On peut estimer que c'est entre le 10 septembre et la mi-octobre qu'un tel phénomène peut survenir de la façon la plus aiguë (cas de l'année 2001). Ce type de phénomène est aggravé par la déforestation des versants qui dénude le sol et accélère les écoulements.

Un autre genre de circonstance (événement de type B^{bis}) peut entraîner une montée d'eau très rapide : il s'agit de l'incident ou de l'accident d'ou-

vrage hydraulique (le pire des cas étant, bien sûr, la rupture de barrage). Dans ce cas, la pointe de crue peut survenir en toute saison. Elle ne monte pas forcément très haut, mais c'est l'effet de surprise qui est dangereux ou porteur de risques de dégâts pour les installations ou les activités humaines. La baisse trop rapide des hausses mobiles de Markala crée, en étiage, des phénomènes de ce genre qui sont, certes, modestes en hauteur d'eau (de l'ordre de 10 à 20 cm) mais qui sont ressentis assez loin (jusque dans le delta), puisque le fleuve est, à cette saison, dans son lit mineur assez étroit et donc favorable à la propagation rapide d'une onde.

Les impacts

Le premier type d'événement (type A) n'induit pas de risques très importants pour les activités et les populations rurales qui savent depuis toujours que les zones basses de la vallée et du delta ne sont pas des lieux permanents de résidence. Les populations n'y établissent traditionnellement que des habitats légers (en matériaux d'origine végétale) appelés campements. Ces campements sont normalement saisonniers et abandonnés lors de la saison des hautes eaux mais certains ont pu, il est vrai, devenir permanents et être convertis en habitat de *banco* (boue séchée) durant la période des années de mauvaises crues. Il reste cependant assez facile de les évacuer en cas de besoin car les populations concernées (pêcheurs, riziculteurs) disposent généralement de pirogues. D'autres ruraux, moins équipés, vivent de façon sédentaire dans des villages installés sur des tertres élevés (*toguéré*) qui ne sont jamais inondés.

Cependant, il en va différemment pour les populations urbaines et surtout suburbaines : installées à la périphérie des villes après avoir quitté définitivement leurs villages, elles ne maîtrisent pas toujours leur environnement et se retrouvent souvent, contre leur volonté et peut être à leur insu, installées dans des zones potentiellement inondables de « bas-fonds » (c'est d'ailleurs le nom d'un quartier à Mopti). La survenue d'une crue de hauteur exceptionnelle est particulièrement dommageable pour ces populations qui peuvent y perdre leurs biens, voir leurs puits contaminés et leurs quartiers inondés devenant littéralement insalubres, subir ensuite des épidémies. L'autre danger présenté par un tel phénomène est que l'eau d'inondation touche des installations industrielles ou des entrepôts de stockage avec bien sûr, une possibilité de détérioration de ces derniers, mais surtout, une possibilité de pollution grave si des produits chimiques nocifs se trouvaient entraînés vers le fleuve.

Sur le fleuve Niger au Mali, les deux autres types d'événements (B et B^{bis}) qui se caractérisent par des montées d'eau brutales, soit naturelles soit artificielles, n'ont jamais présenté, jusqu'à présent, de caractère de grande catastrophe. Certes, la rapidité (toute relative) de la montée de l'eau peut entraîner sur le bief amont (zone de Bamako) des pertes d'engins de pêche (une centaine d'engins ont été perdus lors de l'événement de septembre 2001), surprendre les gardiens des entrepôts installés sur les rives (qui peuvent alors échouer à mettre à l'abri les marchandises) ou prendre de vitesse les gestionnaires des prises d'eau de petits périmètres (avec des risques de submersion trop rapide des parcelles). Mais tout cela reste finalement assez limité et il ne semble pas y avoir eu de cas répertorié de mortalité humaine. De plus, ce genre de phénomène reste peu fréquent, de l'ordre d'une occurrence tous les cinq à dix ans. Le risque le plus grave serait, là aussi, que des produits nocifs (pesticides, hydrocarbures) mal entreposés soient atteints par l'eau et entraînés en quantité vers le fleuve. Si ce même type d'événement survenait sous une forme majeure (suite à la rupture d'une digue de retenue d'un grand ouvrage), il présenterait évidemment un tout autre caractère de gravité et pourrait menacer des vies humaines.

Dans tous les cas, malgré le fait que les caractéristiques de l'aléa d'inondation (probabilité d'occurrence et ampleur) n'ont guère changé au fil des ans, le risque s'est accru fortement du fait de l'occupation croissante des abords immédiats du fleuve par des installations humaines. Cette tendance est, bien sûr, liée à la croissance démographique rapide des villes et au développement économique du pays.

Mode(s) de gestion

La gestion repose sur trois dimensions : la prévention (par la zonation, la lutte anti-érosive et la régulation des crues), la capacité d'alerte rapide et la capacité à faire face à la catastrophe une fois qu'elle est survenue.

La meilleure façon de prévenir tous les risques liés aux événements d'inondation (quels que soient leurs types) est de limiter les occupations humaines dans les zones d'inondation potentielle. Ceci suppose qu'un système de zonation soit mis en place avec une expression sur carte montrant les niveaux de risque de façon spatialisée. Cette carte ne doit pas se limiter à qualifier les niveaux de probabilité de survenue d'une submersion, mais elle doit développer une vraie typologie des façons dont peut survenir, en

chaque zone, l'inondation (rapide, non rapide, durant quels mois de l'année, etc.) en se référant, notamment, aux types d'événements A, B et B^{bis}. Dans certaines zones à haut niveau de risque, l'installation d'activités industrielles ou d'entreposage impliquant des produits potentiellement polluants pour le fleuve devrait être strictement interdite. Ceci suppose aussi que les zonations et les réglementations d'installation, une fois définies, soient respectées. La question est particulièrement difficile à traiter en ville où la pression d'occupation est forte. Notons qu'en zone rurale, la définition de telles zonations ne doit pas aboutir à interdire l'installation des producteurs (pêcheurs, riziculteurs, éleveurs) dans les campements saisonniers de « zones basses » dont ils se servent pour être plus proches de leurs zones d'activités à cette période de l'année.

La lutte anti-érosive sur le haut-bassin, en limitant la vitesse des écoulements, peut contribuer à amoindrir les probabilités de survenue d'événements de type B.

En ce qui concerne la prévention par la régulation des crues, elle est difficile, voire impossible, à mettre en œuvre au Mali à l'heure actuelle. Certes, la gestion du barrage de Sélingué affiche une valeur de cote maximale à ne pas dépasser à Bamako (fixée à 370 cm) pour éviter toute inondation catastrophique. Et l'on conçoit bien que, jusqu'au début du mois de septembre, c'est-à-dire tant que le niveau du lac n'approche pas de sa cote maximale de sécurité (349,00 m), le barrage aurait la capacité d'atténuer une onde brutale qui surviendrait après des pluies exceptionnelles sur le haut-bassin. Mais en pratique, comme la crue saisonnière régulière du fleuve atteint son maximum à Bamako seulement à partir du 10 ou du 15 septembre, ce n'est qu'à ce moment-là qu'une pointe de crue additionnelle peut représenter une menace pour la ville. Or, le barrage est souvent déjà plein (ou presque) à cette période et il n'a donc plus la capacité de stockage nécessaire pour faire face à un tel phénomène. L'intérêt de Sélingué en tant que régulateur de pointe de crue brutale est donc très limité. C'est ce qui a été bien démontré en septembre 2001 lorsqu'un phénomène de ce type est survenu et que les gestionnaires de Sélingué n'ont rien pu faire. Par ailleurs, il faut rappeler que Sélingué est installé sur l'un des affluents du Niger.

La capacité d'alerte rapide est surtout importante pour diminuer l'effet de surprise créé par une inondation brutale (événement de type B) sur les populations et les opérateurs économiques, et elle serait bien sûr d'un intérêt

majeur en cas d'un événement grave (causé par une rupture d'ouvrage). L'utilisation des systèmes de RAC (Radio autonome de communication) et des radios (radio nationale et radios locales) peut alors être déterminante pour sauver des vies.

La capacité à faire face à une catastrophe, une fois celle-ci survenue, consiste surtout à en limiter les conséquences humaines, économiques et environnementales. Le plan actuel prévoit de :

■ subvenir aux besoins des populations : hébergements d'urgence (en utilisant les salles de classe), sécurisation des sources d'approvisionnement en eau (protection des puits pour éviter les risques sanitaires), recasement des populations dans des zones sûres, équipement de ces lieux provisoires d'habitation (lampes, points d'eau, etc.), apport d'une aide alimentaire pendant au moins trois mois, suivi sanitaire des populations sinistrées ;

■ drainer ou pomper les eaux stagnantes dans les domiciles, les villages, les villes et les parcelles inondées ;

■ évaluer l'impact des inondations sur la production des populations concernées et mettre en place des mesures pour assurer leur survie économique (différé de remboursement de crédits, compensation des pertes par 900 kg de grains pour chaque hectare de récolte perdue du fait de l'inondation, prévention des épidémies pouvant toucher le bétail).

Pollution des eaux

Le phénomène et ses circonstances

Outre qu'ils peuvent être parfois déclenchés par les inondations décrites ci-dessus, les phénomènes de pollution aiguë surviennent aussi dans d'autres types de circonstances liées, le plus souvent, aux activités humaines. On note ainsi :

■ les incidents dans le retraitement des eaux usées de l'usine Huicoma de Koulikoro. Cette usine assure normalement le retraitement de ses eaux usées, mais ce retraitement est partiel (40 à 60 %) et des dysfonctionnements surviennent fréquemment, les rejets partant alors dans le fleuve ;

■ les incidents dans le retraitement des eaux usées de l'usine de Siribala. En cas de panne de la pompe de refoulement, les eaux sont déversées dans les drains agricoles de la zone de l'Office du Niger, entraînant une pollution momentanée de l'eau.

Il y a également des risques de pollution exceptionnelle par déversement massif d'hydrocarbures, notamment à la suite d'incidents de manipulation de cuves de stockage ou à la suite d'accidents de véhicules de transport de carburant.

Les précipitations massives, lorsqu'elles touchent et lessivent des zones de pratiques agricoles intensives (cf. « Pollutions agricoles affectant le fleuve » p. 52), peuvent également conduire à des crises de pollution aiguë. Il semblerait que des phénomènes de ce type surviennent en hivernage dans le haut bassin, entraînant des mortalités ponctuelles de poissons dans la retenue de Sélingué. En 1993, 1997 et 1998, à la suite de violentes pluies, les eaux du fleuve ont fait l'objet d'une pollution à Bamako par du DDT dont l'origine agricole n'a toutefois pas pu être confirmée. Bien qu'elle n'ait duré que quelques jours, cette pollution du Niger a été suffisamment grave pour perturber la vie des Bamakois.

Enfin, il faut préciser que certaines configurations hydrogéologiques peuvent favoriser la migration des produits polluants vers des zones très sensibles. Ainsi, la nappe profonde de Bamako est alimentée par le fleuve via une faille et elle serait, par conséquent, très vulnérable à un éventuel phénomène de pollution aiguë.

Les impacts

Les incidents de pollution aiguë qui ont eu lieu jusqu'à présent, somme toute assez modestes par leur ampleur, ont surtout eu un impact sur la faune aquatique, notamment sur les poissons. À Koulikoro, certains incidents de rejet ont entraîné une mortalité des poissons sur plusieurs kilomètres de fleuve. À Siribala, les pêcheurs observent que l'effet de la pollution, là où elle est fortement concentrée, est l'asphyxie immédiate du poisson. Cet effet létal s'observe sur près de 20 km au-delà du déversoir de l'usine. Sa rémanence, qui reste à préciser, est, selon les pêcheurs, d'environ un mois.

Les modes de gestion

Les modes de gestion sont, d'une part, la prévention (essentiellement par la réglementation et par l'amélioration des dispositifs de retraitement) et d'autre part, la capacité (orientée vers les populations consommatrices d'eau) de détection et d'alerte. En 1993, 1997 et 1998, lors de la pollution des eaux du fleuve par du DDT, la population et les usagers du réseau EDM (Énergies du Mali) de Bamako ont été avertis par voie de presse.

Pullulation de déprédateurs de cultures

Le phénomène et ses circonstances

Les pullulations d'insectes (criquets et sauteriaux), de rongeurs et de petits oiseaux sont fréquentes dans toute la zone sahélienne et touchent, entre autres régions, la vallée du fleuve Niger et le delta intérieur. Les causes de ces pullulations mettant en jeu des processus écologiques et dépendant aussi de facteurs climatiques sont variées et complexes. Les pullulations de criquets, bien étudiées qui sont parmi les plus spectaculaires (la dernière ayant eu lieu d'août à octobre 2004), ont ceci de particulier qu'elles surviennent généralement à la suite de plusieurs bonnes années climatiques, c'est-à-dire des années marquées par une pluviométrie suffisante sur le Sahel et sur les autres zones périphériques du Sahara (au Maghreb). L'abondance des petits oiseaux dévastateurs de récolte tend à être plus régulière d'une année à l'autre.

Les impacts

L'impact de ces pullulations est assez similaire à celui des mauvaises années hydroclimatiques mais il est, généralement, de moindre ampleur. Les récoltes sont diminuées et il peut s'ensuivre une disette l'année d'après, lors de la période de soudure.

Les modes de gestion

De nombreux organismes et de nombreux programmes nationaux et internationaux (Agrhymet, CILSS, FAO) s'attachent à prévoir, à prévenir ou à lutter contre les pullulations de déprédateurs. Un accord portant sur l'organisation et le fonctionnement d'un mécanisme de coordination sous-régionale de la lutte antiacridienne (Cosrela) vient d'être élaboré.

En cas de catastrophe avérée, l'aide alimentaire (PAM) peut être rapidement déclenchée et parfaitement ciblée sur les populations des zones les plus touchées grâce aux informations transmises par le Système d'alerte précoce (SAP).

Tensions et modes actuels de leur gestion

Parmi les tensions permanentes qui peuvent parfois dégénérer en conflits ouverts ou bien au contraire se présenter comme des oppositions lancinantes à peine exprimées voire même masquées, on peut distinguer celles qui concernent directement le partage de l'eau (cf. « Impact des amé-

nagements hydrauliques sur l'inondation et sur les systèmes de production dépendant de celle-ci » p. 110) et celles qui mettent plutôt en cause le partage des espaces humides ou proches de l'eau (cf. « Tensions entre agriculture et élevage transhumant pour le partage de l'espace en décrue et en saison sèche » p. 116).

Impacts des aménagements hydrauliques sur l'inondation et les systèmes de production

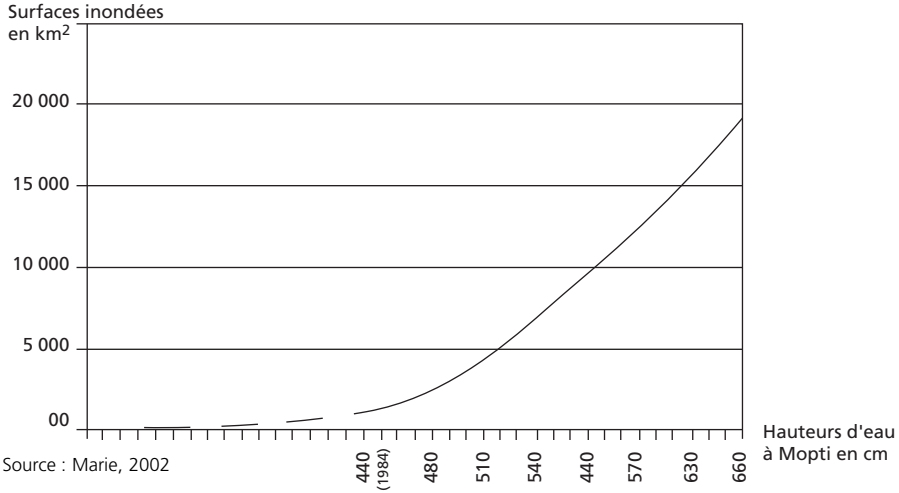
Parmi les usagers du fleuve et les systèmes de production décrits (cf. « Caractérisation et performances des systèmes d'usage du fleuve. Besoins et impacts relatifs à son eau » p. 32), plusieurs d'entre eux sont apparus très dépendants, pour leurs performances, de l'ampleur de l'inondation annuelle et donc de la hauteur atteinte par l'onde de crue du fleuve. Il s'agit, principalement, de la riziculture traditionnelle (hors AHA), de la riziculture en périmètre à submersion contrôlée, de la pêche et de l'élevage itinérant (pastoralisme). Aucun de ces systèmes de production n'est très productif : trois d'entre eux pouvant même être qualifiés de systèmes « extensifs ». Cependant, ces systèmes présentent la particularité de pouvoir se superposer sur les mêmes espaces en se succédant au fil des saisons. Typiquement, un hectare de plaine inondable utilisé de cette façon produit chaque année 100 kg de riz traditionnel (puisque les surfaces cultivées n'occupent guère que 10 ou 15 % des plaines d'inondation), 50 à 100 kg de poisson et 7 à 10 kg de viande. Pour la viande, ce n'est certes pas l'hectare de plaine inondable considéré isolément qui en produit cette quantité puisque les troupeaux passent une partie de l'année sur les pâturages sahéliens extérieurs, mais on peut dire que, sans la plaine inondable et les ressources fourragères qu'elle offre de décembre à juin, cette même production de viande serait nulle ou presque. Le cas du poisson est d'ailleurs un peu similaire : il est souvent capturé dans le lit du fleuve, mais il a préalablement grossi dans la plaine. Privé de ses plaines inondables, le fleuve, *stricto sensu,* ne produirait pas grand-chose. Dans certains cas (comme celui du poisson), les ratios de productivité donnés ci-dessus peuvent être confirmés par les pentes des relations statistiques entre les variations de la production régionale de ces produits et la variation de la surface annuelle d'inondation des plaines. Tout cela conduit à mettre en avant le fait que les plaines inondables sont des milieux qui produisent de façon importante et mesurable. Pour le poisson, la part de participation de ces milieux à l'approvisionnement du pays est énorme (majoritaire).

Par ailleurs, il faut rappeler que ces systèmes de production traditionnels dépendant de l'inondation constituent la base des moyens d'existence d'une nombreuse population. Celle-ci peut être estimée à 900 000 personnes, si l'on considère que les trois-quarts de la population vivant entre Ké-Macina-Djenné, d'une part, et Tombouctou, d'autre part, tirent leurs ressources de l'une ou de l'autre (ou d'une combinaison) de ces activités ou des filières de valorisation et de commercialisation qui leur sont étroitement liées.

C'est en rapport avec les éléments ci-dessus que les éventuels impacts des aménagements hydrauliques amont sur le niveau des crues doivent être considérés. Or, on a vu que, pour ce qui concerne les aménagements existants, cet impact, aussi modeste soit-il, ne peut être tenu pour négligeable. La pente de la relation hauteur de crue-surface inondée dans le delta est par ailleurs connue, du moins pour ce qui concerne la partie au sud du Debo (fig. 11) : sur la gamme courante de variation des hauteurs de crue, entre 5,60 m et 6,40 m à Mopti, le gain de surface inondée est d'environ 980 km^2 pour 10 cm de gain de hauteur d'eau enregistrés à Mopti. Une perte de hauteur de 10 cm a, par conséquent, des effets non négligeables sur les systèmes de production des plaines.

Figure 11

Les surfaces inondées dans le delta (jusqu'au Debo) en fonction des hauteurs de crue à Mopti



Source : Marie, 2002

Certains auteurs sont allés plus loin et ont proposé des calculs de pertes de production dans le delta, par exemple en poisson (Laë, 1992a), à partir des débits « perdus » en amont par suite des prélèvements exercés sur la crue par les aménagements. Sans aller jusqu'à de telles spéculations chiffrées, les éléments présentés ici apparaissent suffisants pour justifier une vraie prise en compte des besoins des systèmes de production de plaines inondables dans l'aménagement et la gestion du fleuve.

Jusqu'à présent ces besoins – qui s'expriment surtout en termes de hauteur de crue et de surface en eau – n'ont pas été intégrés de façon suffisamment détaillée dans les études d'opportunité des aménagements hydrauliques (AH) ni dans l'établissement des consignes de gestion de ces aménagements. De plus, les chiffres fournis par les services hydrologiques officiels (très focalisés sur les quantités d'eau et les débits, mais jamais sur les hauteurs d'eau ni sur les surfaces inondées) ne traitent que des totaux annuels de prélèvements opérés par les AH ou des débits instantanés prélevés par ces mêmes AH en étiage. Toutes ces informations ne sont guère pertinentes pour discuter de la gestion de la crue.

Enfin, la très grande variabilité naturelle des crues (d'une année à l'autre, d'une décennie à l'autre) empêche les populations du delta de bien percevoir la part de l'affaiblissement des crues qui pourrait être liée aux prélèvements ou au stockage par les AH en amont. Ce qui fait que la société civile ne s'est pas suffisamment saisie de la question, même si certaines communautés (notamment les pêcheurs) accusent depuis longtemps les grands barrages, notamment celui de Sélingué, de leur causer du tort.

Tout ceci explique le fait que la question de répartition de l'eau de la crue ne soit pas actuellement traitée à son juste niveau dans la gestion de l'eau du fleuve Niger au Mali. Mais les annonces de nouveaux projets d'aménagement sur le haut bassin (comme le barrage de Fomi, en Guinée) et de nouvelles extensions possibles de l'Office du Niger devraient être l'occasion pour les experts et pour la société malienne de s'intéresser enfin à cette question.

Tensions entre usagers autour des débits d'étiage

À l'examen des tableaux des besoins des différentes activités et des différents usages (cf. « Caractérisation et performances des systèmes d'usage

du fleuve. Besoins et impacts relatifs à son eau » p. 32), il apparaît une vive concurrence en étiage (février-juin) autour du partage des débits du fleuve qui sont, par définition, faibles à cette saison. Cette concurrence peut se schématiser comme suit :

■ d'un côté, par les prélèvements opérés par les grands périmètres gravitaires en étiage (essentiellement à l'Office du Niger et très secondairement, à Sélingué et à Sotuba) qui visent, d'une part, à l'irrigation des cultures dans les périmètres en contre-saison (surtout le maraîchage et un peu de riz, de février à mai) et, d'autre part, à la pré-irrigation des casiers de riz pour la prochaine culture, associée à l'arrivée de l'hivernage et de la crue ;

■ de l'autre côté, par tous les besoins des usagers situés en aval, quels que soient leur nature : périmètres irrigués villageois (PIV) à moto-pompes, navigation des petites pinasses, consommation domestique des populations riveraines jusqu'à Niamey, maintien d'un milieu aquatique minimal de survie pour la ressource poisson, approvisionnement en eau pour l'abreuvement des troupeaux.

Le déstockage d'eau qui est effectué à cette saison à partir du grand barrage amont de Sélingué a pour effet de relaxer cette tension de partage, en ajoutant 70 à 120 m^3/s au débit naturel. Ce qui permet normalement d'en assurer un minimum de 40 m^3/s après le passage à Markala (ce qui constitue une consigne de gestion émise par la Commission nationale des eaux).

Ce mode de gestion fonctionne assez bien dans la mesure où l'on parvient ainsi à conserver approximativement des débits identiques à ceux qui étaient enregistrés, pour la même saison, à Mopti dans les décennies 1950 et 1960. Pour les besoins de l'écosystème (pour les poissons notamment), ces débits minimums semblent suffisants. Par contre, certains usagers en aval, notamment les consommateurs d'eau de la ville de Niamey, ont le sentiment d'une pénurie qui s'aggrave, peut être parce qu'ils sont plus nombreux ou bien parce que les petits prélèvements opérés tout le long du fleuve (par les moto-pompes des PPIV) dans le delta et au-delà finissent par avoir un certain impact sur le débit. Quoiqu'il en soit, le fleuve Niger a toujours connu, historiquement, des années d'étiage très bas à Niamey.

Pour minimiser ses prélèvements d'eau en étiage, l'Office du Niger souhaiterait diminuer l'importance de la culture du riz en contre-saison, voire même l'abandonner au profit des cultures moins consommatrices d'eau.

Faible efficience d'utilisation de l'eau par les AHA

Il a déjà été mentionné plus haut (cf. « L'agriculture » p. 40) que, dans les grands AHA tels que ceux de l'Office du Niger, l'efficience d'utilisation de l'eau est insuffisante. Les causes de cette insuffisance sont en premier lieu les fortes pertes dans le réseau que l'on examinera ci-après.

Tout d'abord, la comparaison des débits livrés à Markala avec ceux observés à l'entrée des canaux primaires fait apparaître des différences énormes : le suivi réalisé au cours de la campagne 1995-1996 montre que l'on serait aujourd'hui à près de 40 % de perte sur un apport de 36 000 m^3/ha. Une partie de ces pertes est imputable aux grands adducteurs et aux *falas* (infiltration, évaporation et gestion des niveaux par décharge dans les exutoires), une autre aux cultures hors casiers dont les prélèvements ne sont pas toujours contrôlables. Mais l'efficience des réseaux secondaires et tertiaires est également en cause, car elle est très variable : certains partiteurs et arroseurs distribuent des volumes inférieurs aux besoins théoriques alors que d'autres apportent à la parcelle plus de deux fois les besoins.

Selon les travaux du Pôle système irrigué (PSI), on peut résumer la situation de la façon suivante :

■ les pertes en eau dans le système hydraulique en amont de l'Office (canal du Sahel, *fala* de Molodo…) représentent 40 % du volume total livré par Markala alors que la part qui arrive aux canaux d'irrigation et aux casiers en représente 60 % ;

■ sur cette dernière part (celle qui parvient dans les canaux d'irrigation), on peut distinguer plusieurs fractions :

– 20 à 25 % sont perdus par infiltration dans les canaux d'irrigation eux-mêmes, essentiellement pendant la contre-saison (soit 12 à 15 % du total livré par Markala) ;

– 35 % sont perdus par drainage des casiers en saison rizicole (soit 20 % du total livré par Markala) ;

– 40 % sont effectivement utilisés par les cultures (soit 25 % du total livré par Markaka.

Pendant la saison rizicole, la consommation en eau s'élève à 14 700 m^3/ha à l'échelle du distributeur Retail (l'objectif de 15 000 m^3/ha fixé par l'Office du Niger apparaît d'ores et déjà atteint). Considérant les pertes par drainage et les apports pluviométriques, l'eau disponible s'élève en moyenne à environ

12 000 m^3/ha, ce qui est conforme aux besoins en eau de la culture de riz (Beau, 1981).

Ces résultats masquent néanmoins une grande diversité de situation relative aux différents systèmes de régulation et à leur facilité de gestion. La régulation des partiteurs équipés de modules à masque (casier Grüber) apparaît la plus performante malgré la présence de vannes semi-modules en tête d'arroseur : les volumes apportés y sont à la fois plus faibles et plus réguliers. La régulation des arroseurs par des modules à masque (casier Retail) n'est efficace que dans la mesure où les cotes de consigne sont respectées dans le partiteur. La régulation des partiteurs par des vannes plates et celle des arroseurs par des semi-modules (casier Kouya) conduit aux performances les plus défavorables. Cette variabilité s'accroît de l'échelle du partiteur à celle de l'arroseur.

Pendant la contre-saison, les volumes d'eau apportés atteignent 5 850 m^3/ha et sont très supérieurs aux besoins des cultures qui ne représentent qu'environ 20 % des surfaces aménagées sur le distributeur Retail. La mise en eau du réseau conduit alors à des pertes par infiltration qui sont estimées à 1,5 mm/jour et qui, en alimentant les nappes, contribuent par remontée capillaire à une concentration de sels en surface fort nuisible au maintien de la fertilité des parcelles.

Une autre façon d'aborder l'efficience de l'utilisation de l'eau dans les périmètres est de reconsidérer le mode de répartition des coûts liés à l'eau de façon à responsabiliser davantage les acteurs. À l'heure actuelle, la redevance hydraulique payée par les exploitants ne porte que sur l'entretien des réseaux primaires et secondaires et sur le service de gestion de l'eau, mais non pas sur la quantité d'eau réellement utilisée par les exploitants. Dans une perspective d'amélioration de l'efficience, de nouveaux modes de gestion pourraient être mis en place en incluant, notamment, le paiement d'une redevance qui serait fonction de la quantité d'eau consommée par les exploitants.

D'une façon plus générale, l'amélioration de l'efficience d'utilisation de l'eau dans les périmètres est aujourd'hui affichée comme un objectif prioritaire de l'Office du Niger et plus généralement, de la SNDI. Elle fait également partie des objectifs de projets internationaux de développement, tels que le projet APPIA (Amélioration des performances des périmètres irrigués en Afrique).

Dans une certaine mesure, on peut espérer que l'extension du domaine aménagé sera en elle-même un facteur d'amélioration du rendement, puisque cette extension va générer une raréfaction de la ressource par rapport aux besoins et donc contraindre à l'adoption de pratiques plus efficientes même si elles exigent davantage d'efforts, notamment en termes d'entretien des réseaux et des parcelles, d'amélioration des infrastructures et d'organisation (de planification) du travail sur les parcelles.

Quoiqu'il en soit, une mise en œuvre efficace des différentes voies techniques et gestionnaires d'amélioration de l'efficience semble bien constituer une condition majeure pour pouvoir envisager sereinement l'extension des systèmes irrigués qui est, par ailleurs, affichée comme volonté politique. En effet, les impacts des prélèvements exercés par ces systèmes sur le régime du fleuve aussi bien en crue qu'en étiage devront rester acceptables par les usagers en aval. Or, il est clair que toute augmentation importante des prélèvements par l'irrigation devrait nécessairement s'accompagner de la création d'un nouveau barrage stockeur-déstockeur d'eau en amont pour soutenir les débits d'étiage et préserver ainsi les 40 m^3/s de consigne en aval de Markala ; ce qui reviendrait *in fine* à prélever davantage sur la crue.

Pour parvenir à cette amélioration d'efficience de l'utilisation de l'eau, le nouveau schéma directeur de l'Office du Niger prévoit d'une part, de diminuer (voire d'interdire) la culture de contre-saison de riz et, d'autre part, de réaliser prioritairement les nouvelles extensions à partir de la récupération de surfaces actuellement exploitées « hors casiers ».

Tensions entre agriculture et élevage transhumant pour le partage de l'espace en décrue et en saison sèche

En 1989, la riziculture inondée occupait 160 000 ha dans le delta (cf. « L'agriculture » p. 40). Il s'agit d'une riziculture « nomade », les riziculteurs déplaçant leurs rizières en fonction de la crue espérée chaque année, dont la croissance des surfaces cultivées suit fidèlement, depuis un demi-siècle, la croissance démographique. Afin de s'adapter aux mauvaises crues des années 1970-80, les riziculteurs ont massivement déplacé leurs rizières en recherchant les cuvettes les plus profondes, ce qui les a conduit à défricher les meilleurs pâturages du delta intérieur, en particulier les bourgoutières.

Alors qu'en 1952 les bourgoutières étaient très rarement défrichées, en 1989, 51 252 ha de bourgoutières étaient défrichées et transformées en rizières, entraînant de multiples conflits d'usage des terres entre agriculteurs et pasteurs. Les espaces les plus touchés se localisent autour de Mopti et de Ténenkou, dans le Yongari-Mangari au sud, et le long d'un axe qui va de Mourra à Sormé en traversant le territoire de Togoro Kotia. À cette date, un quart des bourgoutières étaient donc défrichées avec une hétérogénéité spatiale du phénomène très marquée puisque les taux de défrichement, si on les replace dans les limites actuelles des nouvelles communes rurales qui ont maintenant à gérer le problème, vont de 0 à 82 % selon les communes. Les cas les plus préoccupants concernent des communes autour de Ténenkou, du Kewa au sud et des communes autour de Mopti, notamment Socoura et Sio. Cette situation est préoccupante pour deux raisons : d'une part, elle représente une perte de pâturages importante pour les pasteurs et pour leur activité et, d'autre part, les disputes autour de ces espaces représentent un facteur de conflits.

Parallèlement, les « infrastructures » pastorales (pistes et gîtes) sont fortement menacées. En 1989, 242 gîtes sur les 1 014 que comptait le delta étaient cultivés et inaccessibles aux éleveurs. Les gîtes cultivés représentent donc environ 24 % de l'ensemble des gîtes du delta, pourcentage très voisin de celui de la superficie des bourgoutières défrichées.

Un peu plus tard dans la saison, en étiage (saison chaude), d'autres types de conflits sont apparus, notamment pour les accès aux zones d'abreuvement, avec l'implantation de certains PPIV « sur » ou « à proximité » des parcours journaliers des troupeaux. Ce qui entraîne des risques de dégâts par les bêtes forcément très dommageables à des cultures intensives.

Le règlement de ces problèmes est une cause de souci permanent pour l'administration territoriale et, aujourd'hui, pour les conseils communaux.

Menaces sur le futur

Risque de détérioration progressive de la productivité halieutique des plaines du fait de leur aménagement pour l'agriculture

Les périmètres rizicoles en submersion contrôlée (type ORM) et dans une moindre mesure les PIV, sont ici en cause.

Il faut rappeler que les poissons ont besoin de continuité (ou de l'existence de voies de communication) entre les portions de l'espace aquatique, au moins en crue et en hautes-eaux, pour pouvoir se reproduire (Benech, 2002). En effet, presque toutes les espèces de poissons ont besoin d'accéder aux plaines pour se reproduire, pour se nourrir et grandir. Or, la multiplication des infrastructures (petites digues, petits ouvrages à vannes) construites en bordure de fleuve, notamment pour retarder la submersion des périmètres et des casiers, rompt cette continuité, aboutissant à un processus d'artificialisation du milieu constitué par les plaines inondables. Car beaucoup d'espèces n'osent pas franchir les passages étroits et bouillonnants que forment les vannes et les déversoirs et abandonnent la fréquentation des plaines inondables ainsi aménagées. Seules quelques espèces telles que *Tilapia zillii* sont aptes à exploiter de telles plaines pour y effectuer leur croissance. Mais, pour prévenir les dégâts qu'elles peuvent commettre dans les cultures, les riziculteurs installent des obstacles sur les petits chenaux internes à la plaine de façon à les empêcher d'accéder aux champs, ce qui paraît d'ailleurs bien légitime.

Avec de telles infrastructures et de telles pratiques, il est à peu près certain que l'aménagement des plaines pour la riziculture en submersion contrôlée peut devenir, si l'on n'y prend garde et si ces aménagements s'étendent, un facteur nuisible à la productivité halieutique du delta dans son ensemble. Il existe toutefois des techniques qui rendent compatibles la culture du riz avec des formes de production halieutique et qui créent même des synergies entre ces activités. Alors qu'elles sont très développées en Asie, ces techniques n'ont pas été l'objet d'un intérêt suffisant dans le contexte des rizières africaines (notamment en région sahélienne) bien qu'il existe un évident potentiel d'utilisation (Cofad, 2002).

Menaces sur la sécurité alimentaire à l'échelon national

Au-delà de son augmentation, l'évolution de la population se traduira par un changement important de structures dû à l'urbanisation (cf. « Les grands ouvrages hydrauliques » p. 32). Dans 30 ans, la population des villes représentera près de 50 % de la population totale. Ce qui signifie que l'autre moitié, vivant en zone rurale, devra produire à la fois pour se nourrir elle-même et pour nourrir la moitié vivant dans les villes. Or, les aléas climatiques réduisent la productivité de l'agriculture pluviale et en particulier la productivité céréalière (millet).

C'est pourquoi la stratégie du gouvernement est de faire en sorte que la riziculture qui a « décollé » depuis la fin des années 1980 poursuive son développement. Pour atteindre cet objectif, le gouvernement a placé la maîtrise de l'eau au centre de ses priorités de développement agricole (MDRE, 1999). La mise en œuvre de cette stratégie (Stratégie Nationale de Développement de l'Irrigation, SNDI) se traduit par un programme d'infrastructures permettant 50 000 ha supplémentaires d'irrigation en maîtrise totale d'ici 2007 complétés par 14 000 ha d'autres systèmes d'irrigation (bas-fonds et submersion contrôlée). D'ici 2025, l'objectif est d'augmenter de 120 000 ha les terres sous irrigation à l'Office du Niger, ce qui amènera les terres irriguées de cette zone à 200 000 ha.

Même si l'efficience de l'utilisation de l'eau dans les systèmes de périmètres gravitaires était fortement améliorée, il semble qu'une telle extension de ces surfaces d'irrigation aurait forcément des conséquences en termes de prélèvement d'eau supplémentaire sur le fleuve, aussi bien en crue qu'en étiage, et que l'on se retrouverait ainsi dans le schéma critique décrit plus haut, à savoir la nécessité de créer un nouvel ouvrage régulateur en amont (stockeur/déstockeur) pour soutenir les débits d'étiage. La conséquence en serait l'accroissement de l'effet d'écrêtage de la crue, notamment à son arrivée dans le delta, et une diminution supplémentaire des surfaces inondées. Le danger serait alors que le développement de la production de riz se fasse au détriment de la production de viande et surtout de poisson, alors que celle-ci parvient déjà tout juste à satisfaire les besoins actuels de la population.

Enfin, il faut mentionner ici que l'évolution du marché mondial du riz est un facteur important à prendre en compte dans les politiques de développement agricole, notamment lors des arbitrages à faire entre les différentes filières. Rappelons que ce marché est aujourd'hui caractérisé par de légers excédents en provenance d'Asie, mais que ceux-ci pourraient être remis en cause dans les prochaines années en raison de l'accroissement de la population asiatique, de la réduction des surfaces disponibles par habitant (de 0,15 à 0,09 ha par personne) et d'un essoufflement de la révolution verte (Trebuil et Hossain, 2004). Paradoxalement, la concrétisation d'une telle tendance conduirait à des perspectives bénéfiques pour le Mali, puisqu'elle serait favorable au développement de ses filières rizicoles.

Difficulté des institutions à mettre en œuvre une gestion efficace de l'environnement et des ressources naturelles

Les difficultés de l'ABN

Une utilisation plus efficace de l'eau du fleuve Niger suppose des arbitrages entre les différents usagers et en premier lieu, entre les pays riverains. Ces arbitrages ne peuvent être rendu que dans le cadre d'institutions *ad hoc*. L'idée de créer un organisme public ayant pour mission de promouvoir la mise en valeur du bassin du Niger n'est pas récente puisqu'elle remonte au début des années 1950 avec la création, à la fin de l'époque coloniale, de la Mission d'études et d'aménagement du Niger (MEAN) dont les pouvoirs s'étendaient des sources du fleuve en Guinée à la frontière du Nigeria. La MEAN fut remplacée en 1964 par la Commission du fleuve Niger (CFN), créée par l'acte de Niamey, portant sur la navigation et la coopération économique entre les états du bassin et montrant, dès le début, que les problèmes d'aménagement du fleuve et les politiques de l'eau constituaient des enjeux importants pour les nouveaux états du bassin du Niger. Cependant les résultats ne furent pas à la hauteur des ambitions. À part une étude sur la navigabilité du fleuve en 1970, l'activité de la CFN s'est caractérisée par un maigre bilan, les moyens humains et matériels de la commission n'ayant jamais été à la hauteur des vastes ambitions que ses mandants avaient placées en elle. Après dix-sept ans d'existence, la CFN fut remplacée en 1980 par l'actuelle organisation conçue comme une autorité de bassin.

L'ABN a connu une existence difficile. Après un démarrage qui suscitait de grands espoirs, cette institution connut, dès 1986, une situation financière catastrophique due notamment au fait que la majorité des états membres ne payait pas leur cotisation. Les difficultés financières ne sont cependant pas seules en cause et n'expliquent que partiellement la longue crise de l'ABN qui vient également de problèmes institutionnels. Le modèle de coopération entre états qui définissait le mandat de l'organisme international a été amendé à plusieurs reprises, des changements importants dans les modalités de coopération ou dans la vision stratégique du fleuve ont ôté toute ligne directrice claire aux actions entreprises et enfin, il est permis de penser que l'idée même d'un organisme international harmonisant le droit de l'eau sur l'ensemble du bassin se heurtait à une réticence des états soucieux de ne pas abandonner des prérogatives de souveraineté. Enfin, le désintérêt des

bailleurs de fonds vient également du manque d'appui des états membres qui, à cause d'une position géographique parfois marginale par rapport au bassin, ne se sentent pas tous concernés au même degré.

Les difficultés de l'ABN pendant une longue période expliquent également, au niveau international et pour partie, la démultiplication des structures dans des organismes ou des projets bilatéraux. Le projet Ghenis (Mali-Guinée) ou la commission mixte Mali-Niger qui constituent un cadre de concertation permanent pour harmoniser les intérêts et les enjeux de l'utilisation du fleuve entre ces États et aplanir, notamment, les difficultés relatives au niveau des étiages, peuvent en constituer deux exemples.

Le sommet des chefs d'État d'Abuja en octobre 1998 a pris la décision, avec l'appui des bailleurs, d'apurer les comptes et de relancer l'ABN, d'abord par un plan triennal (2000-02) destiné à renforcer le potentiel humain et organisationnel puis, à partir de 2003, par un plan quinquennal d'actions comprenant de nouveaux projets. Parmi ces projets figurent notamment la relance du centre de documentation, la remise à niveau des banques de données hydrologiques (Niger-Hycos), ou la remise à niveau ou la création d'un nouveau modèle d'écoulement du fleuve étendu à l'ensemble du bassin et d'un modèle de simulation des besoins en eau.

Il n'en reste pas moins vrai qu'un bon fonctionnement de l'ABN est une condition *sine qua non* du règlement des problèmes géopolitiques liés aux usages de l'eau dans le bassin du fleuve. Le Niger est dans son cours supérieur et moyen, encore peu aménagé. De ce fait, les problèmes pouvant générer des conflits entre états riverains sont encore peu marqués. La situation est cependant en train d'évoluer très rapidement avec les projets de barrages de Fomi (Guinée), Taoussa (Mali) et Kandadji (Niger) pour ne citer que les trois plus importants. Ces ouvrages, s'ils devaient être réalisés tous les trois, ne pourront être gérés indépendamment les uns des autres. Il semble d'ailleurs que les décisions des bailleurs de fonds pressentis soient liées à une étude préalable des impacts des différents ouvrages sur le régime du fleuve et sur les écosystèmes et, également, sur les interactions complexes qu'ils pourraient avoir les uns par rapport aux autres.

Une telle concertation suppose un fonctionnement efficace de l'ABN et des connexions fortes avec les services nationaux compétents. Elle suppose également qu'une clarification s'opère dans les prérogatives et les domaines de compétence des instances nationales.

Un schéma institutionnel national complexe

Le schéma institutionnel national est complexe peut-être parce que les concepts sur lesquels s'appuie la politique de l'eau au Mali ont changé récemment. En effet, la mise en place de la Gire, c'est-à-dire le passage d'une gestion sectorielle et technocratique à une gestion intégrée par bassins versants, est très récente au Mali. La période actuelle peut donc se définir comme une période de transition. Elle se caractérise, en particulier, par la mise en place de nouvelles institutions sans pour autant que les anciennes aient disparu (ce qui ne serait sans doute pas forcément souhaitable dans tous les cas de figure).

Pour ne prendre qu'un seul exemple, l'agence de bassin du fleuve Niger, récemment créée, est placée sous la tutelle du Ministère de l'Environnement, mais la gestion de l'eau reste sous la tutelle du Ministère des Mines et de l'Eau qui l'exerce à travers sa Direction nationale de l'hydraulique qui pilote des comités de bassins. Il en résulte notamment que la gestion du bassin du Niger au Mali et la gestion des sous-bassins ne sont pas placés sous la même autorité de tutelle.

L'application de la Gire dans le contexte de la décentralisation a ouvert des opportunités d'une gouvernance de l'eau s'exerçant en liens étroits avec les représentants de la société civile. Elle se traduit actuellement par une multiplication de comités dont l'avis n'est généralement que consultatif et qui disposent souvent de très peu de moyens. Au-delà, on peut également s'interroger sur les rapports qui peuvent se nouer entre des collectivités mal pourvues en moyens humains et matériels et des organismes d'État faisant figure de « poids lourds » tant par les moyens, limités mais réels, dont ils disposent que par le contrôle qu'ils peuvent exercer sur les moyens et les connaissances techniques.

Difficultés d'adaptation aux nouvelles « règles du jeu » de la décentralisation

La gestion des terres agricoles, des espaces pastoraux et des espaces halieutiques est, de droit, dévolue aux collectivités territoriales mais elle est de fait, encore très largement exercée par les autorités coutumières : ce qui peut entraîner des conflits entre le pouvoir municipal et le pouvoir du village. Pour les questions de gestion des ressources foncières, il faut se référer,

selon le cas, au *Dugukolotigi* (chef de la terre), au *Jitigi* (maître de l'eau), au *Kungotigi* (maître de la brousse), au *Baba Aougal* (maître de la pêche) ou au *Jowro* (maître des pâturages).

On constate également que le processus de décentralisation favorise avant tout les communautés sédentaires, donc en premier lieu les cultivateurs. En effet :

■ il donne plus de pouvoir aux communes, donc aux maires qui sont essentiellement des membres de la communauté sédentaire des communes et donc, par tradition, souvent agriculteurs ou membres de la communauté agricole de la commune. Les éleveurs, par exemple, sont très peu représentés, soit parce que leur mobilité a rendu difficile leur représentation, soit parce que l'existence d'anciennes structures politiques et territoriales (les *leyde* du delta intérieur) les a incité à se tenir à l'écart du processus électoral communal ;

■ l'agriculture est une activité bien limitée dans l'espace, contrairement à l'élevage et à la pêche qui s'exercent sur de très vastes espaces et vont souvent de pair avec une grande mobilité. Ainsi, la décentralisation définit des zones de pouvoir qui sont adaptées à l'échelle de l'agriculture mais beaucoup moins aux activités plus mobiles que sont l'élevage et la pêche.

On peut d'ailleurs s'interroger sur l'application de la décentralisation en matière de gestion des pâturages dans le delta intérieur du Niger lorsqu'elle prévoit de faire payer une taxe de pâtures aux éleveurs alors qu'eux-mêmes, ou du moins leurs représentants (les *jowros*) faisaient payer (et continuent de faire payer ?) une telle redevance aux pasteurs étrangers. Le fait que dans le delta intérieur, les pasteurs et à un degré moindre, les pêcheurs, en particulier les pêcheurs migrants, soient notoirement sous-représentés dans les instances élues démocratiquement peut poser des problèmes à ces communautés et les obliger à revoir en profondeur leurs comportements sociaux et économiques.

Une illustration de ce qui précède est fournie ci-après pour le cas des pêcheurs migrants (Kassibo, 2000). Rappelons que la pêche est une activité qui est forcément, pour sa composante la plus professionnelle, assez mobile : il faut en effet pêcher beaucoup et constamment (donc se trouver toujours là où le poisson est disponible) pour rentabiliser les engins de pêche. Mais cette mobilité ne s'inscrit pas dans un cadre coutumier ancestral aussi balisé

que celui des parcours pastoraux : les pêcheurs réalisent des déplacements moins réguliers, ne serait-ce que parce que certains écosystèmes aquatiques s'assèchent alors que d'autres apparaissent (comme la retenue de Sélingué). C'est ainsi que la migration de pêche n'implique pas forcément le retour : elle est souvent suivie d'un processus de sédentarisation sur les lieux de migration. Toutefois, le pêcheur garde longtemps son statut de « migrant » et d'étranger sur les lieux de sa nouvelle installation alors même qu'il y passe dix mois sur douze. Il préfère rester administrativement rattaché à sa localité d'origine et il ne s'inscrit pas sur le registre des impôts ni sur le registre électoral de la commune d'accueil. Avec la décentralisation qui confère des compétences aux collectivités territoriales les plus fines (cercles, communes) en matière de gestion des ressources naturelles, de perception de taxes et de recettes et d'organisation des services publics, les pêcheurs migrants vont, dorénavant, se trouver placés au pied du mur. Ils devront soit devenir des « citoyens de seconde zone » sur leurs lieux de vie, dépourvus d'accès aux services publics communaux et contraints de subir des règles et des taxes qui leur seront imposées par les « autochtones », soit s'inscrire sur les registres des communes d'accueil et devenir de vrais citoyens locaux aux côtés des autochtones (Morand et Breuil, 2002). S'ils prennent cette seconde option, ils pourront participer aux instances démocratiques (notamment aux conseils de pêche) des cercles et des communes qui les accueillent, mais ils devront aussi accepter de faire de leur activité professionnelle une source de recettes pour les collectivités. En retour, ils seront davantage incités à profiter des services publics (écoles, maternités) mis en place par ces collectivités. Les liens économiques et sociaux avec le village d'origine qui sont aujourd'hui privilégiés en pâtiront forcément par contrecoup et les possibilités de mobilité ultérieure seront forcément réduites, compte tenu de l'investissement social et économique qui aura été consenti dans la collectivité d'accueil. En d'autres termes, le mode de vie et la culture sociale des communautés de pêcheurs migrants vont devoir changer notablement par rapport à ce qu'ils sont aujourd'hui.

Propositions, conclusions et recommandations

Mise en place ou consolidation des outils de gestion

Des modèles de simulation

Les connaissances scientifiques doivent être mieux intégrées et plus accessibles aux décideurs. L'une des options possibles serait d'utiliser des modèles permettant de simuler des scénarios afin d'aider les décideurs dans leurs choix stratégiques. Trois types de modèles nous semblent particulièrement souhaitables :

■ un modèle hydraulique simulant les écoulements et permettant notamment de faire des études d'impact des ouvrages en projet. Un tel modèle existe mais, outre qu'il ne couvrait pas la totalité du fleuve, il n'a jamais été mis en service depuis sa création en 1988. Un projet visant à le moderniser et à l'étendre à la totalité du cours (Guinée et Nigeria inclus) est actuellement envisagé sous l'égide de l'ABN. Il faut souhaiter qu'il soit effectivement mis en service et qu'il soit diffusé auprès des services intéressés ou, à tout le moins, qu'il leur soit rendu largement accessible ;

■ un modèle des usages de l'eau permettant de répertorier et d'intégrer la totalité des usages de l'eau paraît également fortement souhaitable. Il devrait produire des scénarios optimisant les stratégies de développement. En utilisant les informations du modèle hydraulique avec lequel il devrait communiquer, il devrait également intégrer les hypothèses sur les grands forçages climatiques et démographiques afin de produire des scénarios à long terme. Deux projets de modèle de ce genre sont actuellement prévus ou en cours : un projet hébergé par l'ABN sur l'ensemble du bassin et un projet conduit par l'IRD au Mali avec ses partenaires scientifiques nationaux et internationaux (Kuper *et al.*, 2003). Une connexion entre les deux projets nous semble très souhaitable ;

■ des modèles locaux adaptés à des problématiques particulières communiquant avec les précédents afin d'apporter une aide à la prise de décision

devraient compléter le dispositif. On peut citer à titre d'exemple les projets en cours à l'Office du Niger ou des projets qui apparaîtraient souhaitables, comme celui de disposer d'un système d'information environnemental sur le delta intérieur du Niger ou d'un système d'information sur les risques d'inondation en zone urbaine (Bamako).

Un système d'information pour renforcer les capacités de suivi et aider à la prise de décision

Une approche à la fois globale et durable de la gestion de l'environnement et des ressources renouvelables implique nécessairement l'acquisition, la maîtrise, le stockage et la diffusion d'une grande quantité et d'une bonne qualité de données, d'informations et de connaissances et implique donc la mise en œuvre et le maintien d'un ou de plusieurs systèmes d'information (SI) environnementaux. Un SI est un ensemble structuré de données, de procédures de traitement et de protocoles de communication. Il repose sur un ensemble de moyens techniques (le système informatique, *stricto sensu)* mais aussi sur un ensemble de documents et de matériels de reprographie et de communication ayant pour fonction de générer, de mémoriser, de traiter, de transférer et d'exploiter des informations par rapport à des objectifs définis.

Des objectifs répondant à des besoins

Il existe un certain nombre d'objectifs que l'on peut considérer comme consensuels et obligatoires, à savoir :

- renforcer/développer les capacités de collecte et de conservation de l'information environnementale ;
- accroître l'offre d'une information élaborée et directement utilisable dans les domaines où elle est actuellement déficitaire, notamment par la mise en place de traitements plus performants ;
- rendre l'accès à l'information environnementale plus aisé pour les acteurs publics considérés dans une définition plus ou moins large (décideurs publics nationaux, recherche, autres services étatiques producteurs et gestionnaires de données). Éventuellement, rendre également cet accès possible à d'autres acteurs et publics.

Sur ce dernier point, des choix doivent encore être opérés, notamment sur le fait de savoir si les collectivités territoriales de tel ou tel niveau doivent

être considérées comme des destinataires directs de l'information environnementale sur le fleuve. La même question peut être posée pour les acteurs non étatiques du développement (ONG, associations, syndicats), pour les opérateurs économiques (entrepreneurs, commerçants) et pour les chefs d'exploitation (pêcheurs, cultivateurs…). La définition des produits d'information qui seront émis par le SI devra tenir compte de cet élargissement éventuel de la liste des bénéficiaires cibles.

Les choix d'architecture de SI et de technologies ne peuvent être complètement arrêtés sans tenir compte des réponses apportées à ces questions. Pour l'instant, la proposition d'architecture présentée ci-après est fondée sur l'hypothèse que le SI ou les SI allaient rester prioritairement orientés sur la fourniture d'informations aux décideurs publics de haut niveau, en prenant soin de distinguer ceux qui relèvent du niveau national ou international (ceux qui interviennent par exemple sur les décisions d'aménagement et de gestion du fleuve) et ceux qui relèvent plutôt du niveau régional ou local (notamment les gestionnaires des offices) et qui ont à prendre des décisions de portée spatiale plus limitée.

Un autre aspect de la définition des besoins est celui du choix des horizons temporels de prévision et de décision que le SI se propose d'éclairer. De ce point de vue, on peut distinguer un horizon court ou tactique qui est celui de l'organisation des campagnes annuelles d'activité et un horizon lointain ou stratégique qui correspond à l'aménagement et à l'investissement, lequel peut être soit large (national, international), soit plus limité (régional ou local). Il semble clair que le SI souhaité pour le fleuve Niger doit viser à l'éclairage du second horizon autant que du premier, même s'il faut recourir pour cela à des formats de produits différents.

Un existant important sur lequel il faut prendre appui

On a affaire à un existant important en matière de systèmes d'information environnementaux, *lato sensu,* sur le fleuve Niger. C'est-à-dire que de nombreuses données de nature très variées sont collectées par de multiples acteurs et que de multiples produits d'information sont diffusés et édités, le plus souvent de façon régulière (quotidienne, mensuelle ou annuelle). Les « acteurs de l'information » sont toutefois très hétérogènes du point de vue de leur type institutionnel, de leur degré d'investissement dans le domaine de l'information et de leur niveau d'usage et de maîtrise des technologies de l'information.

Au niveau international

Il faut citer à ce niveau Agrhymet, institution basée à Niamey et rattachée au CILSS, spécialisée dans le suivi et les prévisions météorologiques d'intérêt agricole avec une forte capacité de traitement de l'information satellitaire pour produire rapidement des cartes de situation.

L'ABN, également basée à Niamey, dispose de SI sous la forme d'un centre de documentation et d'information qui conserve les archives et les documents d'études et d'un centre inter-états de prévisions hydrologiques (programme Hydroniger) qui rassemble, stocke et traite les données hydrologiques en provenance des différents pays du bassin.

Au niveau national et local

Parmi les acteurs de l'information de niveau national, l'ossature est formée par les services rattachés aux directions nationales (ex. DNH, DN météo), mais il faut citer aussi les offices de développement à vocation locale (Office de développement rural de Sélingué, Office du riz Mopti, Office du Niger, Opération pêche Mopti), des laboratoires ou des équipes de recherche (IER) et aussi des projets pérennes tels que le SAP (Système d'alerte précoce). Toutes ces structures recueillent, conservent et publient régulièrement des données. Certaines, comme l'Office du Niger, sont en train de se doter d'un véritable SI moderne.

Reconnaître les différents types et niveaux de données à mobiliser et à traiter

Il est important de reconnaître les différentes catégories et les différents niveaux de données qu'un SI doit prendre en compte pour produire de l'information utile à la gestion des ressources du fleuve Niger, car cette catégorisation conditionne en partie le choix d'une architecture fonctionnelle réaliste. On distinguera ainsi :

■ des données statiques à collecter « une fois pour toutes » : par exemple la topographie. Ici, la collecte ne pose pas de problème en soi. Il faut par contre s'assurer de son degré de précision qui est élevé ;

■ des données qui peuvent être collectées sur des périodicités assez longues, c'est-à-dire sur 5 à 10 ans : population, utilisation du sol, cadastre. La collecte de ces données gagne à être décentralisée et elle peut même être désynchronisée d'une zone du bassin (État, région…) à l'autre ;

■ des données annuelles qui concernent typiquement les résultats de campagnes d'activité (agricole, halieutique…). La collecte de ces données

peut être également décentralisée mais elle doit avoir lieu chaque année et il y a par ailleurs, un fort besoin de disposer d'un minimum de standardisation dans les formats et modes de présentation des données ;

■ des données hautement dynamiques qui doivent être collectées « en continu » : par exemple les pluies, les hauteurs d'eau, les débits… Cette collecte en continu ne peut se faire de façon performante qu'au moyen de technologies avancées (capteurs, balises émettrices, récepteur d'images satellitaires, bases de données alimentées en temps réel) dont la mise en œuvre et l'exploitation nécessitent une organisation centralisée, dotée d'importants moyens matériels et de compétences humaines hautement qualifiées.

Une architecture à deux niveaux

Le choix de l'architecture d'un SI peut être défini comme le choix de la géométrie générale d'organisation entre ses différentes composantes. Il vise à mettre ces composantes en situation d'articulation aisée afin de parvenir à une certaine performance au niveau de l'ensemble. Compte tenu d'une part, des dispositifs existants et, d'autre part, des performances à obtenir tant par rapport à la collecte des différents types de données que par rapport aux différents besoins d'information à satisfaire, il apparaît qu'une architecture réaliste pourrait se baser sur deux niveaux d'intégration :

■ un premier niveau, unique et assez centralisé, serait celui d'un SI du bassin considéré dans son ensemble, focalisé sur l'hydraulicité (débit, niveau et propagation de la crue). Avec les moyens les plus performants, il traiterait l'information envoyée par de multiples capteurs et balises ainsi que l'information satellitaire. Il serait associé à un modèle hydraulique permettant d'effectuer des prévisions à court terme ainsi que des simulations ;

■ un second niveau (ou grain) d'intégration serait celui de SI régionaux ou locaux qui seraient dédiés au suivi et à l'aide à la gestion de l'environnement, des systèmes de production ou des risques sur des espaces particuliers présentant des spécificités d'enjeux élevés et bien identifiables (ex. : l'Office du Niger, le bief Bamako-Koulikoro, le delta intérieur du Niger). C'est à ce niveau que les variables hydrauliques (débits, niveaux, surfaces d'eau) observées ou prévues et fournies notamment par le SI de premier niveau seraient mises en relation avec les informations sur les systèmes d'usage. Ces SI de second niveau, mis en place pour répondre à des objectifs de différentes natures, pourraient obéir à différents modèles de conception (système d'alerte précoce, système de prévision de crues, système de gestion de territoires, suivi des impacts environnementaux…).

La collaboration entre les deux niveaux de SI ferait l'objet d'une attention spéciale avec notamment, l'adoption de référentiels communs (système de cotes, mailles géographiques).

D'un point de vue technique, le premier niveau de SI correspond assez bien, tant en termes de système de suivi des niveaux et des débits du fleuve que de modélisation mathématique, à ce que l'ABN essaie de mettre en place à travers différents projets.

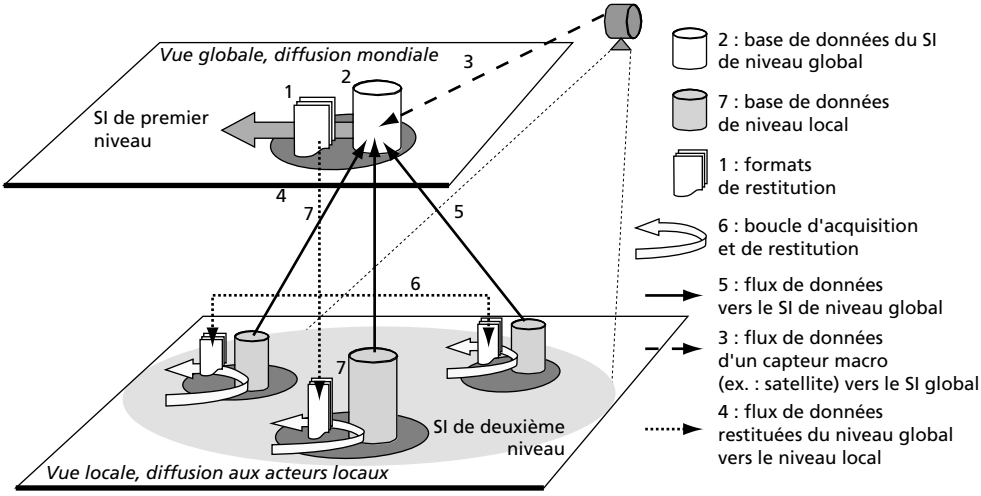


Figure 12

Exemple de schéma d'articulation entre SI de différents niveaux

Dans ce schéma, les SI qui sont de niveau local (ou national) et/ou qui portent sur des thèmes restreints peuvent fonctionner de façon quasi-autonomes, c'est-à-dire avec leur propre boucle d'acquisition et de restitution (6) passant par des bases de données propres (7) et aboutissant à des formats de restitution propres (1) définis en fonction de leurs destinataires spécifiques. Mais ces SI envoient également certaines données (5) vers la base de données du SI global (2) qui est alimentée également par d'autres flux (3) provenant de capteurs spécifiques du niveau global. Le SI de niveau global dispose de ses propres formats de restitution adaptés à ses destinataires cibles spécifiques et il renvoie également (4) une partie de l'information qu'il produit vers les SI locaux ou spécifiques, ces derniers ayant ainsi la possibilité de compléter les contenus de leurs restitutions (1).

Les SI régionaux ou locaux de second niveau ne sont à l'heure actuelle, qu'embryonnaires, exception faite de celui de l'Office du Niger qui est déjà bien avancé. Pour faire émerger ce niveau de SI, les services déconcentrés de l'État qui travaillent sur les zones d'intérêt devraient être encouragés à développer leur coopération en matière de collecte, de traitement et de restitution de l'information. Cela pourrait aller depuis une mise en cohérence des outils, des méthodes et des référentiels jusqu'au partage des données et des ressources entre ces services. Des produits d'information communs pourraient alors être développés au niveau de ces régions ou de ces zones d'intérêt. Pour supporter cet effort d'intégration, des cellules de SI (des observatoires locaux) pourraient être créées et rattachées aux institutions locales de développement ou de gestion, lorsque celles-ci existent.

Ces cellules de SI régionaux ou locaux participeraient par ailleurs à une fédération ou « club » de structures de même type qui, sur l'ensemble du pays et si possible, sur l'ensemble du bassin, se rencontreraient régulièrement et bénéficieraient d'un soutien pour effectuer un travail de convergence en matière de méthodes de collecte et de restitution de l'information et pour renforcer leur capacité à coordonner leurs informations avec celles du système du premier niveau.

La réalisation : deux conditions à réunir

Deux difficultés surviennent systématiquement dans le développement des SI. Il s'agit, d'une part, de la définition et de l'acceptation, au sein même des partenaires du SI, de règles du jeu en matière de circulation et d'usage de l'information et d'autre part, de la capacité à maintenir sur la longue durée des ressources matérielles et humaines à un niveau suffisant.

Un système de règles d'usage des données

Le partage de données, d'informations ou de modèles n'est pas la chose la plus naturelle du monde. C'est pourquoi il est nécessaire de définir de façon précoce les modalités de mise à disposition, de circulation et d'utilisation des données brutes et de l'information entre les différentes institutions impliquées dans le SI. Parmi ces modalités figurerait en premier lieu la nature des informations que les parties prenantes s'engagent à se fournir mutuellement selon des échéances et des périodicités définies. Cela peut donner lieu à une convention de *data policy* (ou accord de circulation et d'usage des données) dont la signature doit être un préalable au déblocage des soutiens.

Des ressources sur une longue durée

Plus que le niveau absolu d'effort financier consenti par les décideurs publics nationaux et les soutiens extérieurs, c'est surtout la durée de cet effort qui sera déterminante pour améliorer la production et la disponibilité d'information environnementale sur le fleuve Niger et sur son environnement. L'approche habituelle sous forme de « projets » pose problème car elle est généralement déployée sur une période trop limitée (3 ou 4 ans en général).

Des mécanismes d'auto-financement peuvent être, par ailleurs, trouvés en imposant, par exemple, aux utilisateurs extérieurs le paiement de l'accès aux données. Enfin, les institutions internationales doivent aussi comprendre que le suivi des grands écosystèmes tropicaux de la planète présente un intérêt mondial et que ce suivi ne peut rester à la charge des seuls pays du Sud. Elles pourraient donc s'engager contractuellement à acheter une partie des informations produites sous réserve d'un contrôle régulier de la qualité des informations fournies.

En conclusion, plus que le niveau de moyens consentis, c'est la façon d'obtenir et de déployer ces moyens qui sera sans doute déterminante pour qu'à l'avenir, l'information environnementale nécessaire au suivi et à la bonne gestion du fleuve Niger soit de plus en plus disponible.

Conclusions

Le bassin du Niger se caractérise par la multiplicité des usages de l'eau que l'on rappelle ici pour mémoire : la production d'électricité, les prélèvements d'eau pour l'irrigation, la navigation, les prélèvements d'eau pour les villes et pour l'industrie, la pêche, le pastoralisme, la production agricole de crue et de décrue et les besoins des écosystèmes.

Ces usages de l'eau, s'ils sont bien identifiés, ne sont pas tous connus avec la même précision. En particulier, certains sont mal connus et mal quantifiés, voire non quantifiés du tout. Ils se caractérisent également par des besoins et des exigences – parfois contradictoires – que l'expertise s'est efforcée de détailler. Sans les reprendre tous, on peut mettre ici en exergue quelques-unes de ces contradictions parmi les plus évidentes. La production d'électricité a besoin d'eau toute l'année afin de garantir un approvisionnement régulier des consommateurs. Ses besoins sont cependant maximum

en saison chaude et sèche à un moment où les débits sont minimum. Produire de l'électricité suppose donc de stocker de l'eau en crue pour la restituer en saison de basses eaux. Les besoins de l'irrigation s'étendent également sur toute l'année si on veut pratiquer une double récolte, mais ils sont particulièrement sensibles en pleine saison sèche lorsque les prélèvements de l'Office du Niger, par exemple, approchent 80 % du débit disponible. Quant à la demande urbaine, elle a besoin d'une grande sécurité d'approvisionnement qui se double d'une exigence de qualité des eaux. La navigation sur le fleuve a besoin, quant à elle, d'une cote garantie sur la plus grande période possible de l'année. À l'inverse, les écosystèmes, en particulier ceux du delta intérieur, mais également certaines activités comme la pêche, le pastoralisme ou les systèmes de production rizicole de crue et de décrue ont besoin d'une crue forte, leurs exigences ne se mesurant pas en débits mais plutôt en hauteurs d'eau (qui conditionnent les surfaces inondées) ainsi qu'en durée d'inondation. D'autre part, si les écosystèmes du delta intérieur et les activités économiques (pêche, pastoralisme…) ont besoin d'une crue annuelle forte et régulière, ils ont également besoin d'une décrue et d'un étiage marqués. En effet, ces écosystèmes tirent leur santé et leur richesse de leur fonctionnement au rythme de l'ample pulsation saisonnière du fleuve (Gepis, 2000).

Besoins de régularité d'un côté, besoins d'amples variations de l'autre, on voit bien là qu'il sera difficile de satisfaire simultanément la totalité des attentes et des exigences des différents usagers du fleuve. Ajoutons que tous ces usagers ont aussi besoin d'une certaine sécurité et que les usages amont se répercutent, à des degrés divers, sur la satisfaction des usages aval. Ce trait, qui est vrai dans le cadre national, l'est encore davantage dans le cadre international par rapport auquel la République du Mali inscrit sa politique de l'eau. Le régime du fleuve au Niger ou à l'entrée du Nigeria dépend en effet du régime en Guinée et au Mali et, par conséquent, des aménagements actuels et en projet.

Concevoir une réponse de compromis pour satisfaire au mieux ces différents besoins est une tâche qui est rendue encore plus difficile par le contexte actuel. Celui-ci est en effet marqué par des forces externes qui exercent des contraintes vives sur le fleuve Niger et sur son environnement. Il s'agit, en premier lieu, du forçage climatique qui est entaché d'incertitudes majeures quant à ses tendances évolutives. En particulier, l'évolution du régime du fleuve

dépendra de celle de la pluviométrie, qu'il est difficile de prévoir, mais également de celle des états de surface du bassin dont les dégradations (déforestation, érosion…) sont susceptibles de modifier les relations pluies/débits. Or, les états de surface, difficiles à caractériser, dépendent eux-mêmes, pour une part, de l'évolution de la pluviométrie mais également des formes d'usages du sol qui dépendent eux-mêmes des besoins croissants d'une population en augmentation rapide et qui aspire à un meilleur niveau de vie.

Comment produire davantage d'électricité ou de riz sans obérer la production de poisson (première source de protéines des maliens) et sans mettre en danger les écosystèmes qui font vivre directement un million d'habitants et qui sont indispensables à une faune d'importance mondiale ? Comment aménager le fleuve en Guinée ou au Mali sans pénaliser les pays en aval ? Ce sont quelques-uns des difficiles défis posés à la gouvernance de l'eau dans le bassin du fleuve Niger. Répondre à ces défis supposera des arbitrages courageux et imaginatifs qui devront s'appuyer sur des connaissances précises et validées.

Or, l'expertise met en lumière le fait que le niveau de connaissance sur le fleuve, s'il est important, n'est ni complet ni homogène. Si l'hydrologie du fleuve est bien connue, le fonctionnement des écosystèmes l'est moins. La végétation du delta intérieur n'a fait l'objet, par exemple, que d'une seule étude complète datant de plus de 20 ans. D'autre part, la notion de « débits environnementaux » est un concept récent dans la Gire et ce concept demanderait à être approfondi en rappelant que, pour le delta intérieur, il devrait plutôt se traduire en terme de « hauteur d'eau environnementale » si l'on veut garantir la pérennité et le bon fonctionnement de l'écosystème.

Recommandations

Les conclusions présentées ci-dessus conduisent à mettre en avant les recommandations suivantes qui portent sur trois points principaux.

Première recommandation : consolider la connaissance scientifique

L'acquisition de connaissances scientifiques sur le bassin du fleuve doit se poursuivre. Il faudra veiller, en particulier, à valider et à mettre à jour les connaissances sur :

■ l'évolution des états de surface du bassin dont les modifications peuvent conditionner la relation pluies/débits ;

■ les écosystèmes de la vallée du fleuve Niger, leur structure et les processus qui les animent, car ils évoluent constamment, en particulier sous la pression des usages et les études sur ces écosystèmes sont, pour certaines, incomplètes ou trop anciennes ;

■ les systèmes de production car, comme les écosystèmes et comme l'ensemble de la société malienne, ils évoluent, eux aussi, rapidement. Sur certains de ces systèmes (pêche, riziculture irriguée…), les connaissances accumulées sont importantes mais elles ne doivent pas rester figées. Sur d'autres, les connaissances sont imprécises ou trop anciennes (c'est le cas de l'élevage dans le delta intérieur, par exemple, ou du système rizicole pluvio-fluvial) ;

■ les usages de l'eau sur l'ensemble du bassin qui devront être répertoriés, analysés et surtout mieux quantifiés jusque dans le détail de leurs variations saisonnières. Si les prélèvements des « grands usages » sont assez bien connus (par ex. ceux de l'Office du Niger), ceux des autres multiples petits usages qui s'échelonnent dans toute la vallée le sont beaucoup moins (par ex. ceux des PIV). Considérés isolément ces petits prélèvements ne semblent guère avoir d'effet perceptible sur le régime du fleuve, mais leurs effets additionnés ne peuvent plus être négligés ;

■ enfin, les développements en matière de systèmes d'information (SI) et de modèles qui devront être poursuivis en recherche et mieux transférés aux structures de gestion. Les SI devront permettre la mise en œuvre de modèles de simulation de scénarios afin d'aider les décideurs. Trois types de modèles distincts sont particulièrement souhaitables : un modèle hydraulique de l'ensemble du fleuve permettant de faire des études d'impact des ouvrages en projet, un modèle des usages de l'eau permettant de représenter et d'intégrer la totalité des besoins et des impacts des différents usages et enfin, des modèles locaux communiquant avec les précédents et adaptés à des problématiques particulières.

Deuxième recommandation : poursuivre les évolutions du cadre institutionnel

À l'instar de la plupart de ses voisins, le Mali s'est engagé dans des réformes institutionnelles de grande ampleur. D'une part, la décentralisation a changé l'organisation territoriale, administrative et politique du pays ;

d'autre part, la Gire a modifié l'approche de la gouvernance de l'eau. Le pays a adapté ses institutions, mais il est permis de penser que la mutation en cours n'est pas encore terminée ni complètement effective. Deux points nous semblent mériter une attention particulière :

■ la clarification, tant au plan national qu'au plan international, des relations entre les institutions chargées spécifiquement de la gouvernance de l'eau. On peut espérer, sur ce point, que la relance en cours de l'ABN permettra une redynamisation des collaborations entre, d'une part les organismes nationaux qui ne doivent pas être dépossédés de leurs rôles et, d'autre part, l'instance de coopération internationale qui doit clairement assumer son rôle, si besoin est, de fédérateur et d'arbitre ;

■ en second point, nous pensons que la société civile, à travers ses représentants élus ou associatifs, doit pouvoir peser davantage sur les décisions concernant les usages de l'eau et sur les orientations stratégiques qui vont engager le devenir du pays et de ses habitants pour de longues années.

Troisième recommandation : éléments pour des options stratégiques équilibrées

Le fleuve Niger, dans son cours amont et moyen, est un fleuve encore peu aménagé. Les aménagements existants apportent des bénéfices indéniables mais laissent apparaître des problèmes réels bien qu'aux conséquences encore limitées. La situation du fleuve n'est donc pas encore compromise, son examen faisant apparaître de larges marges de manœuvre qui permettent de définir, pour l'avenir, une gamme variée de stratégies.

Afin de conserver les grands équilibres du fleuve, il n'est plus possible d'envisager des aménagements sectoriels définis indépendamment les uns des autres. Poursuivre dans cette voie risquerait, pour un bénéfice limité et localisé, de générer des nuisances s'additionnant et se répercutant sur l'ensemble du bassin.

Développer les usages de l'eau et aménager le fleuve apparaissent certes, comme des nécessités. Mais cela ne peut s'envisager que de façon globale et intégrée, en pesant d'un côté les bénéfices attendus et de l'autre, les interactions possibles avec tous les autres usages et avec l'environnement global du fleuve.

Le fait est évident lorsqu'il s'agit des aménagements structurants à l'échelle régionale. Ainsi, considérant les grands barrages qui sont « en projet »

souvent depuis de nombreuses années, il apparaît maintenant que la compréhension et l'évaluation de leurs impacts ne peuvent être véritables que si on les considère dans leur ensemble, en tenant compte de toutes les interactions qui pourraient être générées par les différentes options de gestion adoptées pour les piloter. En particulier, les effets sur le delta intérieur devront être bien mesurés et la possibilité d'y garantir une « hauteur d'eau environnementale », notamment en crue, doit être sérieusement mise à l'étude[5].

Une telle approche, nécessairement assez lourde et complexe à mener, ne peut être envisagée que dans un cadre international. Elle pourrait contribuer à redynamiser l'ABN et à lever les réticences exprimées par une partie des bailleurs de fonds depuis le rapport de la commission mondiale sur les barrages (WCD, 2000).

Au plan national, les grandes options doivent être précisées. Tous les observateurs s'accordent sur la nécessité de poursuivre le développement de la production électrique et des productions agricoles. Cependant, si l'on s'accorde sur le fait qu'il faut, en particulier, poursuivre le développement de la production de riz, on remarquera que produire 1 kg de riz en irrigué consomme (dans le meilleur des cas) 5 m^3 d'eau, ce qui apparaît comme une option particulièrement coûteuse en eau. Or, l'option rizicole n'est pas la seule possible ; d'autres options agricoles valorisent mieux l'eau lorsque celle-ci se trouve en abondance limitée. De plus, à l'intérieur même de la filière riz, l'extension de l'Office du Niger, gros consommateur d'eau, si elle apparaît souhaitable par certains cotés, n'est pas la seule possibilité. Un plus grand développement des autres systèmes de production rizicoles – du riz pluvial dans le sud du pays au riz inondé dans le delta intérieur – est également très souhaitable.

Les prises de décisions stratégiques engageront l'avenir du fleuve Niger sur le long terme et souvent, de façon irréversible. C'est pourquoi tous les scénarios possibles doivent être envisagés et étudiés au préalable. Ceci rend d'autant plus urgent la conception et l'installation des modèles de simulation décrits plus haut. Car ces modèles pourront aider les décideurs à choisir, en connaissance de cause et dans la clarté, les options de développement offrant les meilleurs compromis.

[5] Une piste de réflexion pourrait être l'étude d'un ouvrage aval (Taoussa peut-il jouer ce rôle ?) qui compenserait les effets négatifs des ouvrages amont à la condition qu'un tel ouvrage ne pénalise pas à son tour les utilisateurs encore plus en aval, en particulier ceux du Niger et du Nigeria.

Références bibliographiques

Alpha A., Ait-ssi L., Banton O., Mariko A., Traoré A. Z., Villeneuve J.-P., 1991 – *Hydrogéologie et contamination de la nappe phréatique alimentant la ville de Bamako (Mali)*. Bamako, Rapport ENI, INRS-Eau.

Baumann E., Fay C., Kassibo B., 1994 –
« Systèmes de pêche et stratégies globales ». *In* Quensière J. (éd.) : 401-406.

Bénech V., 2002 –
« Les migrations latérales des poissons dans le delta intérieur du Niger ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 329-341.

Bénech V., Dansoko D., 1994 –
« Reproduction des espèces d'intérêt halieutique ». *In* Quensière J. (éd.) : 213-228.

Bonnefoy A., 1998 –
Impact des intrants agricoles sur la qualité des eaux en zone cotonnière du Mali-Sud. Mémoire Ingénieur IUP, Université de Compiègne, 50 p.

Breuil C., Cacaud P., Quensière J., 1996 –
Proposition d'un document de politique des pêches et de la pisciculture au Mali. *PNUD/MLI/91/005*. Rome, FAO.

Cofad, GTZ, Lohmeyer U. (eds), 2002 –
Back to basics. Traditional Inland Fisheries Management and Enhancement Systems in Sub-Saharan Africa and their Potential for Development. Eschborn (Germany), GTZ, 203 p.

Coulibaly S., Dicko F., Traoré S. M., Sidibé O., Seroussi M., Barrère B., 1996 – *Enquête démographique et de santé Mali 1995-1996*. Bamako, Direction nationale de la statistique et de l'informatique, 375 p.

Daget J., 1954 –
Les poissons du Niger supérieur. Dakar, Mémoire Ifan, 36, 382 p.

Daget J., Ba A. H., 1955 –
L'empire peul du Macina. *Etudes soudanaises*, 3. Bamako, Ifan 306 p.

D'Amato N., Lebel T., 1998 –
On the characteristics of the rainfall events in the Sahel with a view to the analysis of climatic variability. *International Journal of Climatology*, 18: 955-974.

Ducrot R., Zaslavsky J., Magassa H., 2002 –
« Dynamismes et contraintes du développement de la petite irrigation : cas du delta intérieur du Niger au Mali ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 621-638.

ENP (Étude nationale prospective) « Mali 2025 », 2003 –
Rapport.

Equanis, 1997 –
Environnement et qualité des apports du Niger au Sahel. Programme sur l'environnement de la géosphère intertropicale (Pegi), INSU-CNRS-Orstom, Opération « Grands bassins fluviaux », 1992-1997, IRD, Paris.

Faostat, 2004 –
Base de données en ligne (http://www.fao.org/faostat)

Fay C., 1989 –
Systèmes halieutiques et espaces de pouvoir : transformation des droits et des pratiques de pêche dans le delta central du Niger (Mali), 1920-1980. *Cah. Sci. Hum*, 25 (1-2) : 213-236.

Gallais J., 1967 –
Le delta intérieur du Niger. Dakar, Ifan, 612 p.

Gepis (Groupe d'experts des plaines d'inondation sahéliennes), 2000 –
Vers une gestion durable des plaines d'inondation sahéliennes. Gland (Suisse)/ Cambridge (Royaume-Uni), UICN, 214 p.

Ghenis, 2001 – *Gestion hydrologique et environnementale du Niger supérieur.* Direction nationale de l'hydraulique et de l'eau (DNHE), projet Delft Hydraulics, Bamako, 2000-2002.

GIHREX, 2000 – *Gestion intégrée, hydrologie, ressources et systèmes d'exploitation.* Grand programme 21, département Eaux continentales, 1997-2000, Orstom-IRD, Paris.

HIERNAUX P., DIARRA L., 1986 –
Bilan de cinq années de recherches (Sept. 1979-Sept. 1984) sur la production végétale des parcours des plaines d'inondation du fleuve Niger au Mali central. Bamako, Cipea, 66 p.

HUGON PH., 1998 –
Ajustement structurel, emploi et rôle des partenaires sociaux en Afrique francophone. *Cahiers de l'emploi et de la formation*, 28, 53 p.

HULME M., 2001 –
Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973-1998. *Global Environmental Change*, 11 : 19-29.

IEPF (Institut de l'energie et de l'environnement de la francophonie), 2004 –
Site web http://www.iepf.org

IWACO, 1996 –
Étude préliminaire de la qualité des eaux souterraines phréatiques des zones maraîchères de Bamako. Rapport final d'évaluation. Bamako.

KASSIBO B., 2000 –
« Pêche continentale et migration : contrôle politique et contrôle social des migrations de pêche dans le delta central du Niger (Mali) ». *In* Chauveau J.P., Jul-Larsen E., Chaboud C. (éd.) : *Les pêches piroguières en Afrique de l'Ouest. Pouvoirs, mobilités, marchés*. Paris, IRD/Karthala : 231-246.

KODIO A., MORAND P., DIENÉPO K., LAË R., 2002 –
« Dynamique de la pêcherie du delta intérieur du Niger revisitée à la lumière des données récentes : implications en termes de gestion ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 431-453.

KUPER M., HASSANE A., ORANGE D., CHOHIN-KUPER A., SOW M., 2002 –
« Régulation, utilisation et partage des eaux du fleuve Niger : impact de la gestion des aménagements hydrauliques ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 411-430.

KUPER M., MAÏGA H., 2002 –
« Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger (Mali) ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 639-660.

KUPER M., MULLON C., PONCET Y., 2003 –
Integrated modelling of the ecosystem of the Niger river inland delta in Mali. *Ecological Modelling*, 164 (1) : 83-102.

LAË R., 1992a –
Impact des barrages sur les pêcheries artisanales du delta central du Niger. *Agricultures : Cahiers d'Études et de Recherches Francophones*, 1: 256-263.

LAË R., 1992b –
Influence de l'hydrologie sur l'évolution des pêcheries du delta central du Niger, de 1966 à 1989. *Aquatic Living Resources*, 2 : 115-126.

LAË R., 1995 –
Climatic and anthropogenic effects on fish diversity and fish yields in the central delta of the Niger river. *Aquatic Living Resources*, 8 : 45-58.

LAË R., MAÏGA M., RAFFRAY J., TROUBAT J.J., 1994 –
« Évolution de la pêche ». *In* Quensière J. (éd.) : 143-164.

LE BARBÉ L., LEBEL T., 1997 –
Rainfall climatology of the Hapex-Sahel region during the years 1950-1990. *Journal of Hydrology*, 188 (1-4)-189 (1-4) : 43-73.

LEROY J.-B., 1999 –
La pollution des eaux. Paris, PUF, coll. Que sais-je ?, 128 p.

LÉVÊQUE C., PAUGY D. (éd.), 1999 –
Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme. Paris, IRD, 521 p.

MARIE J., 1989 –
« Désertification et politique d'État : le rôle des lois foncières et de la politique forestière en République du Mali ». *In* Sahel 89*, Cahiers géographiques de Rouen*, 32 : 67-72.

MARIE J., 2000 –
Delmasig : hommes, milieux, enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger (Mali). Habilitation à diriger les recherches, Université Paris-X, 420 p. et atlas (63 cartes).

MARIE J., 2002 –
« Enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger (Mali) : Delmasig, un SIG à vocation locale et régionale ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 557-586.

MCCARTHY J.J., CANZIANI O.F., LEARY N. A., DOKKEN D.J., WHITE K.S., 2001 –
Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of working group II to the third assessment report of the Intergovernmental panel on climate change / IPCC. Cambridge (UK), Cambridge University Press, 1032 p.

MDRE (Ministère du développement rural et de l'eau), 1999a –
Stratégie nationale de développement de l'irrigation. Bamako, République du Mali, 76 p.

MDRE (Ministère du développement rural et de l'eau), 1999b –
Étude environnementale de la zone de l'Office du Niger. Bamako, République du Mali, 63 p.

MOOREHEAD R., 1997 –
Structural Chaos: Community and state management of common property in Mali. London (UK), IIED, 420 p.

MORAND P., BREUIL C., 2002 –
Fisheries in Selingue: towards a participatory management which is better integrated into local development. Sustainable Fisheries Livelihoods Programme in West Africa. *Liaison Bulletin*, 8 : 6-11.

MORAND P., KODIO A., 2004 –
Indicators for Tropical Floodplain Fisheries. Case study on the Niger River in Mali. Poster at Symposium SCOR, March 31st - April 4th.

Morand P., Quensière J., Herry C., 1991 –
« Enquête pluridisciplinaire auprès des pêcheurs du delta central du Niger : plan de sondage et estimateurs associés ». *In* Mullon C. (éd.) : *Le transfert d'échelle.* Séminfor 4 : Quatrième Séminaire informatique de l'Orstom (Brest). Paris, Orstom, coll. Colloques et Séminaires : 195-211.

Moron V., 1997 –
Trend, decadal and interannual variability in annual rainfall of subequatorial and tropical north Africa (1900-1994). *International Journal of Climatology*, 17 (8) : 785-805.

Niaré T., 1994 –
« Croissance des poissons ». *In* Quensière J. (éd.) : 229-236.

Niaré T., Kassibo B., Lazard J., 2000 –
What fish farming development model for Mali, where traditional inland fisheries thrive? *Cahiers Agricultures*, 9 (3) : 173-179.

Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.), 2002 –
Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales. Séminaire international, 20-23 juin 2000 (Bamako-Mali). Paris, IRD, coll. Colloques et séminaires, 987 p.

Pirl (Projet inventaire des ressources ligneuses), 1990 –
Les formations végétales au Mali ; Rapport de synthèse, première phase. Bamako, Direction nationale des eaux et forêts, BDPA / SCET-Agri-CTFT (Cirad), 142 p.

Palangié A., 1998 –
Origines et caractéristiques de la pollution des eaux de Bamako : une première approche pour la gestion et l'épuration. Mémoire de DEA : Environnement, Temps, Espaces, Sociétés : Environnement et Sociétés, univ. d'Orléans. Orléans, 105 p.

Picouet C., Dupré B., Orange D., Valladon M., 2002 –
Major trace element geochemistry in the upper Niger river (Mali): physical and chemical weathering rates and CO^2 consumption. *Chemical Geology*, 185: 93-124.

Poncet Y., Kuper M., Mullon C., Morand P., Orange D., 2001 –
« Représenter l'espace pour structurer le temps : la modélisation intégrée du delta intérieur du Niger au Mali ». *In* Lardon S., Maurel P., Piveteau V. (éd.) : *Représentations spatiales et développement territorial.* Paris, Hermès : 143-163.

Quensière J. (éd.), 1994 –
La pêche dans le delta central du Niger : approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique. Paris, Orstom/Karthala, 495 p.

Quensière J., Bénech V., Dansoko D., 1994 –
« Évolution de la composition des peuplements de poissons ». *In* Quensière J. (éd.) : 105-122.

Samé-Ekobo A., Fondjo E., Eouzan J.P. (éd.), 2001 –
Grands travaux et maladies à vecteurs au Cameroun. Paris, IRD coll. Expertise collégiale, 2 volumes, 221 p. et 74 p.

Sogreah, BCEOM-Betico, 1999 –
Études du schéma directeur d'aménagement pour la zone de l'Office du Niger.

Trébuil G., Hossain M., 2004 –
Le riz. Paris, Belin, 265 p.

Vink K., Genet W., Hendrickx J., 1981 –
Besoins en eau au niveau arroseur pour riz et canne à sucre. Rapport d'études pour l'Office du Niger et DGIS.

Ward M.N., 1998 –
Diagnosis and Short-Lead Time Prediction of Summer Rainfall in Tropical North Africa at Interannual and Multidecadal Timescales. *Journal of Climate*, 11(12): 3167-3191.

WCD (*World commission on dams*), 2000 –
Dams and development. A new framework for decision-making. The report of the World Commission on Dams. London (UK), Earthscan publishers, 448 p.

Welcomme R.L., 1989 –
"Review of the present state of knowledge of fish stocks and fisheries of African rivers". *In* Dodge (ed.): Proceedings of the International Large River Symposium, Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, Ontario, Canada. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences,* 106: 515-532.

Wetlands International, 1999 –
PV de l'Atelier sur la conservation de la biodiversité des poisons en Afrique de l'Ouest, région de Mopti. Mopti (Mali), 24-27 août 1999.

Wymenga E., Kone B., Van Der Kamp J., Zwarts L., 2002 –
Delta intérieur du fleuve Niger. Wageningen (Pays-Bas), Wetlands International, 240 p.

Zallé D., Maïga O., 2002 –
« Zones inondables en milieu urbain : conflits fonciers et concurrences pour l'espace maraîcher à Bamako (Mali) ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 49-59.

Annexes

Cahier des charges de l'Expertise collégiale

Les six questions ci-dessous constituaient le cahier des charges donné aux experts. Ces questions ont été formulées à l'issue d'un atelier d'identification des besoins d'information exprimés par les gestionnaires publics du fleuve Niger au Mali en novembre 2002 à Bamako. Elles s'énoncent de la façon suivante :

Question 1 – Quelles données, quels paramètres et quels aménagements doivent être pris en compte pour assurer une gestion et un partage des ressources en eau en rapport avec les besoins de l'ensemble des usagers du fleuve Niger au Mali dans une perspective d'équité, d'efficacité et de durabilité ?

Question 2 – Quelles variables doivent être prises en compte pour une régulation satisfaisante des utilisations de l'eau dans les aménagements hydroagricoles ?

Question 3 – De quelles connaissances validées dispose-t-on sur le régime du fleuve et sur les processus d'évolution à moyen et long terme de l'environnement ? Et sur quels indicateurs peut-on compter pour suivre ces processus ?

Question 4 – Peut-on mieux prévenir les risques que les excès du régime du fleuve font porter sur l'intégrité des personnes et des biens ? Et peut-on mettre en place des procédures de gestion d'éventuelles catastrophes ?

Question 5 – À quelles évolutions est confronté le cadre institutionnel et juridique de gestion de l'activité liée au fleuve ? Peut-on dégager des éléments de diagnostic sur le fonctionnement de ce cadre et sur son adaptation au développement des responsabilités des collectivités locales ?

Question 6 – Compte tenu, d'une part, des outils et des techniques existants aujourd'hui et, d'autre part, de l'analyse des besoins d'information exprimés sur les points précédents, quelles sont les principales caractéristiques des systèmes d'information qui peuvent être mis en place ?

ANNEXE 2

Présentation du collège d'experts

Jean-François Bélières
Cirad
BP 1813 – Bamako – Mali

Cheik Cissé
Consulting legal expert
Bamako - Mali

Lassine Diarra
IER – CRRA
CRRA Sotuba
BP 262 – Bamako – Mali

Almoustapha Fofana
DNH
BP 66 – Bamako – Mali

Pierrick Givone
Cemagref – Direction scientifique
Parc de Tourvoie – BP 44
92163 Anthony cedex – France

Housseini Maïga
DNH
BP 66 – Bamako – Mali

Jérôme Marie
Université Paris-X
32, rue Montbrouard
95170 Deuil-la-Barre – France

Pierre Morand
IRD – Dakar – US SIH
BP 1386, CP 18528
Dakar – Sénégal

Mamadou Kabirou N'Diaye
IER
BP 258 – Bamako – Mali

Hamady N'Djim
Consulting engineer
BP E 3131 « Daoudabangou »
Ex-marché de Kalasancona
Rue 343 – P. 65 – Mali

Didier Orange
IRD – Ambassade de France
57 Tran Hung
Dao Hanoï – Vietnam

Ousmane Sy
Ministre de l'Administration territoriale et des Collectivités locales
(République du Mali)
C/o Représentant IRD au Mali
BP 2528 – Bamako – Mali

Pierre Sibiri Traoré
Icrisat / IER
BP 258 – Bamako – Mali

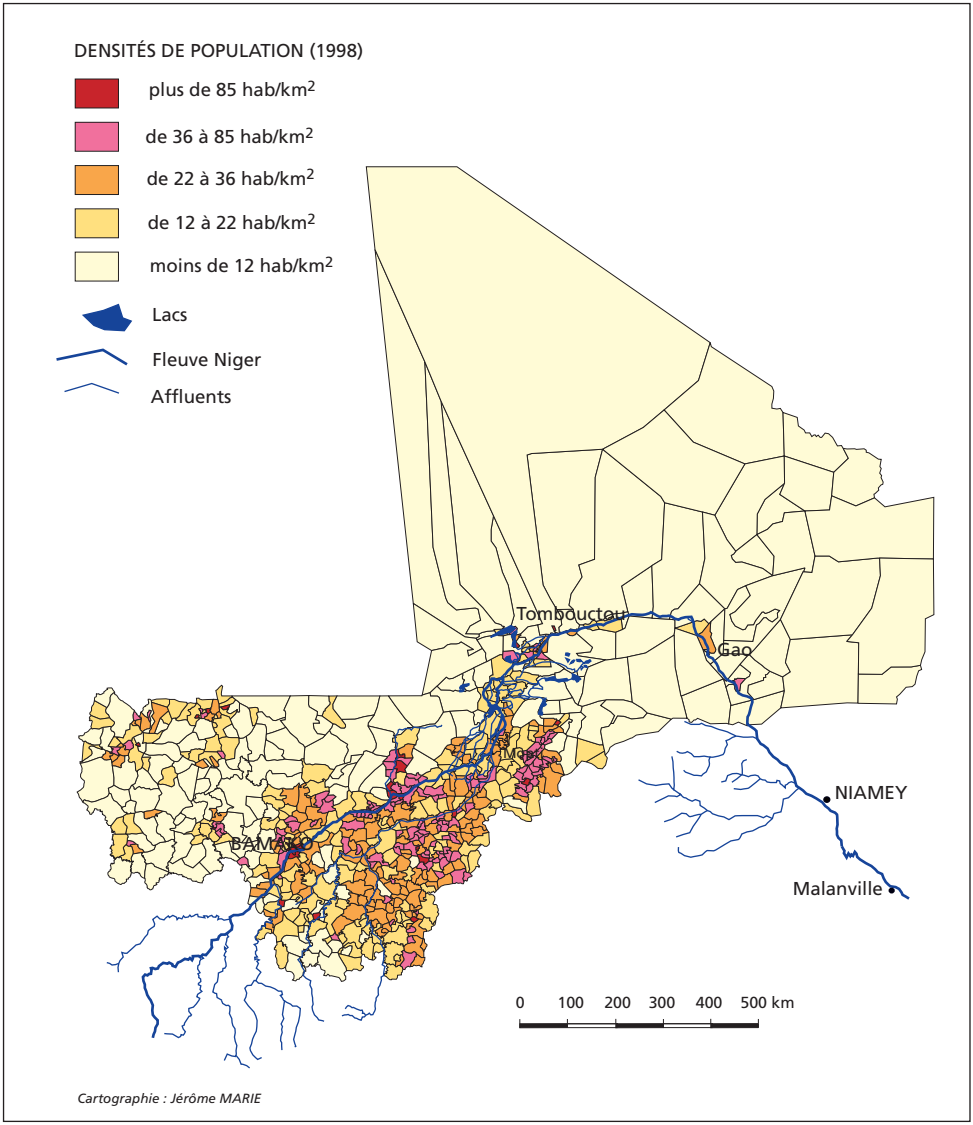
Avenir du fleuve Niger

Cartes hors texte

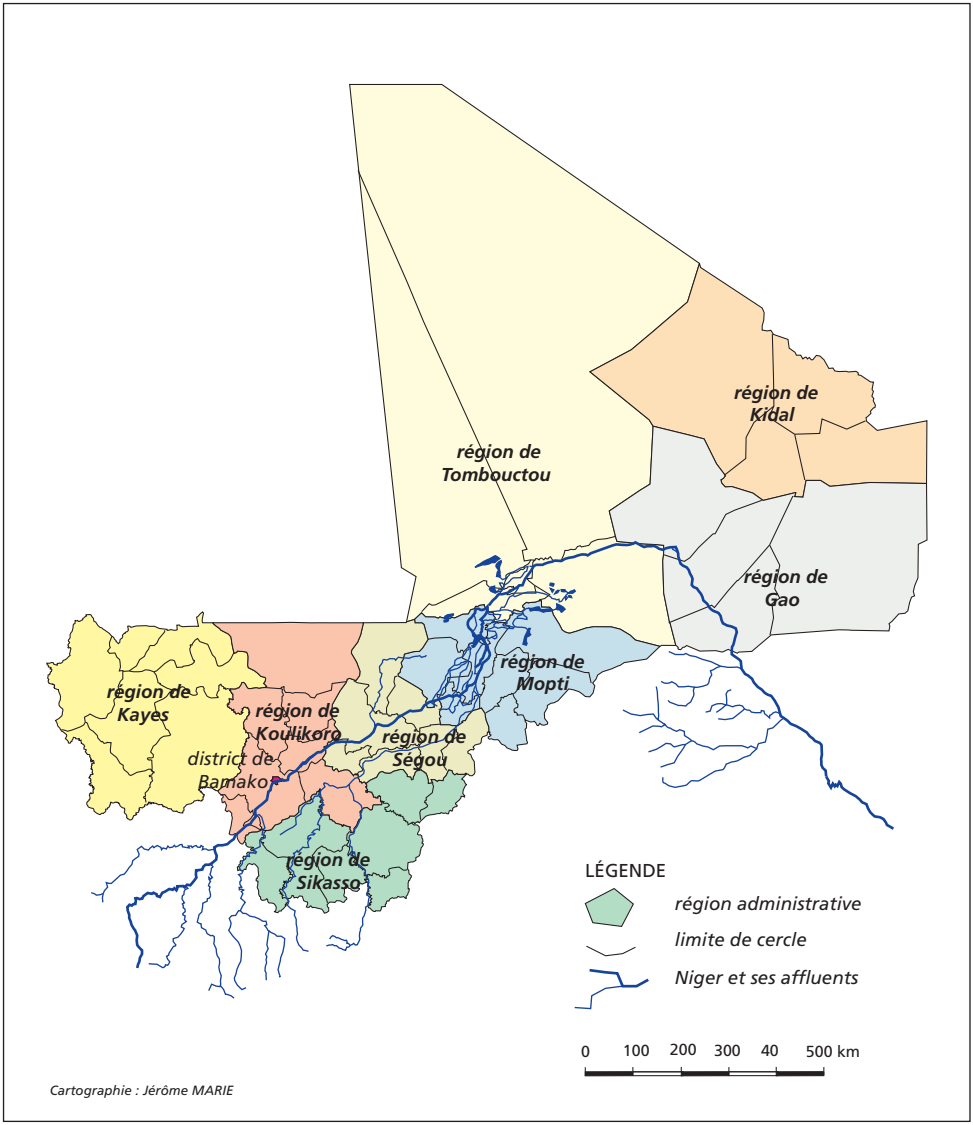
The Niger River's Future

Maps inserts

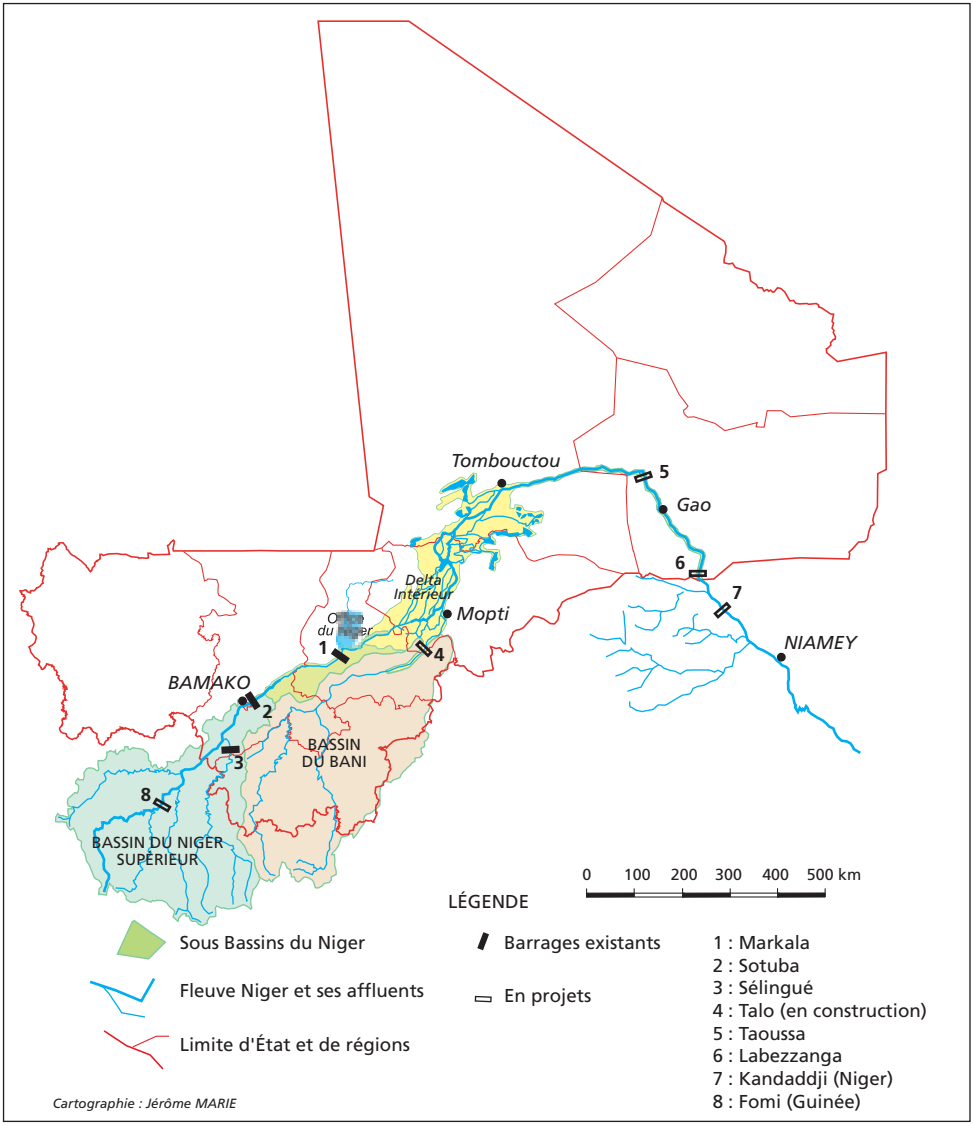
1 – La population communale au Mali et la vallée du fleuve Niger



2 – Le fleuve et les régions administratives



3 – Le bassin du fleuve et les aménagements



English
version

The Niger River's Future

Scientific coordinators
Jérôme Marie, Pierre Morand, Hamady N'Djim

The first part of the review (synthesis report and recommendations) is presented in printed form, first in French and then in English. The second part (analyses) is presented on the enclosed CD-Rom.

IRD Éditions
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT
collection Expertise collégiale
Paris, 2007

Editorial preparation
Christian Delvaux

Layout
Bill Production

Page makeup, cover and interior
Pierre Lopez

English translation
Cabinet Champolion

Coordination
Département Expertise et Valorisation, IRD

Production monitoring
Catherine Plasse

This document condenses the work of twelve experts who used available scientific information to address questions raised by the public-sector agencies administrating the Niger River and its environment in Mali. This work was conducted by the IER (Mali's Institut d'Économie Rurale) and IRD (France's Institut de Recherche pour le Développement), and sponsored by the EDF (European Development Fund), IUCN (World Conservation Union), GTZ (International Cooperation Enterprise for Sustainable Development) and MAE (France's ministry of foreign affairs via the Scac French embassy in Mali).

© IRD, 2007
ISSN 1633-9924 / ISBN : 978-2-7099-1632-5

The panel of experts

Chairman

Ousmane Sy,
Minister of territorial administration and local institutions
(Republic of Mali)

Scientific Coordinators

Jérôme Marie (Paris 10 University)

Pierre Morand (IRD)

Hamady N'Djim (Consulting engineer)

Members

Jean-François Bélières (Cirad)

Cheik Cissé (Consulting legal expert)

Lassine Diarra (IER-CRRA)

Almoustapha Fofana (DNH)

Pierrick Givone (Cemagref)

Housseini Maïga (DNH)

Mamadou Kabirou N'diaye (IER)

Didier Orange (IRD)

Pierre Sibiri Traoré (Icrisat/IER)

Contents

Aims and methods of the expert group review 163

Introduction 167
The plan for this synthesis 167
Overview 168

■ *Part one*
Synthesis and recommendations

The situation and how it is evolving 177
The trends shaping current driving forces and other forcing factors, and the outlook 177
River-usage characterisation and performance, water requirements and relative impacts 184
The Niger River's ecosystem today and the trends shaping it 208
The institutional framework and existing management instruments 224

The problems: how they are addressed today 241
Risks associated with hazards 242
Tensions and how they are handled today 249
Threats for the future 256
Institutional issues hampering efficient environmental and natural-resource management 258

Proposals, conclusions and recommendations 263
Setting up or consolidating management tools 263
Conclusions 270
Recommendations 271

Bibliography 275

■ *Appendices*

Appendix 1 – Specifications for the expert group review 285
Appendix 2 – The panel of expert 286

■ *Maps insert*

Maps 1, 2, 3 INSERT

■ *Part two*

Analytical chapters (in French; CD-ROM)

1 – Présentation du fleuve Niger
HOUSSEINI MAÏGA, JÉRÔME MARIE, PIERRE MORAND, HAMADY N'DJIM, DIDIER ORANGE CD-ROM

2 – Variables et régulation de l'eau
JEAN-FRANÇOIS BÉLIÈRES, MAMADOU KABIROU N'DIAYE, HAMADY N'DJIM CD-ROM

3 – Connaissance du fleuve, évolution et indicateurs
LASSINE DIARRA, ALMOUSTAPHA FOFANA, PIERRICK GIVONE, HOUSSEINI MAÏGA, PIERRE MORAND, DIDIER ORANGE, PIERRE SIBIRI TRAORÉ CD-ROM

4 – Prévention des risques
CHEIKH CISSÉ, LAMINÉ DIARRA, ALMOUSTAPHA FOFANA, PIERRICK GIVONE CD-ROM

5 – Cadre institutionnel et juridique de gestion de l'activité liée au fleuve Niger
CHEICK CISSÉ, PIERRE MORAND CD-ROM

6 – Les systèmes d'information environnementaux
ALMOUSTAPHA FOFANA, PIERRICK GIVONE, JÉRÔME MARIE, PIERRE MORAND, DIDIER ORANGE, PIERRE SIBIRI TRAORÉ CD-ROM

Abbreviations

ABFN *Agence du bassin du fleuve Niger* (Niger river basin agency)

ABN/NBA *Autorité du bassin du Niger* (Niger river basin authority)

Cemagref *Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement* (French agricultural and environmental engineering research agency)

CILSS *Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse au Sahel* (permanent interstate committee for drought control in the Sahel)

Cirad *Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement* (international cooperation centre in agricultural research for development)

CMDT *Compagnie malienne de développement textile* (Malian cotton company)

COD Chemical Oxygen Demand

Comanav *Compagnie malienne de navigation* (malian sailing company)

DNH *Direction nationale de l'hydraulique (Mali)* (Mali's hydraulic authority)

EDF European Development Fund

ESP/GRN *Équipe systèmes de production et Gestion des ressources naturelles* (production systems and natural resources management team)

FAO *United Nations' Food and Agriculture Organization*

Ghenis *Gestion hydro-écologique du Niger supérieur* (upper Niger hydro-ecological management project)

GTPA *Groupe de travail pluridisciplinaire d'assistance agro météorologique* (multidisciplinary task force, agro-meteorological support)

GTZ Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (international cooperation enterprise for sustainable development)

Huicoma	*Huilerie cotonnière du Mali* (Mali's cottonseed oil factory)
Icrisat	International Crop Research Institute for Semi-Arid Tropics
IER	*Institut d'économie rurale du Mali* (Mali's institute of rural economics)
IER-CRRA	*Institut d'économie rurale - Centre régional de recherche en agronomie* (institute of rural economic's-regional agricultural research centre)
IRD	*Institut de recherche pour le développement (France)*
ILCA	International Livestock Centre for Africa
IWRM	Integrated Water Resource Management
MAE	*Ministère des Affaires étrangères (France)* (France's ministry of foreign affairs)
MDRE	*Ministère du Développement rural et de l'Environnement (Mali)* (Mali's ministry of the environment and rural development)
MEA	*Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement (Mali)* (Mali's ministry of the environment and sanitation)
MMEE	*Ministère des Mines, de l'Énergie et de l'Eau (Mali)* (Mali's ministry of mines, energy and water)
NGO	Non-Governmental Organisation
NOS	National Outlook Study (Mali)
ORM	*Office du riz Mopti* (Mopti's rice office)
PIRL	*Projet inventaire des ressources ligneuses* (wood resource inventory project)
SAP	*Système d'alerte précoce* (early warning system)
Scac	*Services de coopération et d'action culturelle (ambassade de France)* (cultural and scientific departments, French embassy)
SED	*Stratégie énergie domestique* (domestic energy strategy)
SNDI	*Stratégie nationale de développement de l'irrigation* (national irrigation development strategy)
UICN	*Union mondiale pour la nature* (World Conservation Union)
WFP	United Nations' World Food Programme
WHO	United Nations' World Health Organisation

Aims and methods of the expert group review

IRD conducts expert group reviews when and as requested to do so to enlighten political decisions and public debate about social issues. Sharing researcher findings and insights with the community, in other words, is one of any public-research agency's duties.

Scientist bodies, however, are not in the business of mapping out action plans for public authorities: action plans belong in the political arena and stem from factors lying outside the scientific realm. IRD reviews serve a humbler goal: they compile available information about a given topic in specialised literature, measure its relevance to the case at hand, and draw a line between facts (which the scientific community collectively endorses), opinions (which are still the subject of some scientific debate) and gaps (areas in which research, at this point, is inconclusive and therefore unfit to derive conclusions).

Useful and reliable expert reviews encompass three aspects:

■ decision-making timeframes and research timeframes rarely tally. Decisions often need to be taken fast. Or indeed sometimes citizens prompt immediate decisions. Expert group reviews distil facts from existing international literature: they do not involve gathering new information or processing available data in new and/or complex ways;

■ the issues are rarely one-dimensional. So we review every one of an issue's many facets in the light of the latest publications. Expert panels, it follows, span a broad base of disciplines and usually pool input from around a dozen specialists. These specialists debate and assume full responsibility for their conclusions. IRD also asks qualified independent experts to review its reports to ensure their content is complete, clear and compatible with international literature. Expert groups retain control over their conclusions;

■ lastly, the decision-makers who peruse scientist and expert analyses and conclusions, and citizens in general, may find scientific language impenetrable. So scientists have two goals: to present their analysis in standard scientific language substantiating their reasoning, and to provide a simple and fairly concise synopsis that laypeople will understand.

These factors shape review goals and presentation (in particular, the first and last phases):

■ before gathering the experts, sponsoring organisations (which typically want to work with directly-concerned stakeholders) and scientists hold a preliminary workshop to draw up a list of questions. Both parties need a clear understanding of what the other expects. On the one hand, some decision-critical questions do not involve scientific input, and are thus best avoided. On the other, scientists need to understand the issues surrounding the decision-making process if they want to provide relevant conclusions;

■ then expert scientists gather available data and analyses from their specific field. They subsequently pool their findings into group conclusions which they draft and publish in the form of a synopsis targeting a fairly wide readership. Such summaries involve a substantial workload and are rare. But their scientific and practical bearing often stretches far beyond the region or country in question. That is why they are systematically published in English and French.

This survey on the Niger River's future was conducted from this perspective.

This expert group review was conducted by IRD and sponsored by the European Development Fund (EDF), World Conservation Union (UICN), GTZ (International Cooperation Enterprise for Sustainable Development) and France's Ministry of Foreign Affairs. Before deciding whether and how to facilitate and encourage natural-resource management on the Niger River, the agencies responsible for administrating this river's resources wanted currently-available scientific, technical and financial information about development opportunities and about the foreseeable advantages and disadvantages of tapping those opportunities in Mali.

The preliminary workshop provided six questions (see appendix 1). A group of twelve scientists convened under Minister Ousmane Sy's presidency (see the group listing at appendix 2).

The key conclusions were presented in Bamako in June 2005, sponsored by Gilles Fédière (IRD's representative in Mali) and IER Director Bino Témé. This presentation provided an opportunity for experts to note down further questions, which they have endeavoured to address herein. Lastly, this report was read by two independent experts who helped authors improve its presentation.

As in other publications in this collection, readers will find a summary of the expert group's conclusions in English and French. The enclosed CD-ROM contains the six analytical chapters underlying and underpinning this synthesis.

Heartfelt thanks go to all the people who contributed to this publication. First of all to Marianne Bethod-Wurmser who used to run the Expertise and Consulting Department and without whose help this report would have been incomplete, Caroline Weill-Giès and Olivier Monga who instigated this project. The experts are responsible for the findings and for the bulk of the hard work they conducted under Jérôme Marie, Pierre Morand and Hamady N'Djim.

Lastly, heartfelt thanks go to Yveline Poncet (IRD) and Philippe Mangé (*Conseil général du génie rural, des eaux et des forêts*/general council for agriculture) for their expert perusal of this work.

Marie-Laure Beauvais
Research Representative, Expert group review
Expertise and Consulting Department, IRD

Introduction

The plan for this synthesis

This review involved answering the six questions raised by the main public-sector agencies in charge of monitoring and administrating the Niger River in Mali (see appendix 1). As the questions spanned a very eclectic variety of issues, we decided against answering them one by one at first. Doing so would have entailed considerable needless repetition and neglected the fact that several of the questions (and hence answers) are indeed interdependent. So this report was based on the more integrated and reasonably linear approach detailed below.

This introduction ends with a general background on the river and its environment. The following section provides an in-depth review of what scientists and experts know about the current situation and about trends unfurling in the river's and its basin's socio-ecosystem (SES). This firstly includes the "major motor variables" springing from general dynamics and "imposing themselves" on the system. Here, we will look at population increase and at the commensurate rise in food and energy requirements, and then at the climatic dynamics at work in this part of Africa. Next, we will describe the current situation and trends shaping the way in which this river's resources (its water, as well as its surrounding areas and ecosystems) are used in Mali (the "river usage systems"). This chapter will include an overview of the schemes used for power generation, farming, fishing, livestock farming, household and industrial use of water, and navigation. We will review these usage systems in the light of their weight in the country's economy, productivity, and their toll on this river's water. Then we will review what the scientific community knows about the current situation and trends at work in the Niger River's ecosystem from a broader perspective, covering surface and underground water availability and quality, geomorphological stability, soil fertility, vegetation and flora, fish population and wildlife. The last chapter in this section reviews the agencies administrating these resources, the instruments they use and the way in which they use them today.

The third section uses the above information to provide a concise analysis of the issues – ranked as hazards, tensions and threats – facing agencies administrating the Niger River's resources. These issues often arise because human factors and natural factors (i.e. requirements and impacts) clash. Several of the problems we will analyse in that light, as we will see, are closely correlated to the questions in the framework.

The fourth (and last) section discusses a number of management instruments and choices that might better address the identified problems, while tackling environmental issues and allowing the people living around the Niger River in Mali to look forward to the future more serenely.

The information in these four sections will address the six framework questions as comprehensively and as clearly as is possible. However, readers who are only interested in one of those six questions will find the answers using table 1.

Overview

Mali

Mali is situated between latitudes 10°30 and 25°00, and longitudes 12°00 west and 4°00 east. This landlocked West African country spans 1,240,000 km^2 across Saudi, Sahel and desert zones. The dry season there lasts 6 to 9 months. The short rainy season brings practically all of Mali's rainfall. Its fairly uniform landscape encompasses plateaux and plains, with well-developed dune systems in the north and east. The Niger River winds southwest to northeast across the southern half of Mali.

The Niger River in general, and the Middle Niger River in particular, played a considerable role in West Africa's history. Djenne, one of the cities alongside it, was founded some 2,000 years ago. Under the Mali Empire (13th century), it played a prominent part in trans-Saharan trade between the day's Arabic States and the Mediterranean. Its wealth came from gold, salt and slave trading, and its eminence crested between 1450 and 1650, during the Gao Empire's apogee. The early 16th century, however, saw the gold trade shift to Portuguese bases in the Gulf of Guinea, and the Gao Empire's ensuing downfall. Its capital fell to a Moroccan military campaign

Table 1 – Correspondance table questions/main answers

Questions (frame of reference)	Main answers	Subsidiary information
1 – Large-scale water-allocation patterns (Mali, basin)	– "River-usage characterisation and performance, water requirements and relative impacts" p. 184 to p. 208 – "Tensions and how they are handled today"; p. 249 to p. 256	– "Climatic forcing factors in the Niger river basin" p. 180 to p. 183 – "Threats to nation-wide food security" p. 257 – "Setting up or consolidating management tools" p. 263 to p. 269 – "Third recommendation: a contribution to balanced strategic choices" p. 273 and p. 274
2 – Water management in large irrigation schemes	– "Agriculture" p. 190 to p. 200 – "Soil fertility" p. 214 and p. 215 – "Poor scheme water efficiency" p. 253 to p. 255	– "Plant communities and resources" p. 215 to p. 219 – "Examples of the operations-based approach" p. 232 and p. 233
3 – The ecosystem and how it is evolving	– "The Niger River's ecosystem today and the trends shaping it" p. 208 to p. 224	– "Climatic forcing factors in the Niger river basin" p. 180 to p. 183 – "Setting up or consolidating management tools" p. 263 to p. 269
4 – Risks and hazards	– "Risks associated with hazards" p. 242 to p. 249	– "Climatic forcing factors in the Niger river basin" p. 180 to p. 183
5 – Institutions	– "The institutional framework and existing management instruments" p. 224 to p. 239 – "Institutional issues hampering efficient environmental and natural-resource management" p. 258 to p. 262	– "Second recommendation: push ahead with developments in the institutional framework" p. 272 and p. 273
6 – Information systems	– "Monitoring and circulating information" p. 233 to p. 239 – "Setting up or consolidating management tools" p. 263 and p. 269	– "First recommendation: consolidate scientific knowledge" p. 271 and p. 272

in 1591. The Middle Niger lost its central role on trans-Saharan trade routes, but nonetheless continued to serve as a hub for regional salt, rice, fish and livestock commerce. In the 19th century, before colonisation, the Niger River's inland delta was the base of one last realm, the Peul Empire of Massina (1818-1862). This empire instigated a remarkable form of territorial organisation – and its handed-down traditions still have a strong bearing on livestock farming today. Its traditions indeed laid down the rules for land, water and natural-resource management that people here still refer to today (Gallais, 1967).

The Niger River

The Niger River stretches some 4,200 km from its source in Guinea to its mouth in Nigeria. Its upper and middle reaches cover 1,700 km and cross Mali, heading northeast, east, and then south across the border into Niger. In Mali, its tributary basin spans about 300,000 km^2 (which is 20% of the total basin surface).

The Niger is a tropical river and sees very sharp seasonal and year-to-year flow variations. In Mopti, for example, common flow readings can swing one-hundred-fold from less than 30 m^3/s to more than 3,000 m^3/s. Beyond Mopti – excluding the Yamé, a tributary from the Bandiagara plateau – only a handful of tributaries feed into the Niger until it flows through Niamey. These minor tributaries (the Gorouol, Dargol and Sirba) only have a marginal impact on the Niger's flow (so it is fair to say that the Niger crosses the desert in this area). Not unlike the Nile's stretch across the Eastern Sahara, the Niger loses half its water in this stretch.

The seasonal rain feeding the Niger's upper and middle reaches falls at very regular intervals, but the amount of water it brings can vary considerably from one year to the next. This swell crests in September in Bamako, in October or early November in Mopti, in December in Kabara (Timbuktu) and in late January in Gao. The flooding recedes until December, January or February going downstream. The sharp low-water stage then continues until May, June or July. Downstream regions (Gao in Mali or Niamey in Niger) have seen water levels drop to very low levels. In Niamey, for instance, levels slumped to 20 m^3/s in 1943, 1944, 1945, 1947, 1948 and 1950, and the flow practically dried up in 1975/76 and 1984/85.

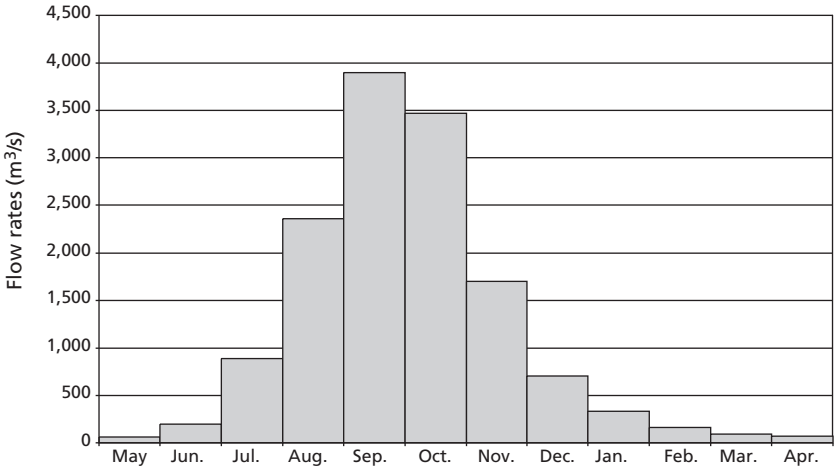


Figure 1

Annual water level cycles at Ké-Massina (Middle Niger, Mali)

The Niger River, it is also important to point out, is Mali's main source of water: its flow can reach 46 billion m^3 a year in Koulikoro, compared to the Senegal River's 10 billion m^3 a year in Kayes.

The Niger River's inland delta

The Niger River's inland delta – still also referred to as the "central delta" or "cuvette lacustre" (lake basin) – is one of Mali's most remarkable hydrographic features. This vast 40,000 km^2 flooding area stands nestled in the semi-arid Sahel, stretching more than 350 km from Ké-Massina (southwest) and Timbuktu (northeast). It is situated between parallels 13 and 17 north and meridians 2°30 and 6°30 west. It hosts a very dense and hierarchical network of distributaries fed by the Niger River and the Bani, a tributary that flows into it near Mopti. Between Ké-Massina and Lake Debo, this inland delta comprises a series of potholes and plains that flood every year (provided the swell is substantial enough). This is one of Africa's wettest areas. After Lake Debo, naturally-occurring dunes haphazardly feed water through a vast web of thoroughfares and into a number of lakes.

Figure 2

Mali (inset), the Niger River and the inland delta (oval)

The weather

Two large subtropical anticyclones govern the seasons: the northeast-southwest Sahara anticyclone produces the hot and dry Harmattan winds, and the Saint Helen anticyclone produces the southwest/northeast warm and very damp monsoon. The hot and dry northerly Harmattan and the damp southerly monsoon meet in the Inter-Tropical Convergence Zone (ITCZ). Its trace on the earth's surface is called the Inter-Tropical Front (ITF), and rain is associated with its passage. The ITF follows a roughly south-north-south pattern through the year. July, August and September find it in the north, December, January and February in the south. The ITF moves north slowly and erratically over a six-month period, but only takes four months to travel back towards the equator.

These atmospheric cycles dictate Mali's climatic year. The dry season lasts nine months in the north and five or six months in the south; the rainy season starts in April and finishes in October in the south of Mali, but only begins in July and ends in September in the north. Rain at the beginning and end of the rainy season is mostly easterly, and linked to particularly important squall lines in the Sahel latitudes. During the dry season, north-easterly winds dry the air and magnify the heat that blankets Mali in April and May.

Total monthly and annual rainfall (over 1,400 mm a year south of Sikasso and under 100 mm a year in Tessalit) decline gradually as latitudes rise. Evapotranspiration (over 1,700 mm a year south of Sikasso and more than 2,500 mm a year in Tessalit) runs in the opposite direction. In all cases, however, rainfall peaks in August.

We usually cut this area into four zones to characterise this climatic gradient, as follows:

■ the Sudano-Guinean zone (south of the line between Bougouni and Sikasso and spanning the Upper Niger and High Bani), where over 1,100 mm of rain fall over seven or eight months a year;

■ the Saudi zone (on and around a line between Bamako, Segu and San), where it rains between 1,100 and 600 mm for less than six months a year;

■ the Sahel zone (north of Mopti and across the Niger's inland delta and oxbow), where it rains between 600 and 100 mm during only three months a year (from mid-June to mid-September);

■ the Sahara or desert zone (north of the line between Timbuktu and Bourem), where it rains less than 100 mm a year. The scant tropical rain falls between June and September. Cold-season rain sometimes falls in January or February.

Synthesis and Recommendations

The situation and how it is evolving

The trends shaping current driving forces and other forcing factors, and the outlook

How Mali's society and its requirements are evolving

This review of Mali's population today, how it is evolving, and how it will probably evolve through 2025, is based on information supplied in the Mali 2025 National Outlook Study (NOS, 2003).

Mali's population, how it is evolving, and how it will probably evolve by 2025

Mali's 9.8 million inhabitants (by 1998 census figures) are spread unevenly. In 1987, 65% of the population lived on 25% of the land (in the south). This worsened in 1998, when only 30% of the territory was home to 91% of the resident population. Mali's average population density grew from 6.2 inhabitants per km^2 in 1987 to 7.9 inhabitants per km^2 in 1998, with sharp contrasts from one region to another. The Timbuktu region, for instance, counts less than 1 inhabitant per km^2. Segu, on the other hand, counted 25.9 inhabitants per km^2 in 1998. Lastly, the rate of natural increase stood at 3.7% between 1976 and 1987, and remained above the 3% mark from 1987 to 1998. This is high: excluding migration, it means that the population is doubling every 24 years. Extensive emigration, however, relieves some of the pressure and puts Mali's population increase in a relatively moderate bracket. The resident population only increased 1.8% a year on average from 1976 to 1987, and 2.3% from 1987 to 1998. The average annual increase over this last period was contrasted: the urban population rose 4.5% but the rural population only 1.2%.

Different scenarios suggest that Mali will count between 16 and 20 million inhabitants in 2025. The rural population should shrink from 73% today to only 51% of the total (i.e. to about 9 million). Bamako should see the sharpest surge (its population should double). Other cities in northern Mali

should see sharp population increases as well. However, in absolute terms, population concentration should be the highest in and around Bamako and Segu-Mopti (which will count 2.9 million and 2.4 million inhabitants respectively). This Bamako-Segu-Mopti triangle, in other words, will be home to three-quarters of Mali's urban population.

How food requirements should evolve through 2025

Malians consume cereal mainly (204 kg per person and per year), along with limited amounts of meat, fish and vegetables. City dwellers consume a little less cereal (180 kg per person and per year) but more meat, fish and vegetables than the average (the population is still predominantly rural).

By 2025, Mali will have to produce between four and five million tonnes of cereal a year to keep up with its growing population. With the exception of cereal ("only" 40% of which will be consumed in cities), urban markets will absorb the biggest share of the fish, meat, fruit and vegetable production in 2025 (55 to 75%, compared to less than half in 1995). Consumption of domestically-produced food in cities is expected to rise 3.5 times faster than that in rural environments over the period from 1995 to 2025.

Cereal, fish, fruit, vegetable and red-meat production, it follows, will have to double – or triple – by 2025. Farming more land will not be enough. Improving yields, it follows, is the key.

Table 2 – Food consumption in Mali (in tonnes)

Staple	1995	2005	2015	2025
Cereal				
– urban	427,486	702,961	1,144,973	1,544,590
– rural	1,621,000	1,858,861	2,166,096	2,399,282
Fruit and vegetable				
– urban	58,633	103,800	169,068	233,637
– rural	51,169	58,676	68,375	75,735
Meat				
– urban	25,625	45,365	73,891	102,111
– rural	32,063	36,767	42,844	47,457
Fish				
– urban	27 459	48,612	79,178	109,418
– rural	60,093	68,911	80,301	88,945

Source: Based on 1988/97 DNSI consumption budget survey

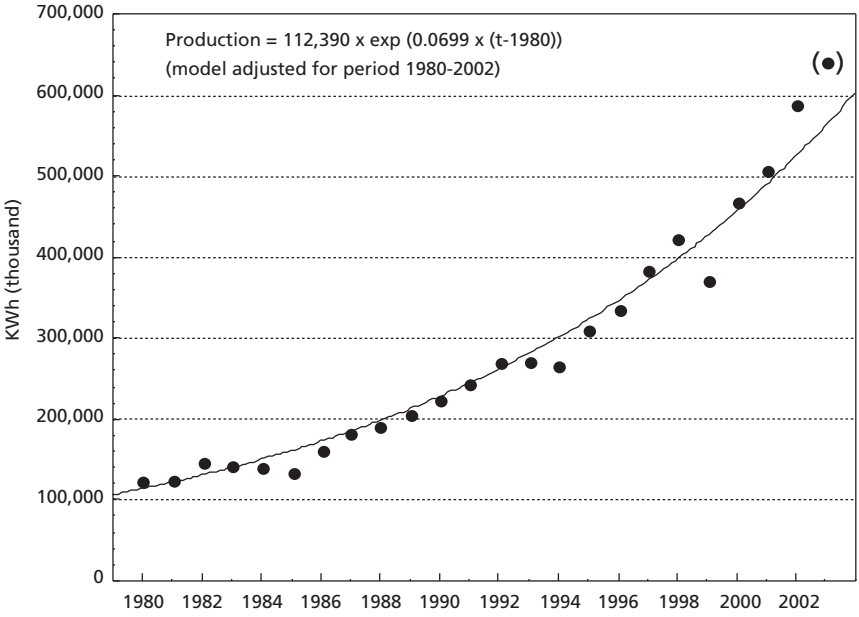
How energy requirements should evolve through 2025

Traditional sources of energy (wood and charcoal, basically) are still predominant (accounting for about 90% of the total). Vehicle fuel and household gas also account for fairly significant portions of Mali's energy consumption.

Electric power – i.e. the source of energy that has a direct relationship with river management – is still relatively marginal, but growing fast. Power production and consumption are evolving pretty much in tandem, making Mali practically self-sufficient in electric power. It neither imported nor exported electricity until 2002. This has since changed: Mali is not exporting power from a balance-of-trade angle, but nonetheless supplying Senegal and Mauritania from Manantali.

The National Outlook Study (NOS, 2003) states that power production grew 4.8 times from 1980 to 2002, i.e. 6.99% a year on average (fig. 3). This growth outruns the overall population increase (1.8% a year) and urban population growth rates (4.5% a year) – as electricity networks only cover cities at this point. But it is important to point out that the network only reached large cities in the 1980s, but has since stretched to encompass a growing number of medium-sized and even small towns (26 towns had electricity in 2002). In other words, the number of consumers is growing faster than the urban population. For example, 66,000 people were using network electricity in 1995 and 102,000 were doing so in 2001. The annual growth rate here, 7.25%, is similar to the increase in power generation.

According to this same study, Mali's urban population should continue to increase at 4.5% a year to 9.15 million people in 2025 (up from 3.2 million in 2002). Plans to hook up every city with more than 20,000 inhabitants and a number of cities counting fewer (93 cities in total) should put the total covered population at 8.4 million inhabitants (44% of the country's total). As a point of comparison, there were 1.75 million inhabitants (i.e. 16.5% of the total population) in the 26 connected cities in 2002. So it makes sense to say that power consumption will grow at the same pace as it has been growing over the past two decades (6.5% to 7% a year) over the two decades to come. This growth rate suggests that effective power consumption will swell fourfold to fivefold, from 0.43 terawatt-hour in 2003 to about 2.00 terawatt-hour in 2025.



Source: NOS, 2003

Figure 3
Increase in Mali's power generation

Climatic forcing factors in the Niger river basin

The climate and its several forms of variability

Hulme (2001) argued that there was no such thing as "normal" average rainfall for the northern Saudi and Sahel areas. What is "normal" here, however, are ample weather swings occurring over several overlapping periods of time. These overlapping variations, however, obscured the forcing factors behind the weather changes and therefore hampered efforts to identify trends and model changes. The term "trend", as an aside, warrants a word of caution: what may look like a trend over a given period of time may, in fact, be part of a longer cycle.

Ward (1998) showed the point of distinguishing climatic oscillations spanning different periods of time (or frequencies). We will be following this approach, dissecting the Sudan-Sahel climate's several components and showing which ones intertwine into what its people can perceive as a "trend" on a ten-year basis.

Variability of the internal structure of the rainy season

Le Barbé and Lebel (1997) found a link between the Sahel's dwindling rainfall over recent decades and a drop in rainfall in the middle of the rainy season (in July and August). The rainy season as such, they argue, has not grown considerably longer or shorter. D'Amato and Lebel (1998) go a step further linking this to a decline in the frequency of cyclone passages during those two mid-season months. Thus, the study of changes in the structure of the rainy season can cast light on the mechanisms underlying monsoon processes and, taken a step further, hint at the factors governing the medium-term and long-term trends in total rainfall figures.

Inter-annual variability of total rainfall

This variability characterises the variations recorded between one year and the next, or between one two-year or three-year period and the next. This variability scale exists but, relatively speaking, is rather less significant than in other parts of Africa. Five-, three- or two-yearly fluctuations only account for 15% to 20% of the total variability. This, generally speaking, means that rainfall figures for one year are roughly like (or at least resemble rather than differ from) those of the previous year. Meteorologists have found this pattern in statistics spanning the last century. But the past decade, conversely, has brought sharp year-on-year oscillations including dry years (1996, 1997, 2000, 2002 and 2004) intertwined with rainy years (1994, 1995, 1998, 1999, 2001, 2003, 2005).

Decade-on-decade variability of total rainfall

Much of the Sudan-Sahel climate's variability is due to these patterns (low-frequency fluctuation). Moron (1997) suggested that quasi-decade-on-decade cycles (spanning 12 to 13 years) would explain a full 12% to 14% of the variability. "Typical" dry or rainy periods, in this light, should last about 5 to 10 years. The two dry decades in a row (1973 to 1993) could fit into this variability pattern even if they were abnormally long.

Multi-decade variability of total rainfall

This category can encompass changes spanning the last century or longer historical periods. There appears to be – certainly since the late 19th century and probably since the 17th century (Hulme, 2001) – a gradual downward slope in rainfall. This downward trend also seems to be affecting the Sahara (which, as an aside, was greener and had more wildlife in

prehistoric days than it has today). However, sharp decade-on-decade variability within this historical trend brings very rainy periods spanning a number of years. The latest ones date back to the middle of the 20th century. The future may bring more such episodes.

Surface conditions seem to amplify the climate fluctuations outlined above, adding a form of inertia to existing rainfall patterns (*positive feedback*). This could explain why decade-on-decade variability predominates over year-on-year variability.

Changes that people have noticed and noted

Colonial records dating back to the early 19th century mention a series of damp and rainy episodes. We know that the first half of the 19th century also saw a very dry patch (probably as dry and as long as the 1973-1993 drought). The early 20th century brought another very dry period. The 1950s and 1960s, conversely, were very rainy and brought some severe flooding (fig. 4).

Today, the notion that the rainfall decline is here to stay is all-too-often considered an indisputable fact and pegged to the notion of desertification. However, desertification is more a case of soil erosion than of the desert sprawl.

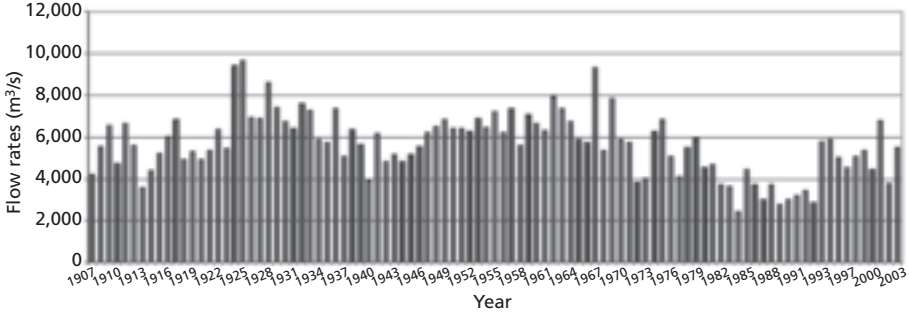


Figure 4

The Niger River's maximum flow rates in Koulikoro

The flow peaks in Koulikoro illustrate the different variability scales in the Sudan-Sahel (year-on-year and decade-on-decade patterns, mainly), even if a dam was built in Selingue in 1982.

Global warming – another noteworthy parameter, naturally – seems to be hitting West Africa in pretty much the same way as it has been affecting the rest of the world since the early 20th century. How it might reshape the rainy seasons is not yet clear.

The forecasts and outlook

As opposed to other parts of the world (the south of Africa, for instance), the latest climate-change models from research on *global change* do not provide stable, unequivocal forecasts for the Sudan-Sahel region through 2100. So it is fair to say that it is impossible to establish long-term climate forecasts in this region. There are, however, models containing scenarios for the coming century as concerns ground temperature, providing very wide rainfall-forecast brackets (- 20% to + 40%). So scientists only agree on the fact that temperatures will rise and that rainfall is unpredictable. We will therefore have to look at more than one long-term scenario.

However, medium-term rainfall forecasts through 2040 provide fairly consistent results – and provide reasons to hope that the normal figures and indeed slight excess which has predominated since 1994 might stretch on until then (fig. 5).

Source: McCarthy *et al.*, 2001

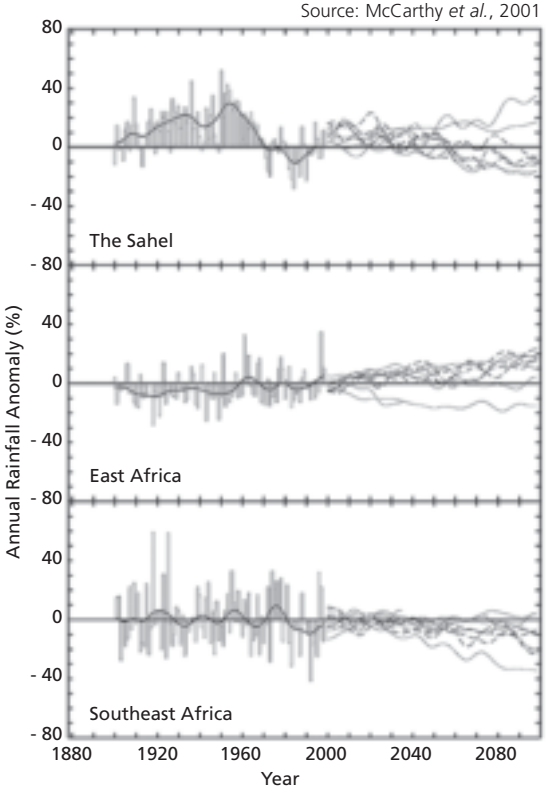


Figure 5

Observed and simulated rainwater anomalies (variation %)

River-usage characterisation and performance, water requirements and relative impacts

Large hydraulic schemes

Compared to other large rivers around the world, it is fair to say that the Niger is still fairly untapped. This is especially true in the case of its upper and middle reaches. There are only three dams between the springs and Niamey: Selingue, Sotuba and Markala (in that order, downstream). They are all in Mali but vary somewhat in size.

Selingue

Selingue is on the Sankarani, one of the Niger River's tributaries, about 60 km from the junction, 150 km upstream of Bamako. It has regulated the Niger River's flow to some extent since 1982.

It is an earth dam. Its two sections measure 600 m in total and nestle the eight 13 x 5 m^2 overflow flaps that make up the weir and the central 14 x 11 m^2 valve. This weir is designed to discharge a one-in-a-thousand-year flood, estimated at 3,500 m^3/s. Four 11.9-MW Kaplan turbines in the power station generate electricity. An irrigation valve diverts water to the 1,500 ha for people displaced by the dam (Selingue, however, only deflects very small quantities of water for irrigation).

The impoundment area spans two river valleys (65 km long each). When the impoundment lake is full (i.e. when it reaches the 348.5-metre mark in late September every year), it holds 2.63 billion m^3 of water and covers 430 km^2.

Selingue dam remains full for a few weeks between late July and 20 September, thanks to the natural annual flood. Then it starts releasing water and feeding its turbines to generate electricity and regulate the flow downstream. This lasts from January to June. The impoundment lake is practically empty (below 10% of full capacity) in early July. So, from an annual perspective, this dam's impact on downstream flow is simple to describe: it regulates water levels, smoothing swells and compensating lulls. Selingue is indeed the only dam that can do the latter, supplying water to the *Office du Niger* scheme at the end of the dry season and supplying Niamey (which is nonetheless 1,500 km downstream).

Administrators are intent on this dam's lull-counterbalancing role. In particular, they have specified the need to keep the minimum level at 60 cm in Koulikoro and to guarantee a 40 m^3/s flow downstream from Markala.

How filling the impoundment affects the Sankarani River's flow (and hence the Niger's flow downstream), conversely, has received little attention. Estimates suggest that Selingue diverts about 400 m^3/s from the flow peak (which would otherwise feed into the Niger). Filling about 2 billion m^3 in eight weeks involves diverting about 413 m^3/s on average during that period of time. It is also worth pointing out that this filling (diverting) phase lasts throughout the Sankarani's natural swell (peak included), as it stretches on to 20 September.

Sotuba

Sotuba is on the Niger River, near Bamako. This run-of-river dam produces electricity for Mali's capital, and diverts a scant 0.22 km^3 a year to irrigate Baguineda, a small farming area (which has a negligible impact on river's flow downstream).

Markala

This run-of-river dam stands some 250 km down the Niger from Bamako, and has been operating since 1947. Its 1,813-metre-long wall and 816-metre-long dam housing multiple-position collapsible spillway gates hold a lake during low-water periods and disappears completely during medium- and high-water periods. Its diversion valve feeds a lake that irrigates nearby *Office du Niger* schemes by gravity.

The channels emerging left of the pond comprise the feeder channel (designed to carry 200 m^3/s) which splits into the Sahel canal, Massina canal and Costes-Ongoïba canal. These canals feed 77,200 ha of *Office du Niger* full-water-control land growing rice and market produce, 3,000 ha of controlled-submersion *Office Riz Ségou* land growing rice and 5 000 ha growing sugar cane in the Sukala agro-industrial area.

Markala diverts about 2.6 billion m^3 a year into *Office du Niger* schemes. In absolute terms, this is not much (the Niger carries about 46 billion m^3 of water a year through this area). But it is about 50% to 80% of the river's water during the low-water stage. Markala also diverts a fairly substantial 150 m^3/s during the swell (returning practically none of it to the river).

The top-priority goal for agencies administrating river resources is to keep the lake's level at 300.10 m during the low-water stage and at 300.54 m during the high-water stage, in order to feed the *Office du Niger* scheme's areas by gravity. This dam also has to keep the downstream flow at or above given levels during the low-water stage, but can only do so with Selingue help.

In practice, the Markala dam's flow is governed upstream. Administrators process information about incoming flow, on-site diversion and outgoing flow for users downstream.

Existing dams and how they impact water flow

The total amount of water that each of these three dams diverts in a year (table 3) provides the first indication of their impact.

However, these annual diversion figures do not show how these dams alter flows downstream. Selingue, for instance, diverts very little water in absolute terms, but has a sizeable impact on the river's flow downstream insofar as it deflects a large amount of water at given point in time, holds it for a few months, and then releases it. So a more comprehensive table is warranted (table 4).

To sum up, the fact that the first two dams (Selingue and Markala) divert water during the high-water stage explains some (500 to 550 m^3/s) of the downstream lull. This diversion has a much smaller impact on the swell's "tail" (late September up the Niger and late October in Mopti) as Selingue is already full. In any case, the negative effect on high-water levels downstream (in Mopti, for example) and on the extent and duration of the Niger's inland-delta floods is by no means negligible[1] even if it has never been

Table 3 – Diversions by Dams on the Niger River's upper and middle tributary basin

Name	River	Effective diversion	Nominal capacity
Selingue	Sankarani	0.023 km^3/year	0.1 km^3/year
Sotuba	Niger	0.21 km^3/year	0.22 km^3/year
Markala	Niger	2.6 km^3/year	5.7 km^3/year

[1] Maximum high-water flow rates in Ké-Massina (downstream from Markala, at the entrance of the delta) are in a 3,000 to 5,000 m^3/s bracket, meaning a 500 or 550 m^3/s change would be tantamount to a substantial 10% to 18% of the flow.

Table 4 – The impact of these two large dams on downstream flow rates during high-water and low-water stages

	High water		Low water	
	Type of requirement and usage	Effect on downstream availability	Type of requirement and usage	Effect on downstream availability
Selingue	Storage	Negative, fairly considerable (- 400 m^3/s)	Release (power generation)	Substantially positive, given flow rates during this season (+ 70 à + 120 m^3/s)
Markala	Diversion (for irrigation)	Negative, but not considerable given flow figures during the season (- 125 m^3/s)	Diversion (irrigation)	Considerably negative, given flow rates during this season (- 70 m^3/s)

precisely quantified (doing so, as an aside, would be difficult, as the water stretches across the delta and intermingles with water from the Bani which is not affected, as yet, by the dams).

During the low-water stage (February-June), the backup release from Selingue does a little more than compensate the water that Markala diverts at that time. There is no doubt that flow rates rise in every area downstream from Selingue, but the areas between Selingue and Markala (Bamako, Koulikoro, Segu, etc.) enjoy the bulk of the benefits. Diversion at Markala has a very severe impact on the flow beyond it.

Plans

Taoussa

Plans here involve building a dam with a micro power station between Timbuktu and Gao to generate electricity and to develop farming around the Niger's oxbow. The lake should hold 6 billion m^3, making Taoussa Mali's biggest project. It will stand on PK1 436, its bed will be 249.95 m deep, and the lake will fill up to 258.75 m. The impoundment would be about 140 km long and stretch nearly as far as Korioumé (Timbuktu's port) upstream.

This dam is expected to reshape the annual swelling from the rainy season higher up the basin. When it gets this far north (in December), the swell has already been through the delta and lost some of its strength. It will be even weaker downstream, as some of the water will feed into the lake. So the annual cold-season floods in Gao (January-February) would probably dwindle and disappear. However, this dam would guarantee a 100 m^3/s flow rate in Niamey through the dry season, and should irrigate 70,000 to 80,000 ha in Mali.

Furthermore, a simulation using the Niger River's mathematical model (Carima) shows that this dam will slow the flow upstream by levelling the slope (once the lake fills to certain level). This, in essence, would lengthen the high-water season – at least north of the delta and downstream from Lake Debo.

Whether authorities will allow this lake to empty almost completely once a year (as Selingue) or whether they will choose to keep water levels more or less high is not yet clear. The latter would keep the delta flooded for longer.

Talo

This plan involves building a threshold dam on the Bani River, by Talo, to irrigate some 24,000 ha and thereby develop farming. There are no plans for power generation. In Talo, the Bani splits into two canals creating an island. A spillway will close the shallower (north-side) canal (the minimum bed level is 270.50 m) and an embankment will close the deeper (south-side) canal (minimum bed level is beneath 268.00 m).

Simulations show that water would spill at the 277-metre mark. Upstream, water would spill over the left and right banks in two places, flooding a total of 150 km^2. Precisely what areas would flood, however, was not clear (the topographical information used for this simulation lacked accuracy). Downstream effects were run through a simulator as well: building a dam in Talo would delay the Bani's downstream swell by a week, especially in Djenné but should not have a measurable impact on the peaks in Djenné, Mopti or across the delta. This comes as no surprise (this dam is a spillway and fairly small). It should, however, slightly compensate the lull in March and April.

Djenné

This project can be regarded as Talo's rival. The goal, here, is to flood 85,000 ha of plains (the Pondori, which the river's swell does not reach during poor years) and to generate enough electricity for the neighbouring city. This dam should be small, not unlike Talo, and, similarly, have little if any impact on the rest of the inland delta.

There are plans for another small run-of-water dam in Kénié, between Bamako and Koulikoro. This dam should have no effect on downstream flow rates.

Fomi, lastly, is in the upper basin in Guinea. When it is built, this dam will most probably be used to generate electricity (like Selingue). The impoundment lake will probably hold 6 billion m^3 of water, meaning it will probably have a substantial impact on the river's flow rate, and play an even more important role smoothening high-water and low-water flow variations (which, no doubt, will have palpable consequences on flooding in the Niger's inland delta).

Hydroelectric power generation

According to a 2004 IEPF study, annual production in 2002-2003 stood at 0.46 terawatt-hour. More than half of that production (56% or 0.262 TWh) came from Selingue (0.18 TWh) and Sotuba (0.04 TWh), on the Niger River. Manantali, a new dam that was starting up in the Senegal River basin at that time, provided backup. When it reaches full capacity, Manantali will be generating 0.41 TWh (at least for Mali; the rest of will go to Senegal and Mauritania). Combined, in other words, these three hydroelectric dams should be generating 0.63 TWh in the near future. Thermal power plants, on their part, were producing 0.20 TWh in 2002-2003 but fresh investment should enable them to generate 0.30 TWh in the near future. Mali's present capacity, in other words, stands at (or beyond) 0.9 TWh. This covers its needs today.

But demand is growing fast and capacity could fall behind in a few years' time – as early as 2007, some say (cf. "How Mali's society and its requirements are evolving" p. 177). New investment – to at least double capacity by 2025 – will therefore be necessary.

Hydroelectric power plants will certainly cover some of this capacity. Thermal and renewable sources of energy will also play a role. But exactly how much each source will contribute is not clear yet.

Agriculture

General productivity

Cotton is Mali's second foreign-currency earner after gold (612,000 t a year in 2003/2004). Much of it grows in the Niger River's basin, south of a line between Bamako, Segu and San. This area is referred to as CMDT and spans the Bani, Baoulé and Sankarani tributary basins. Farming, to some extent, can be described as intensive, and fertilisers and pesticides are commonplace. In Mali, cotton is a rain-fed crop.

Mali's cereal production has risen from 1,032,000 t a year (the 1961-1966 average) to about 2,707,000 t a year (the 1998-2003 average). Production stagnated for a time, but has been growing a healthy 5% a year – comfortably ahead of the population since the 1980s. Outside bad-weather years (such as 2004), Mali can typically cover more than 100% of its food requirements.

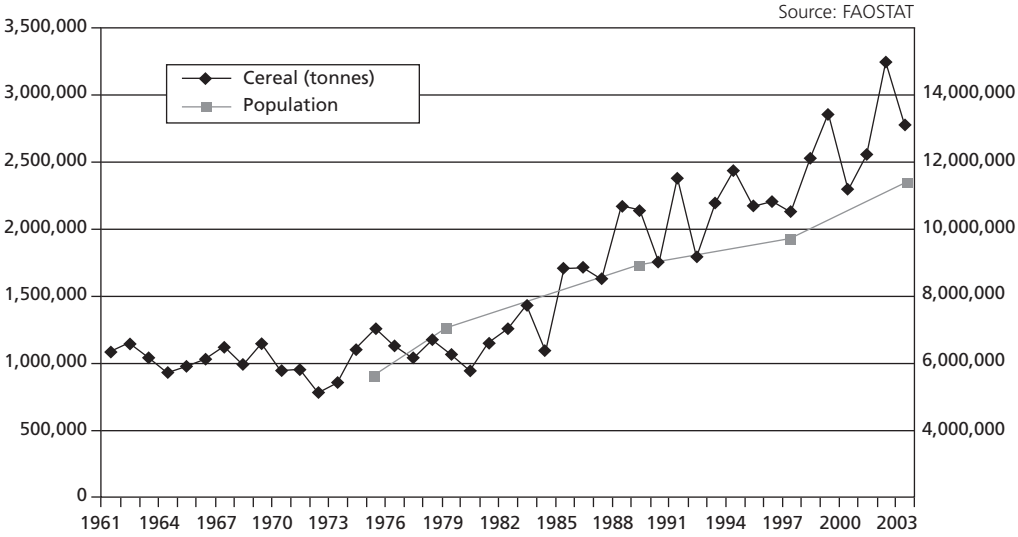


Figure 6

How Mali's cereal production and population have evolved since 1961

In spite of sharp year-on-year fluctuation, production has, by and large, grown faster than requirement.

Cereal production originally increased in step with the amount of land used to farm it, which has stretched from 1,384,000 ha (the 1961-1966 average) to 2,636,000 ha (the 1998-2003 average). Early attempts at intensive farming subsequently increased yields somewhat. Corn yields rose 49% and rice yields 100%. Millet and sorghum yields, conversely, did not increase markedly.

Rice production was subsidiary until the early 1980s, but has since grown to rank alongside millet as Mali's leading crop. Most of that rice is grown by the Niger or tributary rivers. A growing portion of the food grown in Mali, it arguably follows, comes from the Niger River.

Table 5 – Cereal production, farmland area and yields in Mali (1961-2003)

	1961-1966 average	1998-2003 average	Growth (1961-1966 = 100)
Area (ha)			
Corn	109,258	303,653	278
Millet	662,333	1,142,516	172
Rice (paddy)	168,333	395,948	235
Sorghum	447,333	795,038	178
Yield (kg/ha)			
Corn	832	1,243	149
Millet	665	752	113
Rice (paddy)	1,052	2,106	200
Sorghum	727	842	116
Production (t)			
Corn	90,460	369,560	409
Millet	442,200	838,896	190
Rice (paddy)	171,960	828,863	482
Sorghum	327,000	661,999	202
Total production (t)	**1,031,620**	**2,706,914**	**262**

Source: FAOSTAT

Rice has become more prominent for two reasons: because rice-farming areas has been growing regularly since the early 1980s, and because average yields have grown concomitantly (from 1 t to 2 t/ha). Rice production idled below 200,000 t a year for a fairly long time, but now invariably reaches at least 700,000 t a year (and peaked at a record-breaking 900,000 t in 2001).

Table 6 – How Mali's rice production has evolved since 1961					
	1961	**1971**	**1981**	**1991**	**2001**
Planted area (ha)	182,000	169,400	115,593	263,019	465,898
Yield (kg/ha)	1,016	925	1,165	1,727	2,002
Production (t)	185,000	156,800	134,755	454,349	932,588

Rice consumption is higher in cities than in the country, and will plausibly grow in years to come – all the more so as yields still offer considerable room for improvement (the most productive systems produce six tonnes or more per hectare, the least productive ones less than one tonne per hectare).

Mali counts three distinct rice-growing systems. Their relative share in total output and the amount of land they use vary considerably. These systems follow:

- river-fed and rain-fed systems are specific to the river valley and, especially, to the inland delta;
- controlled submersion;
- full water control (the only ones that can be described as irrigated).

Yield is best analysed separately.

Traditional river-fed and rain-fed rice growing (unsupported)

This ancient system does not involve any hydraulic infrastructure. It involves using local varieties of "floating rice" that can handle water levels of up to three metres. Farmers choose a location for their paddy according to where they believe the water levels will rise during the high-water season (based on their experience). They may also move their paddies from one year to the next. They plough in February or March (after the harvest), or in May or June (just before the rain returns). They scatter the seeds, rainfall triggers the growth process, and then the floods take over. Floating-rice varieties derived from *Oryza Glaberrima* can survive in three-metre-deep water, provided the level does not rise more than five centimetres a day. Farmers then harvest the rice in the water between late October and December (depending on the variety they farm). This rice-growing method is very common in the inland delta. It spanned about 160,000 ha in the late 1980s (according

to the 1988 PIRL project report), and probably spans between 180,000 and 200,000 ha today. Yields are very poor (less than 900 kg/ha on average) and have not changed since the 1950's. They are also erratic: flooding can be inadequate, and rainfall insufficient or untimely (late rainfall will not allow the rice to grow enough before the flood). Plantation mobility is another of this system's hallmarks.

During good years, as many as 10,000 t of rice can be sold outside the delta (Kuper and Maiga, 2002). Bad years bring rice shortages.

We can look at this system in terms of "usable farmland" (how much land has enough water for rice to grow properly). Table 7 shows that usable farmland can indeed vary considerably from one year to the next. In 1994, for instance, three-quarters of the delta were suitable for floating-rice plantations. In 1972, conversely, only a fraction was viable (Marie, 2000).

Table 7 – Usable farmland, traditional rice plantations, 1972, 1978 and 1994

	1972 (poor flooding)	1978 (average flooding)	1994 (good flooding)
Usable farmland	332,000	831,000	1,342,000

These sharp variations explain why paddies move about so much. Yield, however, is still unpredictable. Paddies would shift about 10 km in the 1950s (Gallais, 1967), but started moving much further in the 1980s, when flooding became much more erratic. Farmers have left the Niger/Diaka plains and flocked to lower areas (Kootya, in the middle of the delta, for instance). Healthy flooding in 1994, conversely, covered the Kootya area's hamlets attracting farmers back and triggering new rice-paddy migration.

Irrigated farms (scheme-supported)

Here, farmers can count on irrigation systems diverting surface water into their farms. A wide variety of systems, ranging from controlled submersion to full water control, fall into this category. The Niger's tributary basin in Mali counts about 250,000 ha of irrigable land, including some 100,000 ha with full-water-control schemes.

Mali has ranked water control high on its list of strategic priorities, both to meet its population's needs and in the interest of sustainable development. Accordingly, it has been working on an irrigation-development plan to tap existing potential (MDRE, 1999). Doing so will involve building hydro-agricultural infrastructure to flood an additional 50,000 ha of full-water-control land and 14,000 ha of land on shallow-flooding, submersion and other systems, by 2007. The longer-term goal is to extend the *Office du Niger*'s total irrigated area by 120,000 ha, to 200,000 ha, in the next 20 years.

Schemes using river water for irrigation fall into one of the following categories.

Controlled submersion

Accounts for 60% of the surface prepared for rice plantations. The schemes are publicly-funded and run by relatively autonomous government agencies. The two most important ones are:

- Office Riz Mopti (ORM): 34,000 ha;
- Office Riz Ségou (ORS): 34,676 ha.

These schemes involve building small walls and inlets at specific levels to govern submersion. This in effect, curbs some of the risk associated with rainfall: in theory, farmers can plant their rice later on in the year and make sure the seedlings are out of the ground before the flooding begins (and authorities controlling the dam can delay the flooding if and as required). But most of these systems were designed in the late 1960s, when the Niger brought healthy and relatively regular swells (the average maximum level in Mopti between 1960 and 1969 was 693 cm). Today, however, these dams are too high up and therefore ineffectual when flooding is inadequate – which, alas, is often the case today (the average maximum level in Mopti between 1980 and 1989 was 539 cm). Average yields are very poor (often less than one tonne per hectare) and only a fraction of sown areas are actually harvested. In ORM plots, for instance, the ratio between harvested and sown areas stands below 0.33 when high-water levels fail to reach the 550 cm mark, and does not reach 0.75 when high-water levels rise above 620 cm. During very bad years (1984), there can be no harvest at all.

This system is inadequate due to swell variability and uncertainty. In most cases, it can not guarantee production or earn farmers a decent income. It is inflexible, as well: rain- and river-fed systems may be less productive but can, at least, move to where conditions seem most propitious.

The ponds have been arranged slightly differently around Timbuktu and Gao (the *Action Riz Sorgho* project). The goal, there, was to build small structures to slow receding water and thereby keep the paddies flooded for longer.

Gravity-governed full water control

These schemes use upstream impoundment lakes with guaranteed water which release water by gravity. The *Office du Niger*'s "large-scale" schemes (spanning 83,000 ha, including 5,000 for sugar cane), Baguineda (3,000 ha) and Selingue (1,000 ha) are three examples. They are all linked to dams (cf. "Large hydraulic schemes" p. 184).

Water management, here, involves building a network of canals (of earth, usually) to route water from the lake to the farms, crisscross it around the plots, and then allow it to flow downstream into the drainage network.

This rice-growing system ranks third in terms of farmland size (it covers slightly less than 100,000 ha across Mali). But it produces nearly 80% of this country's rice in an average year (different authors put yields between 4.5 and 6.0 t/ha). These areas have also attracted sizeable populations (farmers and their families, mostly). The extended *Office du Niger* area (i.e. all the land under *Office du Niger* management) spans 28,174 km^2. Its eight hydraulic schemes span 19,074 km^2 and were home to some 321,069 people in 1998, putting their average population density at 16.83 inhabitants per km^2 (Sogreah, BCEOM-Betico, 1999).

These schemes, in other words, are efficient. But running them can entail a number of problems and they have a number of sensitive aspects. Monitoring and servicing heavy-duty hydraulic equipment is one issue. Administrating the land and cost distribution (water costs, in particular) among the parties is another sensitive area. Protecting the soil's fertility and, more generally, preserving the environment, is yet another concern. Public agencies in charge of these large areas are working hard to fine-tune and implement sustainable policies in line with central-government guidelines. Doing so, however, entails hiring qualified staff and experts – which, of course, carry a cost as well.

Another issue, from an ecological standpoint, is that most of the water that this large system diverts from the river is never replaced.

Source: Kuper *et al.*, 2002

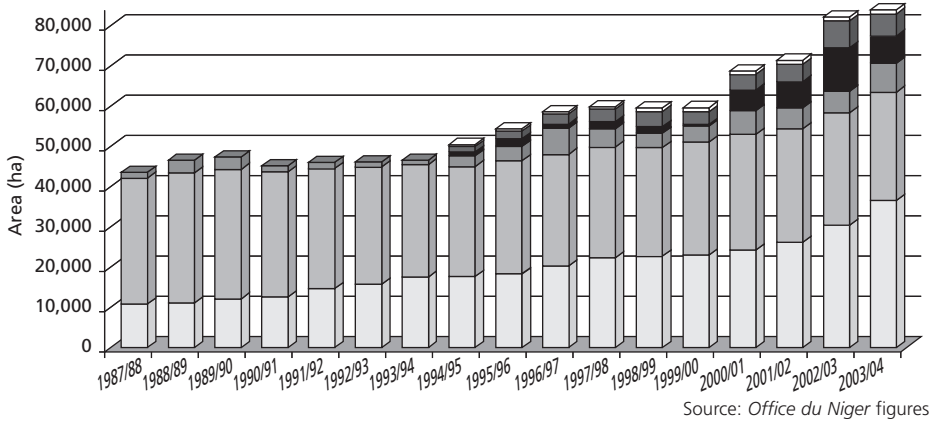
Table 8 – The Niger River's supply at Koulikoro and water diversion in gravity-governed total-water-management systems

		Water quantity (in million m^3) and, in brackets, instantaneous flow rates (in m^3/s) Monthly average for 1989/97												Annual (million m^3)
		Jan.	**Feb.**	**Mar.**	**Apr.**	**May**	**June**	**Jul.**	**Aug.**	**Sep.**	**Oct.**	**Nov.**	**Dec.**	
	Niger River supply at Koulikoro	568 (219.1)	380 (146.6)	339 (130.8)	368 (142.0)	444 (171.3)	745 (287.4)	1,759 (678.6)	4,455 (1,718.5)	8,571 (3,306.0)	7,794 (3,006.9)	3,483 (1,343.7)	1,311 (505.8)	30,217
Diversion	Selingue	2.2 (0.85)	3.9 (1.50)	5.0 (1.93)	5.1 (1.97)	2.8 (1.08)	0.5 (0.19)	0.7 (0.27)	1.7 (0.66)	2.9 (1.12)	4.4 (1.68)	2.8 (1.08)	1.5 (0.58)	33.5
	Baguinéda	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	216.0
	Office du Niger	151.0 (58.3)	151.0 (58.3)	167.0 (64.4)	166.0 (64.0)	200.0 (77.2)	218.0 (84.1)	219.0 (84.5)	235.0 (90.7)	321v0 (123.9)	321.0 (123.9)	254.0 (98.0)	160.0 (61.7)	2,563.0
	Total	171.2	172.9	190.0	189.1	220.8	236.5	237.7	254.7	331.9	343.4	274.8	179.5	2,812.5
	Diversion rate (%)	**30.1**	**45.5**	**56.0**	**51.4**	**49.7**	**31.7**	**13.5**	**5.7**	**3.9**	**4.4**	**7.9**	**13.7**	**9.31**

These large systems, in other words, divert considerable amounts of water (table 8), and therefore have a negative impact on downstream water availability during both seasons: during low-water stages they divert more than 50% of the river's waters (and as much as 80% at peak times), during high-water stages they divert water into gravity-governed schemes and into Selingue's impoundment lake concurrently.

How much water is diverted into large gravity-governed systems (the *Office du Niger*'s schemes, mainly) of course hinges on the size of the area in question. But it also hinges on the system's efficiency (i.e. its ability to divert no more water than the irrigated areas need). These irrigation systems, however, appear to waste water at present (cf. "Poor scheme water efficiency" p. 253).

We can also measure efficiency in terms of how many kilograms of rice are produced with a given amount of diverted water. In the case of the *Office du Niger*, one cubic metre of water produces about 0.13 kg of rice (320.10^6 kg divided by $2{,}500.10^6$ m^3). This, of course, is after deducting the water that goes to sugar-cane plantations and non-farming uses (drinking water for livestock, etc.). This is also mediocre: the "norm" in Asia, for example, is at least 0.2 kg of rice per cubic metre of water.



Source: *Office du Niger* figures

Figure 7

Size of *Office du Niger* areas by scheme type, crop and season

Poor water efficiency seems to be the weakness affecting gravity-governed schemes such as those run by the *Office du Niger*. It is also true that scant pressure on water resources in recent years did little to promote efficiency.

Higher efficiency, however, is one of the key issues in efforts to develop these schemes and to improve overall river-water management. It is worth pointing out that large gravity-irrigated schemes are expanding at a steady pace and should continue to do so in years to come (fig. 7).

This chart shows a sharp increase in total surface, and in out-of season plantations (hot-season rice and vegetables).

Pump-assisted total-water-management irrigation

Pump-assisted irrigation started developing here in the early 1980s, when rainfall and swells started dwindling. The main schemes on the Niger River[2] are in Mopti, Gao and Timbuktu. These schemes are generally small, and run by private concerns or village communities, i.e. "Village Irrigation Areas", often backed by NGO-sponsored "projects".

The inland delta counted 154 of these operations, spanning a total 1,400 ha, in 1998 (Ducrot *et al.*, 2002). In these schemes, a motor pump feeds a stilling pool and water then spreads across the plantations by gravity. The results are usually good or very good: yields generally exceed 6 t/ha, and can be as high as 9 t out of season (in the dry season). The problem, here, is that building these schemes entails considerable investment and that they will only prove cost-effective if the area they cover is large enough. Experience, especially in the Senegal valley, has shown that these schemes are not cost-efficient in small operations. Operating costs (high pump-fuel costs, especially), community management, and heavy maintenance requirements can cause a number of problems, and indeed lead users to abandon the entire scheme or at least part of it after using it for a longer or shorter period of time.

Low-water and off-season farming on the river banks

These schemes are especially developed in the north of the Niger River's delta and oxbow, and in the lake region. There are seventeen large lakes, mainly on the right bank. The shores of these lakes, and the shores of a large complex of permanent and semi-permanent ponds, are used to grow

[2] This system is also in use in Kayes, in small areas feeding off the Senegal River.

Table 9 – Different crops feeding off the river, their requirements, and their impact on the flow

	High water		Low water	
	Requirements and use	Effect on downstream availability	Requirements and use	Effect on downstream availability
Floating rice (traditional + controlled submersion)	Depth and expanse, volume consumption	Negative, but very low	None (off-season)	None
Rice, large gravity-irrigated areas	Diversion for volume consumption	Negative, not very considerable, but a notch above negligible	Diversion for volume consumption	Negative, considerable
Rice, pump-assisted	Diversion for volume consumption	Negative, (but negligible)	Diversion for volume consumption	Negative, fairly low, but not negligible
Receding-flood crops, off-season market gardening	Depth for watered surfaces	None	Diversion for volume consumption (low)	Negative, (but negligible)

sorghum or tubers and vegetables (potatoes, tomatoes, etc.) as soon as the swell starts receding in late January or in February. These receding-flood crops are vital for people living in these Sahel or desert areas, who can no longer count on rain-fed crops for subsistence. The size of the tillable area, here, is linked to the area covered by the flood, and therefore linked to swell levels. The potential, however, seems largely untapped.

Agricultural pollution in the river

Intensive farming in Mali may not be as commonplace as in northern countries, but efforts to increase yields nonetheless entail using more fertilisers, pesticides and machinery. Malians are farming more land, as well. Combined, these factors are accelerating soil erosion and allowing more of

the soil's elements to seep into the river. Intensive farming is gaining ground in the cotton plantations on the Niger River's basin, so pollution from chemical fertilisers and pesticides is likely to follow and intensify. Intensive farming methods are also moving into irrigated areas, and likewise bringing fertilisers and pesticides (but in very small quantities as yet). Growing farming areas, escalating intensive farming and developing agricultural-industrial complexes will heighten the risk of pollution, spelling the need to monitor water pollution now.

Fishing

A small portion of Mali's fish production comes from the Senegal river basin (from the Manantali dam lake). The bulk of it comes from the Niger River basin. As do the production swings, which can range from 55,000 t one year to 140,000 t the next (fresh weight equivalent) (fig. 8). The bulk of the Niger River basin's production, in turn, is fairly concentrated: about 80% of it (40,000 to 120,000 t a year) comes from the Niger River's inland delta (broadly, from Ké-Massina to Diré, encompassing the lakes). The rest comes from the Selingue's impoundment lake (4,000 t a year), from the Niger River upstream of Massina, from the Niger River's oxbow between Diré and Gao, and from the southern tributaries (Baoulé).

This healthy production makes Mali practically self-sufficient in fish, at least when it has average or generous high-water stages (which put production in excess of 100,000 t). Small amounts of frozen sea fish are imported and consumed in the capital, and some fresh and smoked fish is exported to Burkina Faso and Côte d'Ivoire.

It is not easy to tell how many fishers there are in Mali for two reasons. First of all, it is not easy to tell what exactly defines a fisher, and secondly statistical coverage is inadequate. We can nonetheless borrow international FAO terminology to establish what exactly defines a fisher. Some people fish sporadically, but are primarily farmers. They can be referred to as occasional fishers and come from a wide variety of ethnic backgrounds. Other people split their time more or less evenly between fishing and farming. They generally belong to large families. The several family members involved in fishing and farming usually split the work from December-January until May-July: some of the men stay in the village to harvest the fields, rest and then tend the rice

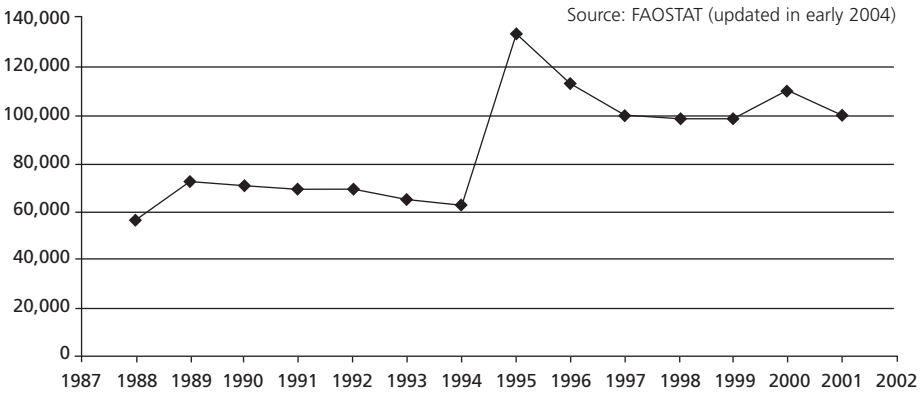


Figure 8
Fresh fish landing (in tonnes)

Recent changes in Mali's fish production as reported by national agencies to FAOSTAT. The bulk of production (over 95%) comes from the Niger River basin.

paddies; the others leave the village and fish intensively until the rainy season leads them back to the village where they spend the rest of the year working the fields with their relatives. These people are referred to as part-time fishers. Some people and households live exclusively from fishing, and often migrate to wherever fish is most abundant. These people are referred to full-time fishers. In Mali, part-time and full-time fishers are generally *bozo* or *somono* (Fay, 1989; Bauman *et al.,* 1994).

Large-scale surveys in the late 1980s narrowed the number of "real fishers" (part-time and full-time) down to around 30,000 in the delta alone. This suggests that about 60,000 men fish (Morand *et al.*, 1991). Those figures, no doubt, have grown since. And they do not include fishers from other parts of the Niger River basin elsewhere in Mali. Including them all, there are plausibly at least 80,000 fishers today.

But there are also people working in other areas of the fishing industry: there are fillet merchants, fish merchants, fish processors and jetty hands (box carriers, packers, etc.).

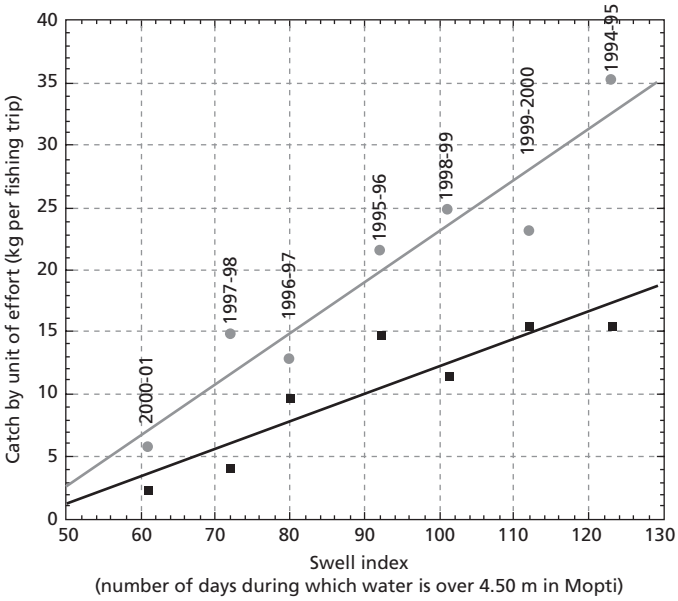
So, if we consider all these categories and accept the admittedly minimalist notion that every fisher (strictly speaking) generates one job on land,

we can say that fishing provides work for 160,000 people. Then, if we factor the accepted notion that rural West Africa counts two people who are not engaged in professional work for every person who is (Hugon, 1998), we can say that about 500,000 people (children and elderly included) live off fishing (i.e. fishing accounts for all or for a sizeable portion of their livelihood). This estimate may be rough, but it nevertheless points to the fact that fishing plays an important role even if it only contributed a scant 4.2% of Mali's GDP in 1995 (Breuil *et al.*, 1996).

Fishing campaigns last eight to nine months, in all this river's areas. Intensive fishing begins when the floods recede in November or December (depending on the area). They last through the low-water stage and end with the following swell in late June or early August (again, depending on the area). As fishing is intensive, catch sizes decrease as the campaigns move on. Estimates suggest that a full three-quarters of the river's fish biomass in early December is gone by the end of the campaign (Kodio *et al.*, 2002). Then, however, the high-water stage gives the fish population time to grow back to its original biomass between July and November. Biomass reconstruction, in this case, is complete – at least if the high-water stage is good. The catch one year has never been seen to hamper the catch the next.

Outside Selingue lake, where it is remarkably stable, fish production across the Niger River valley in general – and in the delta in particular – can vary considerably from one year to the next. Fish production is closely correlated with swell levels and with how long the flooding lasts (fig. 9). This is because the fish that hatch at the beginning of the high-water stage (in July) grow up in the flooded plains through November (Bénech and Dansoko, 1994; Niaré, 1994). They are then caught when the flood starts receding and the next fishing campaign begins.

Fish production can also be measured in relation to a producing area's size. In the inland delta, for instance, the flooded area spans 7,000 to 20,000 km^2 (depending on the year) and produces 40,000 to 120,000 t of fish (depending on the year and on flooding, Laë, 1992b). So, in this case, one flooded hectare produces 60 kg of fish on average. This is within the generally accepted bracket for this type of environment (40 to 100 kg/ha, Welcomme, 1989). Intensive campaigns in particularly productive spots on the delta, however, can produce as much as 100 kg/ha or more.



Source: Morand and Kodio, 2004, based on *Observatoire de la pêche* figures

Figure 9

Median catch per unit of effort (per fishing trip, in this case) against a swell index (how many days the water level stays above the 4.50-m mark in Mopti)

The round dots and top line show figures for the first half of the fishing campaign (December to mid-March); the squares and the bottom line show figures for the rest of the campaign (mid-March to June). The numbers denote years.

Village fish farming still has considerable potential, but in other areas (outside the large-scale commercial fishing areas) and with other population groups (more farming-oriented populations, especially) (Niaré *et al.*, 2000).

From an environmental perspective, in its current form, fishing has no impact on the rate or amount of water flowing or lying anywhere in the Niger River. It most probably generates very little pollution at this point (only the hydrocarbon released by the engines of vessels carrying migrating fishers or fish).

Table 10 – Water requirements for fish and fishing				
	High water		Low water	
	Requirements and use	Effect on downstream availability	Requirements and use	Effect on downstream availability
Fish production	Water level (to maximise flooded areas and enable biomass reconstruction)	None	Requires minimum "shelter" water volume for the resource	None

Livestock farming

Estimates suggest that there are 7.6 million head of cattle in Mali. Figures are relatively stable in the large traditional cattle-breeding area in the north of the country (Mopti), and growing in the south. In Sikasso, for example, there were 336,000 head in 1970 and 741,000 (121% more) in 1995. However, in absolute terms, Mopti is still Mali's leading livestock-farming area. An aerial census in the 1980s suggests that there are some 1.6 million head, including about 1.2 million in and around the Niger River's inland delta.

The inland delta plays a very special in Mali's livestock-farming sector. This is because its flooded pastures are exceptionally fertile and stay "green" for 7 to 8 months. The best pastures, the *bourgoutière*s, produce between 20,000 and 30,000 kg of dry matter per hectare per year and supply green feed from December to July (Sahel pastures, as a point of comparison, rarely produce over 2 t of dry matter and are only green for four months a year). There are also *bourgoutières* in the Niger River valley upstream from the delta and (especially), downstream from it, mainly in the oxbow, where they play a central role in the organisation of the Gurma area's livestock farming. These areas, however, are not very big.

The inland delta, in other words, is the only natural region in Mali – and in West Africa – that provides generous pastures over vast areas. It spans only 1.5% of the country's land but counts about 20% of Mali's cattle.

When the swell starts flooding the inland delta in August, herders leave on their long seasonal migration to the Sahel's pastures. They return in November or December, depending on how fast the water recedes. They take their herds across the delta through a complex of trails and shelters, which they use by strict unwritten traditions.

Other than the water that cattle drink, herders do not, strictly speaking, consume water resources. Yet, not unlike fishers, they depend on the annual flooding (high-water levels dictate how much fodder they will find for their herds).

Table11 – Water requirements for cattle herding

	High water		Low water	
	Requirements and use	Effect on downstream availability	Requirements and use	Effect on downstream availability
Fooder and meat production	Surface water to improve pasture quality	None	Minimum levels for cattle to drink	Very low, negligible

Table 12 – Delta fodder production and theoretical change based on different high-water levels in Mopti

Scenario	Fodder production (millions of tonnes of dry matter)	Loss compared to scenario 1 (%)
Scenario 1: high-water level = 6.60 m	15	
Scenario 2: high-water level = 6.00 m	12.8	- 14%
Scenario 3: high-water level = 5.10 m	9	- 39%

Source: Marie, 2002

Poor swells, in other words, can be a threat to livestock farming (plant biomass renewal hinges to some extent on the flooding).

Poor flooding (5.1 m) will cut fodder production by almost 40%. The same swell (5.10 m), however, would flood 80% of the area that a 6.6 m swell would flood. So the loss in fodder production is considerably less significant than the drop in flooded areas. This is because plant formations that are not under water can still grow thanks to rain and rising groundwater. So flood variability does not affect fodder production in a straight, directly-proportional way: changes in total flooded area only account for some of the change in fodder production. In environmental terms, we can infer that the delta can support 1.5 million head during a very good year, but only sustain 900,000 during a bad year (after a poor flood). Fodder production, however, seems to be resilient: after one or two poor floods and commensurately poor production, a healthy swell will allow fodder to thrive again (Hiernaux and Diarra, 1986).

Household consumption and waste

From a quality standpoint, household impact on river water can be summarised as follows (table 13).

The problem can come from quality requirements – especially as domestic circuits can deteriorate water quality commensurately, at least locally (in and around towns and villages) and at specific points in times (low-water stages, rainy seasons and high-water stages).

Wastewater can fall into one of two categories: black water (from WCs or latrines) or grey water (soapy water from baths, showers, dish washing, etc.).

Leroy (1999) estimated that town and village dwellers produced 65 g of dissolved organic matter and 70 g of suspended matter a day.

Table 13 – Water requirements and impacts, household consumption

	High water		Low water	
	Requirements and use	Effect on downstream availability	Requirements and use	Effect on downstream availability
Household consumption	Consumption-fit water quality Water for waste disposal	Negligible	Consumption-fit water quality Water for waste disposal	Little effect on quantity. Locally noticeable impact on quality

Industrial consumption and waste

Urban and industrial waste can vary considerably, and encompasses effluents from slaughterhouses, dyeing plants, factories and hospitals, compounded with refuse from market streets and pavements. Their impact on the Niger River varies as well: slaughterhouse waste (which is organic) is locally contained and less worrying than factory waste.

The district of Bamako's factories produce 9,715 metric tonnes of waste a year. Of that total, 7,830 t (81%) are recovered, 276 t (3%) are recycled, 238 t (2%) are burnt and 1,372 t (14%) are discharged (ESPGRN Sotuba). The eight largest industrial plants are believed to release an average of 2,200 m^3 of wastewater a day (i.e. about 800,000 m^3 a year) and the 300 dyeing plants 16,000 m^3 a year. This wastewater seeps through the soil or pours directly into the Niger River.

A survey by the *Direction régionale de l'assainissement, du contrôle des pollutions et des nuisances* (DRACPN, a regional agency in charge of sewers, pollution and nuisance control) in the region of Koulikoro showed that several industrial plants are responsible for polluting the river, and that 80% of Mali's factories are between Bamako and Koulikoro. It also showed that the Niger River's main source of pollution is the Mali's cottonseed oil factory (Huicoma).

River transport and pollution

Two types of vessels carry people and goods along the Niger River: two large ships operated by Comanav (malian sailing compagny) and a host of smaller privately-owned boats, generally weighing 10 to 50 t. Fishers also use 2 to 4 t smacks for their seasonal migrations with their families.

Generally speaking, the Niger River is not fit for year-round navigation. It is not deep enough during the low-water season. Large ships can only use it from early or mid August through mid December or early January, depending on how long the high-water stage lasts and how much water it brings (both of which generally vary in synch). The stretch between Koulikoro and Mopti is navigable at the beginning of the season. Koulikoro-Timbuktu and Koulikoro-Gao routes open some time after that. As the season draws to an end, ships can only use the downstream stretch (after Mopti). Smaller vessels can use the river until February and family smacks can use it until the end of the low-water season (at the risk of getting stranded).

Table 14 – Water requirements and needs, river sailing				
	High water		Low water	
	Requirements and use	Effect on downstream availability	Requirements and use	Effect on downstream availability
Navigation	A satisfactory water level for as long as possible (especially for large ships)	None, outside a slight impact on water quality	A satisfactory water level for smacks (the only vessels that use the river at this point)	None, outside a slight impact on water quality

These boats produce a mixture of hardly-quantifiable forms of pollution. Generally speaking, however, it is fair to say that Comanav's two ships and the many smacks using this river do not release substantial amounts of pollution. Noteworthy pollutants, however, follow:

- motor oil (with little impact, as people often use spent oil for other purposes);
- wastewater from lubricant-tank washing;
- oil leaking from defective vessel engines or tanks.

Some of the waste from exchanges in vessel-staging areas (plastic bags, oil and grease) can be toxic. Pollution levels hinge on how big the staging area is, and on how long vessels stay there. During a journey, all the waste produced onboard is discharged into the river, along with rotting merchandise. Washing oil and pesticide tanks also pollutes the water. Table 14 summarises this.

The Niger River's ecosystem today and the trends shaping it

Surface water quantities

Surface water levels hinge more drastically on the weather – and on extreme rainfall-figure swings – than anywhere else in the world, here (cf. "Climatic forcing factors in the Niger river basin" p. 180). The drought in the 1970s and 1980s is greatly responsible, on the one hand, for the sharp seasonal variations we are seeing today (alarming low-water levels) and, on the other, for the sharp year-on-year changes. There is still some

debate as to whether flow rates have embarked on a downward trend compared to rainfall (i.e. as to whether the same amount of rain as in previous years produces a weaker flow today).

Some of the surface water, especially in the north and northeast of the Niger River's inland delta, is in lakes that only fill when swells rise beyond certain thresholds. In these cases, the connection between rainfall and surface-water resources is less straightforward. These lakes are downhill from the river, and quite a way away from it. They fill up when the river water reaches a certain threshold and spills over into the channels that carry it downhill (Orange *et al.*, 2002). When the swell recedes, the water that spilled into the lakes stays there (it does not pour back into the river). As these lakes are bowl-shaped, they can hold water for as long as two or three years once they fill up. Evaporation takes its toll, these lakes keep the bulk of their surface water. In other words, provided swells reach necessary thresholds once every two or three years, these lakes will provide water resources. Or, otherwise put, the occasional poor flood will not affect them. Conversely, whether a swell is poor or very poor makes no difference, as the water level will not reach the threshold either way (as was the case throughout 1981-93). Historical figures of water levels in these lakes will help us determine the high-water threshold that river waters need to reach in order to fill them.

Ground-water levels

Mali has generous amounts of underground water. The annual renewal rate stands at 55 billion m^3, but only 105 million m^3 (a scant 0.2%) are actually used.

Water reserves fall into one of two large categories, depending on where the water comes from. There are extensive aquifers and more local fractured aquifers.

The extensive aquifers are associated with poorly-consolidated or non-consolidated detrital deposits, essentially of continental origin, which gathered in sedimentary basins during the Mesozoic and Cainozoic. They generally comprise several layers, feature inter-granular porosity, and span a little more than half this country's territory. The ancient waters they enclose are generally not renewed due to the scant rainfall and to the fact that they lie too deep for new water to reach them on a regular basis. More than half

the wells cut into these aquifers can provide over 10 m^3/h, and some of them can produce more than 50 m^3/h.

Fractured aquifers are associated with crystalline deposits (the base) or Precambrian and Palaeozoic sedimentary deposits. They have continuous or semi-continuous tables, depending on the density of the fracture networks in them. There are discontinuous aquifers, semi-continuous aquifers (which receive considerable amounts of rainfall due to their geographic position), and surface aquifers.

Water quality

Surface water quality

Research on the quality of the Niger's waters (Iwaco, 1996; Equanis, 1997; Gihrex, 2000; Ghenis, 2001) suggests that chemical contamination is as yet only slight, not unlike other African rivers (Picouet *et al.*, 2002). This river's waters are by and large – and generally across Mali – free from metal pollution, nitrate and ammonium pollution, phosphate pollution and biological pollution due to the large amount of water and its dilutive effect. This is logical, as there are few industrial complexes on the Niger River's tributary basin, farmers do not use large amounts of fertilisers and pesticides, and the area's population density is low.

However, as regards this last aspect, weekly monitoring of the quality of well and drilling waters and of surface water in the cotton-growing area (CMDT in south Mali) showed isolated but noteworthy pesticide-pollution spikes (DDT, especially), associated with fertiliser storage issues or unsuitable use (Bonnefoy, 1998).

Moreover, if the Niger River can by-and-large boast healthy physical and chemical properties – other than in specific points near industrial sewers between Bamako and Koulikoro (Palangié, 1998) – there are isolated bacterial-pollution phenomena in most dwelling areas. There, the high concentration of colon-type bacillus and faecal streptococcus make the surface water unsuitable for drinking by WHO standards. Dwellers, however, drink this water. So there is a considerable health hazard.

Moreover, the stretch between Bamako and Koulikoro warrants special attention given the high concentration of housing as well as industrial and

farming operations its banks harbour. Work monitoring eighteen risk points (Palangié, 1998) on that stretch showed that water in every effluent-inflow area was unfit by WHO standards on at least three scores. The top-priority issues are BOD[3], COD[4], suspended matter and heavy metals. However, in every case, BOD, COD and suspended-matter content is at the same level or below that of wastewater in first-world countries, with the exception of wastewater from the Dar-Salam power plant (which is, by far, the most polluted). Our measurements moreover show that a considerable amount of the polluting load is linked to suspended matter measuring more than 0.7 µm. So simply decanting Bamako's wastewater in suitable facilities (yet to be built) should allow authorities to eliminate a substantial amount of pollutants.

To conclude, all surveys point to the fact that the quality of the river's surface water is still generally good outside specific areas or stretches. But it is under threat: large-scale industrial projects, agricultural development in the Niger River valley, and the fact that riverside towns systematically discharge untreated effluents, suggest that pollution may well become a serious issue in the future.

Ground-water quality

There are two problems with ground-water quality, and they are both in the district of Bamako: one is Bamako's surface water table, and the other involves the deep aquifers beneath it (Palangié, 1998).

Bamako's surface water table is completely polluted: it is very near the surface, hence near the many individual sources of pollution in that district. There are practically no pollution-curbing measures in place and the soil is highly permeable in certain areas (on the right bank, especially). There, many unprotected wells and poorly-designed private sanitation facilities (Zallé and Maiga, 2002) open up direct links between the surface and underground waters. Several studies (Alpha *et al.*, 1991; Iwaco, 1996; Palangié, 1998) have characterised the pollution and found a high concentration of nitrates, nitrites, phosphates and chlorides, possibly from a variety of sources (detergents, fertilisers or decomposing organic matter). The water may also contain pesticides, and certainly contains very high amounts of bacterial pollution (colon-type bacillus and faecal streptococcus, total germs) from diffusing wells that are either too deep or too small, from pervious pit toilets, or from

[3] Biological Oxygen Demand, an indicator of biological pollution.
[4] Chemical Oxygen Demand, an indicator of chemical pollution.

faecal matter carried by surface water through wells (which generally lack proper rims). The water in this surface table, in other words, is unsuitable for human consumption by WHO standards. The rampant pollution that has been recorded in recent years, compounded with the mushrooming population and Bamako's urban sprawl, will soon deprive most of the population of its main water resource (66% in 1998) if nothing is done.

Bamako's deep aquifer (fractured sandstone aquifer) is all the more worrying as it is regarded as a source of drinking water for the near future. This aquifer connects to the surface table through fractures and major accidents which open as far as 100 m deep. Thus far, analyses have shown that the quality of the water in this fractured aquifer is very good. But drilling into the deep water table is likely to change that. Opening up tunnels to the surface will not only open the door to the pollution lying there (if suitable measures to protect the system are not implemented). Most particularly, it will ease the pressure that has thus far stopped some of the surface water from seeping into the deeper table. If pollution levels in the surface table worsen, serious pollution in the fractured sandstone aquifer will become a real possibility.

Pollution, it seems, is not a major issue in Mali's other surface and deep aquifers, given the overall quality of its surface water. Only pinpointed areas such as water tables under large cities, can provide the odd exception.

Geomorphological stability: erosion/sedimentation/sanding

Erosion

The rainfall, landscape, basin lithology and resulting soil quality explain the bulk of the Niger River's erosion rates. Studies into the geographic variation of suspended-matter flows by DNH with Orstom then IRD from the 1970s until the 1990s show that erosion is higher on the stretch between Koulikoro and Ke Massina due to changes in lithological conditions (Picouet *et al.*, 2002). Exportation of matter from the Niger River's upstream basin, as an aside, is remarkably lower than other large basins around the world. It is also worth pointing out that, towards the desert, soil vulnerability to wind erosion increases substantially and that flow of matter (sand in that case) increases in the river after the inland delta. This gradient suggests that human or farming activities which are much more significant in the south (upstream from the basin) do not generate considerable erosion as yet.

Sedimentation

Given the low concentration of solid matter in suspension in the flow, there is little overall sedimentation in the Niger River valley. However, research has shown a certain sedimentation phenomenon in the Niger's inland delta. The loss of total suspended matter between the stretches entering this area (Ke Massina and Douna) and the stretch emerging from it (Diré) shows that this delta retains between 0.15 million t of sediments (during "dry" years, when the flood covers a comparatively small area) and 1.3 million tonnes of sediments (during heavy flooding). In fact, the loss of sediment across the delta is practically directly proportional to the suspended matter that enters it. But a closer look shows a difference in sedimentation patterns in the upstream delta and downstream delta: sediments invariably build up in the upstream delta, but the downstream delta's inflow and outflow are relatively balanced.

The upstream delta is a vast, classic flooding plain. Its numerous meanders feeding countless ponds and generous vegetation provide perfect sediment traps. In this part of the delta, the amount of matter that settles hinges directly on the swell's flow coefficient. However, the actual amount of sediment settling here is very low compared to the amount on the surface of the delta. There is no risk of the delta filling up, as it were. The sediment, to the contrary, contributes generously to this area's fertility.

By the time the water reaches the downstream delta, it has been through the upstream plain and central lakes. Its sediment content is therefore scant and the amount of sediment that settles practically negligible. The remaining swell in the smaller beds and probable versant erosion at the beginning of the high-water stage, then the remobilisation when the flood starts receding paired with wind erosion after the high-water stage at the beginning of the dry season are no doubt the key processes shaping this downstream delta's sedimentation patterns.

Lastly, Gihrex research showed a specific threat on the Debo, a large lake in the centre of the inland delta. Decades of droughts have allowed the *bourgou* to thrive on the banks (farmers even planted it). This fodder plant traps terrigenous sediments brought by the river, and blends them into organic matter year after year. However, despite the fact that flow rates have been on an upswing for the last ten years or so, a silt plug at this lake's exit has formed. This plug could jeopardise the lake's ecology, navigation and, eventually, the Niger River's life (Orange *et al.*, 2002).

River "sand silting"

Sand silting is a common term that can encompass different phenomena (sand-stock growth, sand-bank shifts, and factors such as receding beaches and bank destabilisation which can contract the river bed in given areas).

Scientific findings concur that the Niger River bed's sand stock is not swelling in Mali. Sand banks, however, are shifting. This is an issue for river users and stems from the fact that no fairways are dredged (fairways are otherwise systematically dredged in rivers with sand beds).

Beach depletion and some bank instability stem from exploitation of riverbed sand near urban areas. Sandbanks appearing (so to speak) when water levels drop can give the impression that the river is sanding up, especially during particularly dry spells (June 1999, for instance).

Lastly, in the Niger River's oxbow, wind-borne sand wipes out crop areas and locally clogs channels and other watercourses feeding into ponds or basins. This chokes meanders in the river's secondary branches: the Koli-Koli, for instance, has become unfit for navigation.

The reverse, sand depletion, is also a noteworthy phenomenon – and caused exclusively by human activity. As the extracted sand is used for building, this phenomenon is predictably acute around large cities, especially Bamako and Koulikoro. This stretch has seen its sandbanks recede about 100 km in 10 years! This is altering the river's ecosystems: river plants have disappeared taking spawning beds with them. It is also altering flow patterns and increasing the risk of flash flooding. Sand extraction is the key environmental issue for this river.

Soil fertility

In Mali, on the whole, declining soil fertility is one of the single most important factors inhibiting crop production. Generally speaking, demographic pressure (entailing shorter fallow spells), as well as water and wind erosion, are the causes. However, erosion phenomena, when they occur, often only shift soil fertility without much consequence otherwise.

In the Niger River's inland delta in particular, an *in situ* combination of the ecosystem's natural processes and of related traditional production systems (livestock farming in particular) support soil fertility. However, the sed-

iments that the river brings from its upstream basin (in moderate, yet not negligible, quantities) supplement this fertility (all the more so as its generous swells bring considerable flooding).

In large irrigated areas (such as *Office du Niger* areas), soil fertility is not only affected by an increase in alkalinity, but also by a drop in organic and mineral fertility (potassium), which is starting to have a perceptible impact, especially in the area of Massina. Soil salinisation is also an issue in these areas, but an in-depth understanding of this phenomenon and its associated risk factors enables authorities to contain it more efficiently. Some risk factors, however, are intensifying. These follow:

- extending crop areas and shrinking water availability curb leaching;
- ongoing irrigation-canal use to feed off-season crops helps refill and raise water tables, which in turn promotes salt concentration on the surface;
- a proliferation of cursory schemes (poor sloping and drainage).

Plant communities and resources

Overview

Observers agree that Mali's forests are in danger. How fast these forests are shrinking, however, is unclear. Woody vegetation, it seems, has been shrivelling a fairly limited 0.05% a year over the past fifteen years (87 km^2 a year, 1,000 km^2 in total), essentially making space for farms and due to the fact that several forests in the region of Mopti have disappeared. Deforestation, in other words, seems contained – contrary to what villagers feel. This may be because the natural forest reformation is doing its work.

By and large, the drought has not led species to extinction or seriously affected biodiversity in Mali's flora. Some species, however, are showing signs of depletion.

Plant communities in the Niger River's inland delta

ILCA scientists found 189 species (137 herbaceous species and 52 woody ones) in the delta. This is relatively poor compared to the 350 species in neighbouring Gurma – but akin to most flooding plains. This poor flora, however, contrasts with vigorous seasonal biomass production, which is 15 to 20 times higher than in the neighbouring Sahel areas.

The delta's forests

According to the Wood Resource Inventory Project (or Pirl, for Projet inventaire des ressources ligneuses), forest stands cover 4.5 million ha across Mopti, and plantations and fallow land span 1.8 million ha. Sparse shrub savannas and a variety of palm stands make up the bulk of those areas. Different thicket varieties are part of the landscape as well.

The inland delta and north-western Farimaké plains count three different stand families. Their sizes differ considerably. The early-1980 figures follow:

■ flooded *Acacia kirkii* forests withstanding 4-metre-deep water. These forests span 5,000 ha and play a critical role in water-bird reproduction;

■ *Acacia nilotica* and *Acacia seyal* forests, mainly watered by percolation, but sometimes secondarily watered by swells (water levels do not exceed 0.6 m). These forests span 115,000 ha;

■ dry woodlands growing on mounds or skirting the delta, spanning 425,000 ha.

South of this area, we can also find park-type stands made up mainly of *Faidherbia albida,* a tree that also grows on the sandy savannah benches along with *Andropogon gayanus* and surrounding rice paddies.

There have been no surveys into changes in the inland delta's vegetation in general or into its forests in particular. Observers agree that the forests have been facing serious threats for the last three decades, due to the compounded effects of the drought, scant flooding since the late 1970s, and anthropogenic pressure on resources. Arguably, land-development laws and authority malfunction before 1991 – which replaced the handed-down land-administration rules that local breeder, fisher and farmer communities had applied thereunto – explain a lot of this destruction (Marie, 1989; Moorehead, 1997).

The Pirl survey suggests that forests in the Mopti region could produce 1.8 million tonnes of energy wood a year (i.e. that forests could export that much wood a year without damaging their "capital"). The Mopti region's total energy-wood stock, estimates suggest, totals 40 million m^3 (including 3.5 million of deadwood).

Based on Pirl research (1988), the Domestic Energy Strategy (or SED for Stratégie énergie domestique) recalculated the annual production of areas covered by the delta's various forest stands (table 15).

Table 15 – Wood potential across five circles in the Niger River's inland delta

Circle	Forest surface (ha)	Energy-wood volume (m^3)*	Deadwood volume (m^3)*
Youwarou	204,400	1,628,695	423,571
Tenenkou	262,550	2,773,040	Nd
Mopti	178,800	1,465,825	60,000
Macina	240,750	2,429,896	201,457
Djenne	118,200	939,590	40,000
Total	**1,004,700**	**9,297,046**	**725,028**

*1m^3 = 2.3 stere et 1 stere = 330 kg

Source: SED project, 1999

There seems to be abundant standing deadwood, especially in the north of the delta. This stock could supply 70% of the firewood needed in the Niger River valley.

The delta's grasslands

Most of the inland delta's plant formations are grasslands, encompassing grassland savannahs and aquatic prairies proving exceptionally rich pastures. Varieties include the following:

■ *bourgoutières* (floating grass). This grass grows on plains withstanding 4 to 5 m of water a year, but only survive the deep-water submersion if the water levels rise slowly. These are the delta's most productive courses (20 t/ha) and span about 160 000 ha;

■ *vétiveraies* cover about 30% of the delta (640,000 ha). Their average production varies from 10 to 12 t/ha, depending on environmental conditions;

■ *wild rice paddies* cover 15.4% of the delta (about 340,000 ha) and produce between 6 and 8 t/ha;

■ *eragrostaies* cover 190,000 ha. Their grazing value varies between 5 and 8 t/ha;

■ very low-flooding varieties *(andropogoneae*, *panicaie,* etc.) covering about 200,000 ha and producing around 5 t/ha.

There is not much information about how the inland delta's grasslands have developed in relation to poor flooding in the 1980s and 1990's, due to the lack of time-sensitive studies. But research has shown that flooded grasslands in this area reach their ecological balance when flood rates in Mopti average out at 6.60 m.

Based on this benchmark, we have to distinguish passing developments caused by a temporary decline in flood rates (meaning reversible trends and the assumption that plant formations will regain their balance when healthy floods return) and irreversible environmental developments (which would usher in a new balance between high-water rates and plant formations that swells of under 6.60 m can support).

Concerning the first hypothesis (that the dwindling flood rates are temporary), a 1986 Hiernaux and Diarra study conducted after the very poor 1984 high-water stage (the century's lowest) showed the following:

■ deep formations (*bourgoutières*, deep *vétiveraies*, etc.) are relatively unaffected by poor swelling. Neither indeed are higher ones (*panicaies*, *andropogonaies*…), which depend more on rainfall than on swelling rates;

■ intermediary formations (*orizaies*, *eragrostaies*, high *vétiveraies,* etc.), conversely, can see their production and structure severely affected. The dominant species is decimated and replaced by very irregular populations, dominated by Sahel annual varieties.

So it seems that this delta's deep formations as well as its least-flooded ones are somewhat resilient to hydrological vagaries. Their production does not stop when high waters fail to reach them, meaning that they can absorb some of the water-level's swings. This, however, only applies as long as the crisis is temporary and does not entail irreversible changes in the ecosystem.

The consequences of the second hypothesis (a lasting change in hydrology entailing a permanent drop in water levels) are unknown. A simulation was run on the basis of a 1-metre-lower swell (high-water levels at 5.60 m instead of 6.60 m, the previous balance). This, as an aside, could occur as a result of climate change or of large facilities upstream.

This simulation showed the following:

■ the dry grasslands growing on the delta's outskirts and unwatered mounds could cover three times as much surface (more than 900,000 ha);

■ deep-water grass (in 150 cm to 400 cm deep water) would shrink considerably. Formations growing under 150 cm and 280 cm of water would shrivel to one-tenth of the surface they cover today.

The deeper formations (the ones growing under 280 cm to 400 cm of water) could disappear altogether and be replaced by varieties growing in shallower water. This would hurt fodder production (these formations respectively supply 20,000 kg and 15,0000 kg of dry matter per hectare, i.e. considerably more than the delta-wide 6,000 kg average). But it would also cripple biodiversity, obliterating the *Acacia kirkii* forests where many palearctic migratory bird species breed.

The drop in fodder production would be considerable: swells at 6.60 m support 15 million t, swells at 5.60 m would cut production back to 6 or 7 million tonnes a year. This area's grazing capacity would drop 55 to 60%: the delta can support 1.5 million head a year today, but could only support 600,000 to 700,000 if this scenario materialises. Quality would drop as well as quantity: the *bourgoutières*, the delta's best pastures, would shrivel. Livestock farming as we know it today, under these conditions, would not plausibly withstand this change.

The case of the water hyacinth

Water hyacinths appeared in Mali in 1990 around Bamako and could grow all the way up the Niger River from the inland delta. In reality, however, they only thrive in certain clear-cut areas, in irrigation canals and in certain river branches near cities (i.e. where the water is "polluted" or at least contains very high amounts of nutrients). Water hyacinths are something of a hazard and can indeed cause serious concern in specific spots (dam intakes, mainly). There are biological and mechanical methods to control these plants. The *Office du Niger* is currently using the latter.

Fish resources and population

From a biogeographical point of view, the Niger River's fish fauna belongs to the Nile-Sudan province (Lévêque and Paugy, 1999). This vast province encompasses three large basins (Nile, Chad and Niger) as well as a number of smaller ones (Senegal, Volta and other). It has kept a remarkably homogeneous fauna, due to exchanges with other basins. The sheer size of this biogeographical province explains the wealth of fish varieties it harbours

– and, in particular, the abundance of varieties in the Niger River. Daget (1954) argues that there are between 130 and 140 species in the Upper Niger and its inland delta.

However, half of those species are relatively unknown (or at least small enough to slip through fishing equipment most of the time). These species are only caught incidentally or accidentally, not deliberately. So, as they can not really count as the fish resources, describing their current condition or any associated trends would be pointless. Only researchers specialising in taxonomy, studying fish stocks by poisoning small areas of the river or its branches, can supply information about the presence of these species – and can obviously only do so from a very local perspective.

The information below, therefore, only includes the species that fishers catch (or caught). There are about 60 of them. In other words, if the question is whether biodiversity is dwindling, we cannot provide a conclusive, unbiased answer. If the question is whether some of the species caught 30 or even 60 years ago have grown rarer or disappeared, however, we can.

Available information shows that the specific structure of the Niger River's fish resources has indeed changed slightly since the 1950s and even since the late 1960s, in the delta and across Mali (Quensière *et al.,* 1994; Wetlands, 1999). Very few species have disappeared (and the ones that have, no doubt, have only disappeared in specific areas). But a number of species have grown considerably rarer, and a number of other ones have gained in predominance. More specifically, we can see that one or two of the species that have disappeared or practically disappeared in the delta region (*Epsetus odoe* and possibly *Arius gigas*) did so a relatively long time ago, between the early 20th century and the 1960s. However, four species or groups of species (*Gymnarchus niloticus*, *Parachanna obscura, Heterotis niloticus* and three *Polypterus* varieties) have seen their ranks dwindle sharply since the 1960s, apparently in step with disappearing environments (the tall wild grass and marsh belts skirting permanent lakes). Fishers, conversely, have been seeing more *Clarias* and *Chrysichthys* in their catches. In volume terms, cichlids (tilapia, broadly speaking) predominate in fishers' nets (alongside *Clarias* and *Labeo*). *Lates niloticus* are also found, if less abundantly.

The demographic structure of these populations has changed as well. They are all younger: three in every four of the fish in an average catch are "0 +"

(less than one year old) and relatively small (Laë, 1995). Bigger fish (over 3 years old and more than 50 cm long) have become very rare in most parts of the river, especially in the inland delta. However, there are still large fish in areas where fishing pressure is less intense (in the upper basin's water courses, for instance).

The loss of certain types of natural environments explains the changes in population makeup. But demographic changes arguably impact fishing pressure as well.

However, these different structural changes are not, at least for the time being, affecting this resource's yield (i.e. its ability to produce as much biomass as it loses in a year). Fish production (in tonnes a year) dropped considerably during the long drought (1973-1993) but rose again once the average or good swells returned. Production invariably moves in step with the size of a swell and ensuing flooding (see fig. 8 and 9, "Fishing" p. 200-204). Statistics allow scientists to forecast a fishing campaign's yield based on the size of the flooded area or on the river's flow at a given point upstream. Laë (1992b) found a link between catch sizes and an index based on the two previous floods (y1, here, is the current year, y0 the previous year and y2 the coming year):

Annual catch from $July_{y1}$ to $June_{y2}$ = 780.95 $(flooding\ index)_{y1}$ + 770.71 $(flooding\ index)_{y0}$ + 32,304

The periodically-announced "resource drops" are indeed only transitory phenomena due to a particularly bad swell (and generally belied the following year). They may also be associated with the assessment methods: scientists, for example, may focus most of their attention on catch per unit of efforts (a ratio-type indicator which naturally drops when the effort increases).

The developments we have discussed, however, do have negative consequences:

■ from an ethical standpoint, the fact that original bio-ecological varieties are dwindling or disappearing is regrettable;

■ there are also economic losses linked to excess fishing capacity (the amount of fish caught in a given year is inexorably pegged to the swell and ensuing flood whereas fishing capacity is inflexible) and to the drop in average fish size (i.e. their specific value per kg).

Lastly, it is important to remember that healthy fish yields hinge on healthy river and plain ecosystems and, in particular, on generous annual flooding in the plains.

Wildlife populations and resources

This component is especially interesting in the Niger River's inland delta, a large area which encompasses an original and rich array of natural water and marshland environments. Wildlife elsewhere in Niger River's valley in Mali is less exciting: it is akin to that in the neighbouring Sudan-Sahel (barring the fish, of course). This wildlife, however, is relatively poor. Pervasive farming, clearing and hunting and the last long drought have taken a toll.

The Niger River's inland delta harbours a wide variety of wetland habitats (marshes, lakes, ponds, flooding plains and flooding forests). Fish, reptile, mammal and water-bird colonies find food and suitable breeding conditions in these habitats. Some colonies live here throughout the year, others only stay for a season. There are other wetlands in the Sudan-Sahel area, including the Senegal delta (Djoudj), the Hadjia-Nguru floodplain in Nigeria, the Logon River's, Chari River's and Lake Chad's floodplains, and the Sudd swamp in Sudan. But the Niger River's inland delta is West Africa's largest. Only the Okavango marsh in Botswana (in Southern Africa) and Sudd, compare.

However, this delta's biodiversity is far from intact. The last thirty years have seen dwindling flow rates compounded with human activities put growing pressure on the natural environment and hitting large wildlife species.

In particular, the large carnivores that roamed parts of the upper delta and shores have disappeared. Panthers and lions are two examples (even though there may still be a few lions in neighbouring Gurma). Large reptiles (Nile crocodiles, pythons and monitors) have become very rare as well, as have large herbivorous mammals (manatees and, to a lesser extent, hippopotami).

The Niger River's inland delta, however, is still one of West Africa's vital water-bird havens. Water birds nest there, rest there during their migration, or settle there for the rainy season. These birds are of afrotropical or paleoarctic varieties. The comparative size of water-bird colonies varies from one season to the next and from one year to the next, depending on the size of the swell.

Different programmes have shown different pictures of developments in the delta. But some trends are nonetheless clear. And possibly worrying. No fewer than 125 water-bird species would alight in the delta in the early 1980s. The Wetlands project, however, only counted 103 in the late 1990s. The large varieties (giant herons, jabiru, white storks and black-crowned cranes), in particular, seem to be dwindling in numbers or presence. This

Table 16 – Reproducing population (the number of nesting pairs), nesting water birds in the delta's flooding

Species	1986/1987	1994/1996	1999/2001*	Tendency
Black egret	200 - 250	150	130	Declining
Little white egret	900 - 1,000	500 - 1,000	500 - 1,000	Stable
Black little egret	80 - 110	+	80	Declining/Stable
Intermediary egret	800 - 875	> 200	1,700	Increasing
African darter	40 - 45	15 - 30	250 - 300	Increasing
African openbill	30 - 40	0 - 1	-	Declining
Black crowned night heron	1 - 10	100 - 300	1 - 10	Irregular
Long-tailed cormorant	17,000 - 17,500	16,000 - 17,000	18,000 - 20,000	Increasing
Squacco heron	550 - 650	+	500	Stable?
Great egrets	2,800 - 3,100	500 - 1,000	1,500 - 1,800	Declining
Gray heron	10 - 15	30 - 50	-	Irregular
Cattle egret	63,000 - 65,000	65,000 - 90,000	50,000 - 60,000	Declining
Black-headed heron	10	1 - 5	2	Declining/Stable
Purple heron	-	2 - 10	-	Irregular
Glossy ibis	-	150	-	Irregular
Sacred ibis	30 - 40	50	200 - 250	Increasing
African spoonbill	300 - 350	50	100 - 150	Increasing

*Annual average based on observation over a two-year period

Source: Wimenga *et al.*, 2002

trend is not as clear-cut in the case of smaller species. The *Plegadis falcinellus* population, for example, may well have halved over the last 20 years, whereas other species have seen their ranks remain stable.

The presence of large water-bird colonies seems linked to the integrity of flooded *Acacia kirkii* forests. Forest-clearing and poor swelling in the 1980's and 1990s, however, were a threat to those forests. Healthier flooding after 1994, paired with efficient protection measures (Dentaka and Akkagoun forests) may have reversed this trend.

Birds play a sizeable ecological and economic role. They protect plantations by eating locusts, grasshoppers and other insects, and thereby balance the delta's ecosystem and bolster its production. There are no doubts about the connection between rice production, locust attacks and bird-population size.

There are more birds during good years (the ecological niche is bigger and food more abundant). When this happens, these birds provide an added source of proteins for the population: thousands of them (teals, especially) are caught and then sold in different markets every year. Lastly, water birds are part of the delta's appeal – and what make this and the Dogon area Mali's leading tourist destination.

Like Africa's other large wetlands, the Niger River's inland delta has been included in an international Ramsar convention. This 1975 agreement defines and organises the natural area preservation terms.

Conclusions on the Niger River's delta and its ecosystems

The Niger River and its valley have not harboured virgin ecosystems – or indeed any ecosystem sheltered from humankind's hand and its effects – for a long time. A number of weather-related and anthropogenic factors over the last century have taken a toll on biodiversity in these riverside ecosystems. Neither the Niger River in general nor the delta in particular can any longer be considered as large wild, unspoilt areas. Scattered pollution phenomena have furthermore appeared, and may become threats in the future.

However, despite these developments, the basic ecological mechanisms underlying this river's productivity and its ecosystems (in terms of their ability to generate adequate biomass quality unaided) are intact. They are also as remarkable (from a quantitative standpoint) as ever, compared with other natural environments elsewhere in Africa and around the world. These mechanisms start working effortlessly as soon as enough water feeds them.

The institutional framework and existing management instruments

Community rules and customs have shaped the way in which societies living in the Niger River valley have administrated this area and its resources for a long time. A grasslands (*leydii*) code established in the 19th century by

the Peul Empire of Massina formalised the rules by which Peul clans administrated land. Unwritten rules enforced by "water masters" have dictated the way in which fish resources have been used for a long time as well. These traditional rules have been studied and explained by several authors after J. Daget and A. H. Ba (1955), and Gallais (1967). Political, economic and environmental developments in the second half of the 20th century have considerably altered and destabilised these systems. But they are still solidly rooted in people's minds and behaviour.

This chapter reviews the "modern" institutions and codes. The first such codes date back to the early days of independence (and replaced traditional systems). The second ones stem from the more recent decentralisation drive and its attempt to reconcile modern management rules and traditional local authorities.

The institutional reform that has been unfurling in Mali since 1991 has now grown to encompass a new approach to water-resource management. This new approach can only be understood in the international realm, as the Niger River basin spans several countries.

The international framework

IWRM or a "shared vision"

A series of international initiatives on water management and governance – born in the 1998 Paris Conference and reasserted in the 2002 Johannesburg Earth Summit – have been steering water policy at both national and regional levels.

This new water policy, IWRM (Integrated water resources management), defines itself as a process to promote coordinated water, land and associated-resource development and management. This policy aims to maximise economic and social wellbeing and to share its benefits fairly without compromising the future of the vital ecosystems.

IWRM also defines itself as a "shared vision" and maintains that integrated tributary-basin management is a *sine qua non* for proper water governance. International organisations, funding agencies and member states have agreed to focus on large trans-boundary river basins. The Mekong River basin is one such example in Asia. Examples in Africa include the Lake Chad and Lake Victoria basins, and the Orange, Volta and Niger

river basins. Mali's authorities have enshrined IWRM as official policy. Implementing it, however, will entail deep-reaching legal and institutional reform. Doing so should involve moving water management from technical and sector-specific segmentation into an integrated programme covering each distinct basin and sub-basin.

Efforts to implement IWRM in Mali can also lean on recent (and radical) developments in legislation pertaining to water management, in the agencies in charge of administrating water, in the relationships between these agencies, and in their relationships with society as a whole.

An international institution: the Niger Basin Authority (NBA)

This is the main international organisation. It counts nine countries skirting the Niger River (Cameroon, Côte d'Ivoire, Benin, Guinea, Burkina Faso, Mali, Niger, Nigeria and Chad) and was founded by an agreement signed on 21 November 1980 in Faranah, Guinea. It is headquartered in Niamey and aims to promote member States' cooperation and to integrate power-generating, hydraulic, farming, livestock-farming, fishing, fish-farming, forestry, logging, transport, communication and industrial operations across this basin.

The NBA's specific goals follow:

■ harmonise and coordinate national policies for the development of the water resources in the basin;

■ promote and participate in development plans, by preparing and implementing an integrated basin development plan;

■ promote and participate in efforts to create and operate shared facilities and projects;

■ control and regulate all forms of navigation on the river, its tributaries and its sub-tributaries;

■ take part in applying for funding and in directing funding to studies and other work required to develop this basin's resources.

The NBA stays abreast of country-specific development plans. Member countries are required to inform the NBA's Executive Secretariat of all plans touching on the basins (and in particular of schemes that might alter water availability). Member countries have also agreed not to build, on their territory, schemes that might pollute water or damage fauna and flora biology anywhere along the river, its tributaries or its sub-tributaries.

The legal and institutional framework in Mali

Codes in Mali

The *Code domanial et foncier* (Domains and Land code)

Water, in this code, falls into one of two domains:

■ natural public domains, mainly encompassing navigable or floatable watercourses and their banks (25-metre thoroughfares), non-navigable and non-floatable sources and watercourses, lakes, ponds, etc.;

■ manmade infrastructure, encompassing inland ports, navigation canals, irrigation and drainage canals, aqueducts and associated buildings directed to the public benefit.

The *Code de l'eau* (Water Code) codified by Law n° 2-006 passed 31 January 2002

This law lays down the rules for using, preserving, protecting and administrating water resources. It applies to all the water under the hydraulic domain, i.e. to the State's public hydraulic domain and the territorial-community public hydraulic domain under the *Code Domanial et Foncier*. The State is in charge of overall water management. It is responsible for administrating this resource in a sustainable and equitable manner, and for protecting it. The State may, however, transfer some hydraulic resources to decentralised communities. The ministry in charge of water has drawn up a master plan to govern water management and schemes for a 20-year period. This master plan sets qualitative and quantitative usage, development and protection targets for water resources and aquatic ecosystems. This code, in turn, lays the foundations for new water-management regulation and endorses the agencies in charge of administrating water resources. It recommends setting up a development trust within the public-sector's water-management organisation and established a national council, regional councils, local councils and basin committees to share view and proposals regarding water-resource management and development projects. These councils and committees share their views on resource management, schemes, conflicts if and as they arise, and other issues, at their specific level.

The *Charte pastorale* (Grasslands Charter) codified in Law n°004 passed 27 February 2001

The *Charte pastorale* lays down the basic principles governing grasslands and herding. It lays down basic herder rights (herd mobility and access to resources) and responsibilities (protecting the environment and other people's property, in essence). Grasslands (pastures and bushes), community

bourgoutières, salty land, watering spots and shelters come under State or territorial-community domains. Users are free to access these areas and facilities, but rules pertaining to how and when herds may do so apply (and are based on local customs and rights). Territorial communities administrate grassland resources in their area. They are in charge of herd trails and may regulate access to resources and charge herders for using them.

The 1995 *Code des collectivités territoriales* (Territorial Community Code) and related laws

This *Code des collectivités territoriales* acknowledged that communities have the legal status, financial autonomy and authority to settle environmental-protection, domain-related and land-related issues (after deliberation). Territorial communities can, in particular, build and run rural or city water-management facilities, organise rural endeavours and agro-sylvo-pastoral production. If public and private domains overlap in a given community, the State may, in the public interest, transfer management rights over part of said natural or manmade domain to that decentralised community, entrusting it with its preservation.

Law n°96-050 on the principles for instituting and managing territorial-community domains

A territorial community's natural public domain comprises the appurtenances of the State's public domain which are on the community's land (and provided the State has transferred conservation and management responsibility as appropriate). These domains can include water courses, marshes, lakes, ponds, protected areas, and natural sites that have been included in the public domain by law.

The manmade public domain encompasses buildings and other constructions erected in the interest of regions, circles or communes.

Territorial communities are responsible for managing and furnishing their domain, and for protecting its ecological balance. They prepare land-management plans mapping out farming, grassland, fish-farming, wildlife, mining, housing and other areas. They review and – if and as required in the light of national plans – amend their schemes periodically.

Community farming domains encompass dry-crop or rain-fed areas, irrigated areas and the associated hydraulic schemes, receding-flood areas, market-gardening areas, land that has been fallow for less than ten years, etc. Territorial communities set the levy for irrigated areas after consulting the *Chambre régionale d'agriculture* (regional chamber of agriculture).

The grassland domain encompasses pastures, land that has been fallow for over ten years, herd trails and water points. Appropriate community organisations work with professional organisations and technical agencies to regulate these endeavours, and set the levies for accessing pastures after consulting the *Chambre régionale d'agriculture.*

The fish-farming domain encompasses hydraulic and fish-farming facilities that communities build on their territories, and the public water areas entrusted to those communities by the State. Here, again, authorities consult professional organisations and charge levies for fishing permits.

The political institutions, administrative authorities and associations

Mali's *Ministère des Mines et de l'Eau* (Ministry of Mines and Water) is the main authority governing the Niger River in Mali. It has statutory and inherent rights over the entire water sector. It works through the DNH (*Direction nationale de l'hydraulique*/national hydraulics authority). The DNH is in charge of taking stock of and assessing hydraulic resources across Mali. It reviews every project that involves the water sector and supervises it directly. Ghenis (for *Gestion hydro-écologique du Niger supérieur*/upper Niger hydro-ecological management) is one example.

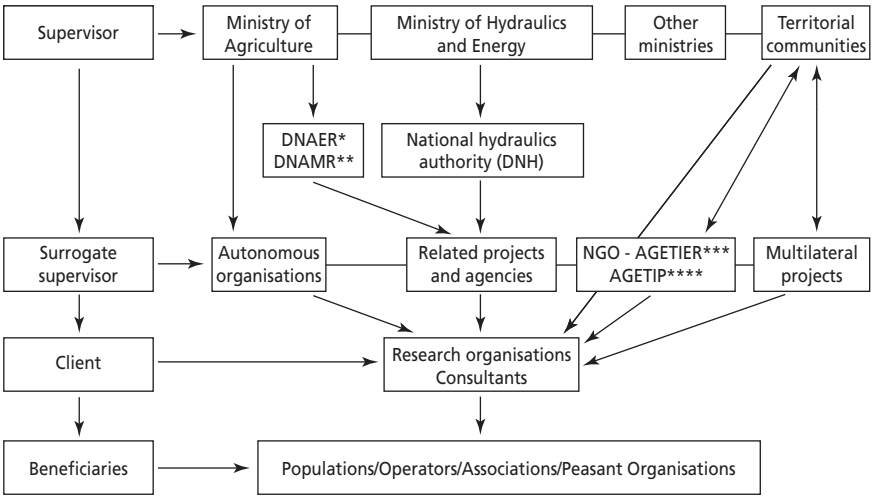
DRHEs (*Directions régionales et sous-régionales de l'hydraulique et de l'eau*/regional and sub-regional hydraulics and water authorities) are DNH-run decentralised agencies. They support and lend advice to territorial communities, serving concurrently in supervisory and regulatory capacities.

The *Ministère des Mines et de l'Eau* also has advisory committees. These committees are responsible for consultation-based basin and sub-basin management. In that capacity, they can voice proposals on the management of the hydrographical resources and aquifer systems. They can also suggest that authorities review water-management and facilities in hydrographical basins, sub-basins or aquifer systems.

The *Comité du bassin du Niger supérieur* (Upper Niger Basin committee), for example, covers the regions of Sikasso, Koulikoro, Segu and Mopti. Users, government representatives and territorial-community representatives sit on this committee, which is responsible for giving its opinion on how the basin's water resources are used. Officially, this committee has ample consulting powers. But, in practice, wields little authority as yet.

Conversely, the *Commission de gestion des eaux* de *Sélingué* (Selingue water management commission), the agency in charge of the Selingue dam, is functional. This commission is chaired by a DNH representative. Projects can not move ahead without consulting it, and its members convene once a month. Its responsibilities encompass the following:

- review the various water-management programmes drawn up by national organisations using the dam's water, to ensure they are suitable;
- decide on dam water-management programmes (filling and discharging);
- brief decision-makers on how water-management decisions will impact the associated technical aspects (power generation, migration, fishing, health, industry, tourism and the environment);
- keep the dam in good working condition.



* DNAER : *Direction nationale de l'aménagement et de l'équipement rural*

** DNAMR : *Direction nationale de l'appui au monde rural*

***AGETIER: *Agence d'éxécution des travaux d'infrastructures et d'équipements ruraux*, the agency in charge of rural infrastructure and equipment

****AGETIP: *Agence pour l'éxécution de travaux d'intérêt public contre le sous-emploi*, the agency in charge of public-interest projects and of eradicating underemployment

Figure 10

The organisations involved in water management

The *Ministère de l'Environnement* (Ministry of the Environment) works mainly through the ABFN (*Agence du bassin du fleuve Niger*/Niger River basin agency) founded by a 2002 ruling. This agency is in charge of protecting the Niger River, its tributaries and their tributary basins. Doing so, in particular, involves the following:

■ bolstering river, tributary and tributary-basin management resources;

■ improving and streamlining water-resource management for the various users;

■ helping to prevent natural hazards, counteracting pollution and nuisances, and keeping the river navigable;

■ liaising and cooperating with counterpart technical organisations in other countries skirting the Niger river and basins;

■ devising and implementing a levy system for organisations diverting or polluting water, and administrating that system's proceeds.

Other ministries are involved in water management as well:

■ the *Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche* (Ministry of Agriculture, Livestock and Fishing) is in charge of hydro-agricultural schemes and fishing, and takes an interest in water quality;

■ the *Ministère de l'Administration territoriale et des Collectivités locales* (the Ministry of Local and Territorial Government) is in charge, inter-alia, of emergency measures, and of liaising with ministries in charge of foreign relations and civil defence in the event of natural catastrophes and floods. Three types of territorial organisations can have authority over water-management policy. These follow:

– communal councils are in charge of water- and sanitation-related policies on a local level. They have councils dealing with different areas (fishing, livestock farming, etc.);

– circle councils work with technical authorities to review community projects for approval;

– regional assemblies make sure projects tally with national-level programmes.

Territorial communities take part in the meetings of basin committees and councils founded by the new *Code de l'Eau* (Water Code).

Lastly, associations have grown into prominent roles since the 1991-1992 regime change. Society as a whole, in other words, is playing an active

part through decentralised elected organisations (territorial communities and their councils) and through organisations representing the various trades using the Niger River (fishing, farming and livestock farming, mainly). These associations are very involved, and consulted on a regular basis. Examples include Apram (*Association des pêcheurs résidents au Mali*/Mali resident fisher association), APPM (*Association des pêcheurs et pisciculteurs du Mali*/Mali fisher and fish-farmer association) and the *Association pour le développement intégré à base communautaire* (an association for integrated community-based development).

Examples of the operations-based approach

Mali's Constitution has enshrined consultation as a *sine qua non* for management decisions or policy. Consultation unfurls in three spheres:

■ the *Assemblée nationale* (National assembly), through its *Commission du développement rural et de l'environnement* (rural development and environment commission), which instigates environmental legislation alongside the *Haut Conseil des collectivités* (community high council);

■ the *Haut conseil des collectivités* is responsible for reviewing and sharing its views on all local and regional development policies (the government is required to ask for this council's views on these issues);

■ the *Conseil économique, social et culturel* (économic, social and cultural council) has authority over all aspects of economic, social and cultural development. This encompasses issues such as protecting the environment and promoting quality of life.

As far as water management is concerned – and more practically speaking – consultation will be possible through the basin commissions, committees and water-management bodies that have been established or are already operational at different levels in the Government (cf. "The legal and institutional framework in Mali" p. 227).

The *Commission nationale de gestion des eaux* (national water-management Commission) is a good example. Since its inception, this agency has been working to strengthen ties between the thereunto remote organisations running Selingue and Markala. These efforts, in particular, have allowed Markala (and hence the *Office du Niger*) to tap regulation at Selingue more efficiently. This organisation has also set the low-water floor downstream from Markala at 40 m^3/s, in the interest of users in that section of the river.

Planning is in the hands of the various relevant ministries and of the national agencies reporting to them. Planning, here, involves defining sector-specific policies in the form of master plans. All sector-specific policies are now coherent from a theoretical standpoint and in line with CSLP (*Cadre stratégique de lutte contre la pauvreté*/poverty reduction strategy), the country's political beacon directing all sector-specific policy. The SDDR (*Schéma directeur du secteur développement rural*/master plan for rural development), has been and will be shaping rural endeavours from 2000 to 2010. Its strategy stems from an analysis of developments in the area and from across-the-board consensus (encompassing the State, territorial communities, users, associations and partner development organisations. That strategy maps out areas of responsibility and lays the foundations for development programmes in the area. Developing irrigation is a top priority. Efforts in this direction have spawned the SNDI (*Stratégie nationale de développement de l'irrigation*/national irrigation-development strategy). This scheme focuses principally on developing total-water-control operations and pursues six main goals, namely:

- streamlining irrigation-infrastructure design and cutting costs;
- involving NGOs, helping them to access financing;
- improving irrigated-area management;
- increasing irrigated-area production and yield;
- reforming the sub-sector's institutional and legal environment;
- minimising the negative environmental and social impact of irrigation.

Generally speaking, the SNDI's choices aim to increase irrigated areas and to enhance production-system yields.

Monitoring and circulating information

State agencies in charge of each environmental sectors or subsector gather, monitor, circulate and compile information – mainly by collecting data and publishing statistic reports on a regular basis – separately. Combined, they could provide a fairly good picture of the various aspects of Mali's environment and rural sector – and in particular of those around the Niger River. The DNH gathers the bulk of the hydraulic information and stores it in Hydrom, a database that is currently being upgraded (Hydraccess). Table 17 (p. 234 to p. 239) shows the systems used to gather and monitor information about the Niger River.

Table 17 – Systems and organisations gathering, monitoring and circulating information

Field	System	Institutional branch	Information it collects
Surface water	Radio, Telephone, HF transceiver, PCD (data-collection platform), hydrometric network terminal	MMEE DNH	Watercourse height and flow
Groundwater	Piezometer network	MMEE DNH	Standing water levels
Hydraulic schemes	Watercourse improvement projects	MMEE DNH	* Flow * Rainfall * Geotechnical surveys * Topographic surveys * Topographic data
Rural hydraulics	Drills and wells	MMEE DNH	* Number of projects * New drilling * New wells * Pump equipment * Refurbishing projects
Water quality	Water quality	MMEE DNH LQE *(Laboratoire de la qualité de l'eau/* Water-quality Laboratory)	Physical, chemical and bacteriological parameters
Meteorology	GTPA (Meteorological Assistance Pluridisciplinary Working Group) (Radio, TV, Newspapers, BLU)	DNM (*Direction nationale de la météorologie du Mali*, Mali's national meteorological department)	* Rainfall * Water levels * State of plantations * Pastures * Plant health * Animal health * Fishing

Table 17 –

Information it produces	Frequency	Geographic scope	Software
* Monthly, ten-day and weekly reports * Notes on swell * Hydrological directories	* Weekly * Ten-day * Half-yearly * Yearly	* National * 100 hydrometric stations	* In-house software (Gestra, Ghenis) * Specialist software (Hydrom, SAFARHY, IDRISSI and Hydraccess) * Common software, electronic messaging
Piezometer directories	Biannual	National	* Common software
Technical reports (sand levels in navigable canals, buoy placing, pier repairs, bank protection)	Continuous	National	* Common software * Specialist software
* Charts sent to directors on a weekly basis * Quarterly reports * Monthly reports * Yearly reports	Continuous	National	* Common software
Water analysis certificates	Daily	National	* Common software
* Ten-day reports * Monthly reports	* Rainy season * Dry season	National	* Specialist software (CLIMBASE) * Common software

Table 17 – Systems and organisations gathering, monitoring and circulating information

Field	System	Institutional branch	Information it collects
Meteorology	Farming weather	DNM (*Direction nationale de la météorologie du Mali*, Mali's national meteorological department)	Number of monitored peasants
Meteorology	Information system for users	DNM	* Rainfall * Temperature (maximum, minimum and average) * Wind (direction, speed) * Sun * Evaporation, evapo-transpiration (ETP)
Environment	Information about the forest	* MEA * *Direction nationale de la conservation de la nature* (National nature conservation agency)	* Logging figures for listed forests) * Woody-resource potential * Forest flora
	Information about the fauna	* MEA * *Direction nationale de la conservation de la nature* (National nature conservation agency)	Number and variety of existing species
Navigation	RAC (autonomous radio system)	Ministry of Equipment and Transport	* Goods and passenger transport * Position of units
Drains	* Sanitation * Pollution and nuisance control	MEA	Nuisance caused by: - household wastewater - cottage-industry wastewater - factory wastewater - water hyacinths

Table 17 –

Information it produces	Frequency	Geographic scope	Software
* Monitored fields * Non-monitored fields	Rainy season		
* Weather directories * Seasonal forecasts	* Annual * July, August, September	* National	100%
* Quarterly reports * Annual reports * Sahel Vert (Green Sahel) reports	Continuous	National	
	Continuous	National	
* Weight of goods and number of passengers * Schedule of units	6-month campaigns	Koulikoro to Gao	Ticketing, freight and passenger transport, secretarial
* Information * Awareness raising * Education	Monthly, quarterly, half-yearly and yearly reports	District of Bamako	Internet connections

Table 17 – Systems and organisations gathering, monitoring and circulating information

Field	System	Institutional branch	Information it collects
Rural development	Current documentation library	* *Direction nationale d'appui au monde rural* (national rural-support agency) * Ministry of Agriculture	Figures for Mali's crop year: - Sown areas - Harvested areas - Production - Input quantities - Yield
CMDT (*Compagnie malienne de développement textile*/Malian Company for Textile Development)		MA (Ministry of Agriculture)	* Results report * Sales report * Purchasing report
Agricultural studies and research	IER (Institute of Rural Economics)	* Ministry of Agriculture * Ministry of Livestock Farming and Fishing	Agricultural production studies and research
			Fish-production studies, research and monitoring
			Developments in agrarian systems
			Agricultural policy analysis
Animal health	RAC (Autonomous radio System), fax	Ministry of Livestock Farming and Fishing	Infectious diseases (OIE lists A and B)
Fisheries harvests	Landing statistics in Mopti (Opération Pêche Mopti)	Ministry of Livestock Farming and Fishing	* Fished quantities by variety * Quantity of fish sold

Table 17 –

Information it produces	Frequency	Geographic scope	Software
* Activity reports, radio and television programs * Production * Previous-year comparison	* Library and ongoing production * Monthly report * Ten-day report * Yearly report	* Computerised document directory * Zone, regional and national	* Electronic messaging * Common data-processing software
* Surfaces * Operations * Production * Sales * Cotton disposal * Ginning * Population	Records kept all the way up the hierarchical ladder, provided the management system lasts	* Entire Sikasso region. * Part of the Kayes region * Part of the Segu region	* All senior management * Regional authorities (store accounts and general treasury)
Agrarian system development	Multi-year and yearly	Zone, national and regional	* Web site * Common software * Specialist software * Data-processing software * Geographic information system * Spreadsheets
Resource status, production indexes	Multi-year	Niger River inland delta, mainly	
New agricultural-policy guidelines	Multi-year and yearly	Zone, national and regional	
Trends in agricultural branches	Multi-year and yearly	Zone, national and regional	
* Bill of mortality * Available vaccine quantities	* Monthly reports * Annual reports	National	* Electronic messaging * Data-processing software
Quantities of fresh, smoked, burned and dried fish	* Monthly report * Annual report	National	* Electronic messaging * Data-processing software

The problems: how they are addressed today

In this section, we will focus on problems – i.e. the particularly complex issues that authorities have to tackle. In most cases, these problems arise where forcing-factor dynamics (the weather, for example), living-resource dynamics, user dynamics, social dynamics and institutional dynamics cross paths. These are the factors we reviewed separately in the previous chapter.

We suggest classifying theses problems in four categories. First of all, we will look at hazards. Hazards are sometimes sudden, do not last long, and are triggered by random factors. People have little or no control over hazards. Second, there are tensions. Tensions include ongoing friction and overt or concealed affliction due, to a large extent, to human activities or institutions. Third, there are threats. Threats are not yet news, but they will jeopardise the future – especially if the organisations in charge of them do nothing to thwart them. Environmental dynamics – by themselves or compounded in a negative or unforeseen manner with human behaviour, play an important role in these first three categories.

Lastly, there are what we will call "institutional difficulties" in reference to the thorny issue of improving governance systems. We expect institutions to find a way of sheltering people from environmental threats and nurturing consensus on how to share wealth.

But, before reviewing the problems associated with the categories listed above, it is important to take a quick look at another problem: health (and river diseases in particular). It is a known fact that a number of human-pathogen viruses, bacteria and other agents (worms and protozoa), and a number of animals (insects and molluscs) that carry those agents, live or indeed thrive in tropical water environments. The people in the Niger River valley – not unlike people in the other damp Sudan-Sahel areas – thus face heavy morbidity and mortality rates. Malaria, schistosomiasis, cholera (with endemic seasonal outbreaks in the region of Mopti), leishmaniasis and

carbuncle are the main causes (even though carbuncle affects cattle, mainly). Other infectious diseases, more linked to poverty and behaviour patterns than to the natural environment, take heavy tolls as well. These include trachoma, meningitis, amebiasis and hepatitis varieties, tuberculosis, and AIDS. These diseases, along with the fact that healthcare facilities are scarce in rural areas and that transporting the sick is difficult, explain the notoriously sombre health statistics. The region of Mopti, on the Niger River's inland delta, stands out with an infant mortality rate of 325/1000 between 0 and 4 years of age against a 237/1000 national average (Coulibaly *et al.*, 1996). A number of studies have shown that irrigation schemes can help river diseases spread in tropical regions (Samé-Ekobo *et al.*, 2001).

Risks associated with hazards

Bad-weather years

The phenomenon and circumstances

This is the biggest risk for rural populations. A lack of rainfall compounded with a poor swell is a real and practically unpredictable possibility every year. Bad years hit farming and fishing campaigns (as well as livestock farming). They are also frequent: since the 1970s, observers agree, rainfall and swells have been "fairly bad" or "very bad" at least one year in three. This weather hazard often blankets the Niger River basin across Mali. Rainfall is also poor in neighbouring Sudan and Sahel those years. Poor flow figures in the Niger River's upstream and middle stretches correlate to poor rainfall upstream (logically) but also hinge on rainfall in the Niger River's stretch through the Sahel (which could be otherwise, as rain in the Sahel does not "make or break" the Niger River's swell). The result is that there are not many chances of compensating generally unfavourable conditions (poor swells and problems with flood-fed crops) with isolated favourable conditions (rain and rain-fed crops) which could, in specific places, be more favourable.

The reverse does not apply: a given year may bring generous rainfall and a healthy swell, but the conditions for certain crops may be bad in certain places. Here, finer weather hazards are at work: how well or otherwise rainfall and swells synchronise, for instance, will make or break production in traditional rice-growing schemes.

The impact

Bad-weather years (such as 2004) have a huge social and economic impact. The rural populations can face food shortages during the following year's gap phase: cereal can indeed run out in May or June, when the following harvest is not due until October or November. The country's economy as a whole suffers as well: the balance of trade weakens (Mali has to import rice and frozen sea fish) and growth sputters (or the economy goes into recession).

The management approaches

Bad-weather years are one of the harshest chronic woes that authorities in Sudan-Sahel countries such as Mali have to cope with. They have a number of options:

■ sending food aid to help affected rural populations (and targeting it not to shake the agro-product market's balance). This is what the World Food Programme does at the SAP's (*Système d'alerte précoce*/Advance Warning System) request;

■ building large irrigation schemes to shelter parts of the farming population from these hazards (provided, of course, that these schemes can stock up enough water upstream);

■ trying to contain the impact by circulating information that will help people avert hazards a few weeks before they occur, and handle them more efficiently once they do (for example altering their annual crop strategy or investments in fishing; the Agrhymet regional system).

Exceptional swelling and flooding

The phenomenon and circumstances

As we have said, one of the Niger River's hallmarks is its ample swell. Swells usually build up gradually over several weeks and crest as soon as the rainy season ends. Crests then move downstream between Bamako (in early or mid-September) and Gao (in late December or January). They abate (or flatten out) as they move downstream.

Flooding, it follows, is a routine phenomenon that comes around every year when the swell reaches each area in its turn. It includes all the banks and adjacent plains. In the delta region, this flood stretches several thousand square kilometres and lasts seven to ten weeks centred in September to November.

Generally speaking, the livestock and people are familiar with and expect these flow and water-level cycles. They work around and move around the river's cycles, and know how to harness them to improve their production.

So, before looking into how floods can threaten human lives and endeavours, we have to distinguish what, within this annual regime, can be considered a threat. There are two such events:

■ swells may rise at a normal pace (gradually) but build into exceptionally high crests;

■ swells may rise faster than usual (over 5 cm a day) at a given point or on a given reach.

Then we can analyse the circumstances that promote these events. Here, two or three fairly different events are worth pointing out. These follow:

■ type A events are actually the opposite of poor-weather years: they are years that bring excessive rainfall. DNH frequency analyses have linked swell levels to recurrence patterns. There are decade swells (one, on average, every ten years), century swells and so on. This gives a fairly good idea of the chances of such a hazard occurring. However, definitions such as these are incomplete without another factor: generation perception. The 1994 swell hit the 6.44 m mark in Mopti. That was perfectly normal by the century's statistical average. But people remember it as exceptional because it followed 20 years of very poor floods. Young people had never seen swells reach those heights, and their elders no doubt had some trouble remembering the ones that had. Comparable floods in 1999 and 2003, of course, were not perceived that way;

■ type B events can be linked to particular meteorological circumstances. Very abundant rainfall in the Niger River's upper basin at the end of the rainy season builds up a 15 to 40 cm "swell peak". This peak can last a few hours or several days. It rides the river's seasonal swell wave which is also at its crest. If Selingue is already full (at maximum security level), it can not absorb the water from Sankarani, so that swell merges into the Niger as well. These swells travel very fast down the river to Bamako or Koulikoro, and cause some damage on the banks. But the crests do not go very far: they dwindle as soon as they reach the low banks and flooding plains that spread them out sideways. These phenomena probably occur between 10 September and mid-October (as in 2001). Deforestation along tributaries exposes soil to stripping, accelerates flow rates, and exacerbates this phenomenon.

Different circumstances (Type B^2 events) can also cause water levels to rise very fast: incidents or accidents in hydraulic facilities (the worst-case scenario, of course, is a dam failure). In these cases, swell crests can occur any time of year. They may not be high, but they are sudden. That is why they can damage facilities or wreck human endeavours. If Markala spillway gates open too fast during the low-water stage, they can cause flooding as well. Again, these swells only rise about 10 to 20 cm, but their effects are noticeable quite a way downstream (as far as the delta). This is because, during this season, the river is in its narrow bed (which concentrates and propagates waves).

The impact

Type A events do not carry much of a risk for rural populations and endeavours: people there have always known better than to settle in the lower parts of the valley and delta. Traditionally, they have only built light-duty dwellings using plants and trees, in what are called *campements* (camps). These *campements* usually only stand for a season, as dwellers desert them when the swelling comes round again. Some, however, can become permanent *banco* (dry-sludge) houses when poor flooding stretches over a number of years. They would still be fairly easy to evacuate should the need to do so arise: the people living in them (fishers and rice farmers) usually have pirogues. Other people living in rural areas are less prepared, but lead sedentary lives in villages on high mounds (*toguere*) which never flood.

This is not the case with urban and – especially – suburban populations: people leaving their villages and moving to city outskirts may not have a chance to get to know the area before unknowingly or unwillingly settling in flood-prone dips or *bas-fonds* (the name of a neighbourhood in Mopti, and the French term for a dip and for a shanty town). Unusually high swells can hit these people hard: they could take their belongings, contaminate their wells and flood their neighbourhoods, turning the area into health hazards and allowing diseases to spread. Such floods could also hit industrial or storage facilities, damaging them and possibly releasing noxious chemicals into the river.

In Mali's stretch of the Niger River, type B and type B^2 events (sudden natural or artificially-caused water-level surges) have not, as yet, reached catastrophic proportions. Indeed, in the upstream reaches, around Bamako, a fast (relatively speaking) rise in water levels can wash away fishing boats

and tackle (about 100 were lost in September 2001), surprise riverside-warehouse caretakers (who might not be able to move the merchandise into a safe place on time) or surprise staff running takeouts in small irrigated areas (meaning the plots might flood too fast). But, at the end of the day, the effects are limited and have not, apparently, caused the loss of human life. These phenomena are not particularly frequent, either (they occur once every five to ten years). The biggest risk, again, would be that the flood poured large amounts of poorly-stored pesticides or hydrocarbons into the river. If this occurred on a large scale (if a large dam wall broke, for instance), it would obviously be much more serious and could threaten human life.

In any case, the risk of flooding (i.e. the chances of a flood occurring and its breadth if and when it did) has not changed at all over the years. What have risen sharply are the associated risks: more people are settling right by the river. Fast population increases in cities and Mali's economic development of course explain much of this trend.

Management approaches

There are three aspects: prevention (involving zonation, counteracting erosion and regulating swells), fast warning capabilities, and the ability to deal with a catastrophe when one occurs.

The best way to prevent all flood-related risks (whatever the type) is to limit human dwellings in flood-prone areas. This involves splitting an area into zones and mapping risk levels in each zone. Mapping out the chances of flooding in each zone, however, would not be enough. It is important to map out how floods might occur in each zone (whether they might strike suddenly or build up over a period of time, when they might occur, etc.), in particular in reference to A, B and B^2 events. In some high-risk areas, factories or warehouses should not be allowed, under any circumstances, to use or store products that could pollute the river. This involves enforcing zone-specific rules once they are written down. It will be especially difficult to do so in towns, where pressure on land is high. As an aside, mapping out rural zones should not entail banning fishers, rice farmers and breeders from setting up seasonal camps in low areas (they build these camps to be near their work at that time of year).

Counteracting erosion in the upper basin by limiting flow speeds could reduce the chances of Type B events.

Preventing and regulating floods is difficult – or perhaps indeed impossible – in Mali at this point in time. Selingue is responsible for keeping the river's level under 370 cm in Bamako to avert catastrophes. It should also be able to absorb sudden swells from exceptionally copious rainfall in the upper basin until the beginning of September (i.e. as long as the lake level does not get near its maximum security level, 349.00 m). But, in practice, the river's seasonal crest reaches Bamako on 10 or 15 September. At that point, Selingue is full (or almost full), and can not absorb the swell. That is when a high-water crest could be dangerous for the city. So Selingue's role mitigating unexpected swells is very limited. The September 2001 flood (which Selingue was unable to contain) proves this point. And this dam, it is worth adding, is on one of the Niger River's tributaries.

Early-warning systems are important mainly inasmuch as they take the surprise element out of sudden flooding (Type B events), by giving people and businesses time to prepare. They would also, of course, play a critical in the case of a serious event (caused by a broken dam). Using government and military radio stations as well as national and local radio stations could save lives.

Containing a catastrophe once it hits involves limiting the human, economic and environmental consequences. Current plans involve the following:

- providing for the populations' needs. This includes providing emergency accommodation (in classrooms), securing water supplies (protecting wells to avert health hazards), moving people to safe areas, providing temporary living quarters there (and providing light, water supplies, etc.), providing food for at least three months, and providing medical care for victims;
- draining or pumping stagnant water out of flooded homes, villages, towns and plots;
- assessing the impact of the floods on production and providing for the population's subsistence accordingly (deferring loan repayments, supplying 900 kg of grain for each hectare of forgone harvests, preventing epidemics that might affect livestock).

Water pollution

The phenomenon and circumstances

Other circumstances – most often involving human activity – can also trigger serious pollution. Examples follow.

■ Wastewater-treatment incidents in the Huicoma plant in Koulikoro. This plant usually only treats about 40 to 60% of its wastewater and pours the rest into the river. When its system fails (as is often the case), it pours all its wastewater into the river.

■ Wastewater-treatment incidents in the Siribala plant. If the backflow pump breaks down, water pours into the *Office du Niger*'s arterial drainage, momentarily polluting the water there.

There is also a risk of massive hydrocarbon spillage causing exceptional pollution (incidents while handling storage tanks or accidents involving fuel tankers are the biggest risks).

Massive rainfall can hit intensive-farming areas (cf. "Agricultural pollution in the river" p. 199) and also cause severe pollution. Such phenomena seem to occur in the upper basin during the rainy season, causing isolated fish mortality in the Selingue impoundment. In 1993, 1997 and 1998, heavy rain caused DDT pollution in the river by Bamako (whether the DDT came from farms is not yet entirely clear). This episode only lasted a few days but was serious enough to disrupt life in that city.

Lastly, certain hydro-geological configurations can promote pollutant migration to extremely sensitive areas. Bamako's deep groundwater table, for instance, is fed by the river through a fault. It could, therefore, be exposed in the case of severe pollution.

The impact

All in all, severe pollution episodes to date have been fairly small in size and mainly only hit fish. In Koulikoro, for example, waste-related incidents have killed fish several kilometres down the river. In Siribala, fishers have seen that high pollution concentration can cause instant fish asphyxiation. This deadly effect is noticeable about 20 km beyond the pollution source. How long it lasts is not yet clear but, according to fishers, it can last about one month.

Management approaches

Handling these incidents involves prevention (through regulation and by improving treatment systems, essentially), and detection and warning capabilities (reaching the populations that consume the water). When DDT pollution was found in the river's waters in 1993, 1997 and 1998, the population and EDM (*Énergie du Mali*/Mali's power utility) network users were warned through the press.

Pest proliferation

The phenomenon and circumstances

Insects (locusts and grasshoppers), rodents and small birds proliferate often in the Sahel region, and assail the Niger River valley and inland delta (as well as other regions). The causes triggering this phenomenon are varied and complex: they hinge on ecological processes and on climatic factors. Locust proliferation has been studied in depth, and ranks among the most spectacular such phenomena. The last locust proliferation stretched from August to October 2004. One of this phenomenon's hallmarks is that it generally occurs after a string of good-weather years, i.e. years bringing adequate rainfall in the Sahel and in other areas skirting the Sahara (in the Maghreb). Proliferation of harvest-devastating small birds, conversely, tends to be more regular from one year to the next.

The impact

The impact of these proliferation phenomena is akin to that of a bad-weather year. Pest proliferation usually occurs on a smaller scale but nonetheless takes a toll on harvests and can cause a food shortage the following year.

Management approaches

Several organisations and several national and international programmes (Agrhymet, PICDCS, FAO) play an active role trying to forecast, forestall and thwart predator proliferation. An agreement that will involve coordinating and running a sub-regional scheme to counter grasshoppers (Cosrela) was recently drawn up.

In the case of a confirmed catastrophe, food aid (WFP) can promptly be made available for the targeted populations in the hardest-hit areas, through the advance-warning system (SAP).

Tensions and how they are handled today

Two of the tensions that can degenerate into open conflict or, conversely, that appear as persistent but only barely perceptible or indeed silenced friction, stem directly from sharing water (cf. "The impact of hydraulic schemes on flooding and flood-dependent production systems"

p. 250), wetlands and other areas near the water (cf. "Tensions between farming and transhumant livestock farming over sharing land during the flood recession and dry season" p. 255).

The impact of hydraulic schemes on flooding and flood-dependent production systems

The size of flooded areas (and therefore the height of the swell wave), as we have seen, has a strong impact on production systems and users (cf. "River-usage characterisation and performance, water requirements and relative impacts" p. 184). This is principally the case in traditional (unaided) rice-farming areas, rice farming in controlled-flooding areas, fishing, and itinerant livestock farming. None of these systems are very productive (and three of them can be fittingly described as "extensive"). However, they can share the same area, using it in turn as seasons go by. Typically, a hectare of flooding plains can produce 100 kg of traditional rice (because crop areas only account for 10 or 15% of the flooding plains), 50 to 100 kg of fish and 7 to 10 kg of meat a year. That hectare of flooding plains does not produce that amount of meat alone (herds spend part of the year on Sahel pastures). But it is fair to say that, without the flooding plain and the fodder it produces from December to June, meat production would almost or entirely disappear. Fish production is similar: fish are often caught on river beds, but grow up in the plains. Without those flooding plains, the river would not, strictly speaking, produce much. In some cases (fish, for example) the productivity ratios provided above can be confirmed by statistical links between changes in regional production and changes in the size of the flood covering these plains. All this goes to say that flooding plains are environments that produce generous and measurable amounts of food. These environments supply most of Mali's fish.

It is also important to remember that these traditional flood-dependent production systems provide livelihoods for a large population. If we assume that three-quarters of the people living between Ke Massina-Djenne and Timbuktu live off one or more of these endeavours or off processing or selling the produce, it is plausible to say that 900,000 people live off these activities.

How upstream hydraulic schemes might impact flood levels has to be understood in this light. As we have seen, existing schemes may only have a modest impact. But they are not inconsequential. The gradient linking swell levels and flooded delta areas is well known, at least for the area south

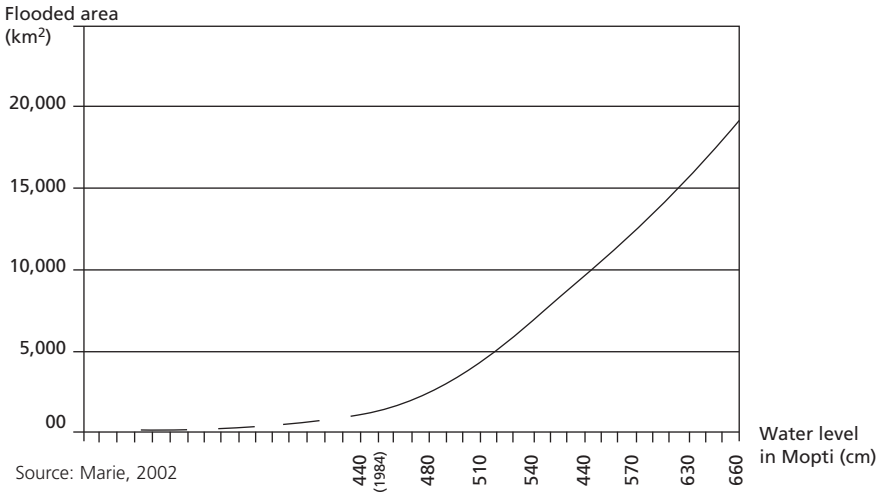


Figure 11

Flooded areas in the delta (up to lake Debo) paired with swell levels in Mopti

of Lake Debo (fig. 11): in common swell brackets (between 5.60 m and 6.40 m in Mopti), a 10-cm rise in water levels (again, in Mopti) floods about 980 km^2. of land. A 10-cm drop in water levels, it follows, will have a sizeable impact on production systems in the plains.

Some authors have gone further and suggested ways of calculating production losses in the delta. One (Laë, 1992a) has attempted to peg fish-production losses to water-level drops due to upstream swell diversion. Speculative mathematics aside, the data provided here seems to be enough to contend that river management and schemes have to take the needs of production systems in flooding plains into account.

To date, these requirements – mainly expressed in terms of swell levels and flooded areas – have not been properly factored into scheme-opportunity surveys or into scheme-management guidelines. Moreover, figures supplied by official hydrological agencies (which focus on water quantity and flow rates, never on water levels or flooded areas) only provide total annual diversion or instantaneous discharge rates during low-water stages. That information is irrelevant to swell management.

Lastly, ample natural flood variation (from one year to the next and from one decade to the next) makes it difficult for delta populations to make out exactly how much water they lose to diversion and storage upstream. Society as a whole has not broached this question in enough detail. However, some communities (fishers, especially) have long accused the large dams (Selingue in particular) of wronging them.

All this explains why the issue of how to distribute the Niger River's swell water in Mali is not addressed at the right level today. But new schemes in the upper basin (Fomi in Guinea, for example) and possible *Office du Niger* extension plans should provide an opportunity for experts and for Mali's society as a whole to broach this question.

User friction over low-water flows

A look at requirements associated with different endeavours and uses (cf. "River-usage characterisation and performance, water requirements and relative impacts" p. 184) shows that low-water stages (February-June) spark fierce competition for the scant available water. This competition, broadly speaking, can be described as follows:

- on the one hand, diversion into large gravity-governed areas during the low-water stage (*Office du Niger* mainly, and Selingue and Sotuba far behind) to irrigate off-season crops (market gardening and a little rice, from February to May) and to start watering rice beds for the coming plantation during the rainy season and swell;
- on the other, the needs of users downstream. These needs span the whole spectrum: pump-irrigated village plantations, smack navigation, household consumption (for riverside population all the way down to Niamey), maintaining at least minimum water levels for fish-resource survival, and drinking water for cattle.

The water released from Selingue upstream eases some of this tension with a 70 to 120 m^3/s boost to natural flow rates during this season. This typically keeps rates at or above 40 m^3/s after Markala (on *Commission nationale des eaux* instructions).

This management approach works fairly well inasmuch as it keeps flow rates at more or less the same levels as stations in Mopti recorded in the same season in the 1950s and 1960s. These minimum flow rates seem to

be enough for the ecosystem (for fish, especially). However, some users downstream – water consumers in the city of Niamey, especially – feel that the shortage is worsening – either because the number of consumers is increasing or because the small amounts of water diverted here and there up the delta (and pumped into small village irrigation plots) have finally started making a noticeable dent in the flow. Whatever the case, historically, the Niger River has always had severe low-water years in Niamey.

To minimise water diversion during low-water stages, *Office du Niger* would like to cut back off-season rice production (or stop it altogether) and plant crops that use less water instead.

Poor scheme water efficiency

As we have said ("Agriculture", p. 190) large hydrologic schemes (such as the ones that *Office du Niger* runs) do not use water efficiently enough. Firstly, the networks waste a lot of water.

First of all, there are huge differences between flow rates in Markala and flow rates entering the primary canals: data collected in the 1995-1996 campaign show that nearly 40% of the 36 000 m^3/ha that enter the scheme are wasted. Large pipes and *falas* (infiltration, evaporation and discharges to regulate water levels) explain some of the loss. Off-bed plantations explain another portion (water supply, in this case, can not always be controlled). But efficiency in second-tier and third-tier networks is also a problem: some divisors and irrigators supply less water than an area theoretically needs, and others supply twice as much water as necessary.

Based on PSI (*Pôle système irrigué*/irrigated system unit) research, we can summarise the situation as follows.

■ Water loss in hydraulic systems upstream of the *Office du Niger* (Sahel canal, Molodo *fala*, etc.) account for 40% of the total volume delivered by Markala. In other words, 60% of the water reaches the irrigation canals and beds.

■ Of the 60% that reaches irrigation channels:

– 20 to 25% (i.e. 12 to 15% of the total delivered by Markala) is lost to infiltration in the irrigation canals themselves, especially off season;

– 35% (i.e. 20% of the total delivered by Markala) is lost to bed drainage during the rice-farming season;

– 40% (i.e. 25% of the total delivered by Markaka) is actually used by plantations.

During the rice-farming season, water consumption using Retail dispenser valves stands at 14,700 m^3/ha (in line with the *Office du Niger*'s 15,000 m^3/ha target). Factoring in drainage loss and rainfall, each hectare receives about 12,000 m^3 on average. This is enough for rice plantations (Beau, 1981).

The results, however, mask the sharp differences between regulation systems and how easy or otherwise they are to run. Regulating divisors equipped with facings (Grüber beds) seems to be the most efficient option (in spite of the fact that they have control valves in the irrigating nozzles, meaning that they supply less volume at a more regular pace). Irrigator regulation with mask dispenser valves (Retail) is not efficient inasmuch as the instruction levels are fulfilled in the divisor. Regulating divisors using flat valves and irrigators with part modules (Kouya beds) is the least efficient option. This variability increases at the divisor and at the sprinkler level.

Out of season, the 5,850 m^3/ha of water that enter the scheme are far higher than plantation requirements, which only represent about 20% of the area using Retail divisors. Watering the network entails losing an estimated 1.5 mm per day to infiltration. This water builds up in groundwater tables and rises back to the surface by capillarity. When it does so, it brings salt with it. This damages paddy fertility.

Another way of assessing water efficiency in a given area is looking at the way in which costs are distributed and at whether they could give users a greater sense of responsibility. At this point, the levy that farmers pay only covers primary and secondary network maintenance and water-management services: it does not cover the amount of water they actually use. One way of improving efficiency could involve new management schemes that include – in particular – pegging levies to water consumption.

Generally speaking, improving water efficiency in these areas is a top-priority *Office du Niger* goal and part of SNDI's broad agenda. This is also one of the goals of international development projects such as Appia (*Amélioration des performances des périmetres irrigués en Afrique*/improvement of performances on irrigation schemes in Africa).

To a certain extent, we can hope that extending irrigated areas will in itself spur greater efficiency. Stretching irrigated areas will involve stretching water resources, and therefore entail administrating it more efficiently, even if doing so involves improving network and paddy upkeep, improving infrastructure, and improving work-organisation and planning.

Whatever the case, implementing the various technical and management instruments to improve efficiency seems to be a *sine qua non* in efforts to extend irrigated systems with equanimity (which, in turn, is a political goal). The impact that these systems have on high-water and low-water flow levels has to accommodate users downstream. Diverting substantially more water into irrigation schemes will necessarily involve building a new storage and discharging dam upstream to support low-water flows and to keep them at the prescribed 40 m^3/s downstream from Markala – which, at the end of the day, would be tantamount to diverting more swell water.

The *Office du Niger*'s new plan to increase water efficiency involves cutting back (or even banning) off-season rice plantations and using areas now operated out-of-bed for extensions first.

Tensions between farming and transhumant livestock farming over sharing land during the flood recession and dry season

In 1989, flood-fed rice plantations spanned 160,000 ha in the delta ("Agriculture" p. 190). These plantations were nomadic: farmers moved their paddies according to where they believed the swell would benefit them. The last 50 years have seen these crop areas grow in tandem with the population. Poor flooding in the 1970s and 1980s drove rice farmers to deeper basins, where they cleared the inland delta's best pastures (the *bourgoutières*, in particular).

Back in 1952, *bourgoutières* were only rarely cleared. By 1989, however, 51,252 ha had been cleared and turned into rice paddies, sparking friction between farmers and herders. The hardest-hit areas are around Mopti and Tenenkou, Yongari-Mangari to the south, and along an imaginary line from Mourra to Sorme through Togoro Kotia. At that point, in other words, a quarter of the *bourgoutières* had been cleared. This phenomenon has not hit every area homogeneously. Clearance rates, by the yardstick used in today's rural communes, can swing from 0% in one area to 82% in another.

The most worrying cases are in communes around Tenenkou, south of Kewa, and in communes around Mopti (Socoura and Sio mainly). This is worrying for two reasons: first, it means herders are losing substantial amounts of grassland; second, it generates conflicts.

Herding "infrastructure" (trails and shelters) is also under serious threat. In 1989, herders could not access 242 of the delta's 1,014 shelters because of plantations. In other words, about 24% of the delta's shelters were planted over. That, incidentally, was about how much *bourgoutière* had been cleared.

A little later in the season, when the low-water stage came around (in the hot season), other issues surfaced emerged. Small village irrigation areas were "on" or "near" the paths that herds followed to water (which, of course meant that cattle trod on intensive crops).

Settling these problems is a constant worry for territorial authorities and, today, for communal councils.

Threats for the future

Farming schemes could jeopardise fish production on the plains

Controlled-submersion rice plantations (ORM-type) and, to a lesser extent, village irrigation areas, are at issue here.

Fish need unobstructed access (or at least unobstructed paths) to different areas in the water environment they dwell in (at least during the swell) to breed (Benech, 2002). Almost all fish species need to access the plains to breed, feed and grow. The proliferation of facilities (small dams and gate structures) by the river (to postpone paddy and bed flooding) obstruct access and end up denaturing the flooding-plain environment. Many species are scared of venturing into the narrow whirling courses created by the valves and spillways, and end up deserting these areas. Only a few species such as the *Tilapia zillii* can thrive on those plains. However, as they can damage crops, rice farmers build barriers along the small internal canals to block them (understandably, after all).

Unchecked, these efforts to turn plains into controlled-submersion rice paddies could well hamper fish production across the delta. But there are

schemes that allow rice and fish production to coexist (and indeed create synergies). These schemes are used extensively in Asia, but have not yet attracted enough attention in Africa's rice-growing areas (especially in the Sahel region) in spite of their self-evident potential (Cofad, 2002).

Threats to nation-wide food security

The population increase will also spell considerable changes in population structure (cf. "Large hydraulic schemes" p. 184). In 30 years' time, about 50% of the population will live in cities. This means that the 50% of the population living in rural areas will have to produce enough food for themselves and for the other half. As unpredictable weather patterns hamper rain-fed crop yields in general and cereal production (millet) in particular, this is an issue.

That is why the government has focused on boosting rice production (which "took off" in the late 1980s). To do so, authorities have put water management at the core of its agricultural-development agenda (MDRE, 1999). This strategy, SNDI (for *Stratégie nationale de développement de l'irrigation*/national irrigation-development strategy) involves building controlled-irrigation schemes for an extra 50,000 ha by 2007, plus shallow-water and controlled-submersion schemes for another 14,000 ha. By 2025, the goal is to extend the *Office du Niger*'s irrigated land area by 120,000 ha, to a total 200,000 ha.

Even if these gravity-governed schemes were radically more efficient, irrigating the new areas would still involve diverting more water from the river during high-water and low-water stages alike. This would take us back to the critical scenario outlined above, involving the need to build a new storage/discharge dam upstream to support low-water flow. This would take an extra toll on the swell (especially when it reaches the delta) and therefore shrink flooded areas further. The risk, in other words, is that boosting rice production could tax meat and fish production (and fish production only barely covers the population's needs today).

Lastly, developments in the world rice market are a factor that warrants consideration in farming-development policies, especially when arbitrating between the various options. As a reminder, one of this market's features today is the slight surplus coming from Asia. But this could change in coming years: Asia's population will continue to increase, available farmland continue

to shrink (from 0.15 to 0.09 ha per person), and the green revolution should wane (Trebuil and Hossain, 2004). Paradoxically, this scenario would be good news for Mali, as it would help its rice trade develop.

Institutional issues hampering efficient environmental and natural-resource management

NBA issues

Using the Niger River's water more efficiently involves arbitrating between its various users and, first of all, between the countries skirting it. These decisions can only be made through *ad hoc* institutions. The idea of establishing a public organisation to improve and develop the Niger River basin is not new: it dates back to the early 1950s (the end of the colonial period), when MEAN (*Mission d'étude et d'aménagement du Niger*/Niger River research and improvement agency) was founded. This organisation controlled the river from its sources in Guinea to the Nigerian border. The agency that replaced MEAN, the CFN (*Commission du fleuve Niger*/ Niger River commission) was founded by the 1964 Act of Niamey (an agreement on navigation and economic cooperation between countries on the basin). This agreement showed that the Niger Basin's new countries ranked river infrastructure and water management high on their agendas. Results, however, did not live up to expectations. Besides a 1970 study on the river's navigability, the CFN achieved little. Its human and material resources never matched the mandates and colossal hopes that had been invested in it. In 1980, 17 years after its foundation, the CFN was replaced by the agency that is regarded as the basin authority today.

NBA has had a difficult time. High hopes surrounded its inception, but its financial situation had become nothing short of catastrophic by 1986 (most member states had stopped paying their dues). But financial problems are only part of the NBA's long crisis. Institutional issues explain the rest. The ties that shaped cooperation between the member states and dictated this international organisation's mandates have been through several changes. Recurring shifts in cooperation patterns or strategic visions, in other words, have deprived the NBA of clear guidelines. It is also conceivable that the very notion of an international organisation in charge of harmonising water rights across the basin clashed with reticence on the part of States concerned about

relinquishing their sovereignty. Funding agencies lost interest when they realised that member-state support was wilting. Geographically speaking, this basin is marginal in certain countries, explaining why some countries feel more involved than others.

The NBA's lasting difficulties also explain some of the mushrooming organisations and bilateral projects that ensued. The Ghenis project (Mali and Guinea) or the mixed Mali-Niger commission (a forum to harmonise the interests of these States and, in particular, to iron out the issues associated with low-water stages) are two examples.

When they met in Abuja in October 1998, heads of State and funding agencies agreed to give the NBA a clean slate and a fresh start. They agreed on a three-year plan (spanning 2000 to 2002) to cement its organisation and bolster its human potential, and on a five-year action plan (starting in 2003) involving a number of new projects. These new projects include reviving the documentation centre, updating the hydrological databases (Niger-Hycos), and upgrading or creating a new river-flow model spanning the entire basin and a model to simulate water requirements.

It is true that efficient NBA operation is a *sine qua non* for solving the geopolitical problems associated with using the basin's waters. The Niger River's upper and middle reaches are still relatively undeveloped. So the issues that might spark conflict between countries alongside those stretches are not yet manifest. But plans to build dams in Fomi (Guinea), Taoussa (Mali) and Kandadji (Niger), to list only the largest, will change this soon. If these three dams are built, it will be impossible to operate them independently. Moreover, funding-agency decisions seem tied to preliminary surveys ascertaining the impact that each of these dams will have on the river's flow and ecosystems, and on the complex interactions between them.

Consultation, it follows, hinges on efficient NBA operation and on strong ties with relevant national organisations. It also involves clarifying prerogatives and national-organisation powers.

A complex national institutional framework

The fact that the philosophy underlying Mali's water-management policies recently evolved possibly explains why the institutional framework is complex. Mali indeed recently switched from sector-based and technocratic

management to integrated tributary-basin management (through IWRM). So it is fair to say that it is in a transition phase at this point. In particular, this process involves setting up new institutions without replacing existing ones (which is not necessarily desirable in all cases).

To mention only one example, the recently-established *Agence du Bassin du fleuve Niger* (Niger River Basin agency) is run by the Ministry of the Environment. Water management, however, is still in the hands of the Ministry of Mines and Water, via the DNH (which runs the basin committees). Meaning that different authorities manage the Niger River's basin (and sub-basins) in Mali.

IWRM implementation (with decentralisation in the background) has opened the door to involving society in water management. Committees have mushroomed as a result. These committees often only have scant resources and their views generally only carry advisory weight. It is also fair to wonder about the rapport between communities with little human and material resources and "heavyweight" State organisations with limited but nonetheless real wherewithal, power over resources and technical expertise.

The difficulties for some groups to adjust to the new decentralisation-related "rules of the game"

Farmland, grassland and fishing-area management has been handed over to territorial communities by law. But traditional authorities still hold dominant *de facto* authority. This can cause conflict between municipal and village authorities. Resource-management matters are referred, as appropriate, to the *Dugukolotigi* (master of land), *Jitigi* (master of water), *Kungotigi* (master of the bush), *Baba Aougal* (master of fishing) or *Jowro* (master of pasture).

This decentralisation process, it is also worth pointing out, benefits sedentary communities (primarily farmers, in other words). This is because of the following:

■ decentralisation grants more power to communes, therefore to mayors. Mayors are often members of a commune's sedentary community and therefore, by tradition, often farmers or members of the commune's farmer community. Herders, for example, are only marginally represented, either because they are itinerant or because old political and territorial structures

(the inland delta's *leyde*) have made them reluctant to take part in communal electoral processes;

■ farming only takes up limited amounts of space. Livestock farming and fishing, conversely, cover vast areas (because of the itinerant element). The way in which decentralisation has distributed authority benefits sedentary farming more than itinerant livestock farming and fishing;

■ it is also fair to raise the question of the decentralisation drive's grassland management in the Niger River's inland delta. This policy involves charging a herders a levy for using grassland whereas herders themselves – or at least their representatives (the *jowros*) – charged (and may still charge) their foreign peers a similar tax. The fact that, in the inland delta, herders and, to a lesser extent, fishers (migrating fishers, in particular) are noticeably underrepresented in democratically-elected bodies, can cause problems in these communities. And force them to take an in-depth look at their social and economic attitudes.

The case of migrating fishers (Kassibo, 2000) proves this point. Fishing, as we have said, necessarily involves a sizeable itinerant element (in the case of its more professional component). Fishers have to fish a lot and all the time to cover the costs of their equipment and to make a profit. That means that they have to be where the fish is. But, as opposed to herders, fishers do not follow ancestral migratory patterns: they move less methodically, if nothing else because certain water ecosystems dry up and other appear (as in the case of Selingue). That is why fisher migrations do not necessarily involve return trips: fishers often settle in the areas they migrate to. However, fishers retain their "migrant" status and live as foreigners for a long time, even though they spend ten months out of twelve in their new place of abode. From an administrative standpoint, they would rather keep their ties to the area they come from instead of registering to vote or paying taxes in their host commune. As the decentralisation drive is moving natural resources, tax collection and public service into the hands of the smallest subdivisions of territorial communities (circles and communes), migrant fishers will soon be up against a wall. They will have to choose between becoming relegated, "second-class" citizens where they live (i.e. pay taxes and live by rules set by the "autochthons" without being able to access public services) or register in their host communities to achieve the same status as autochthons (Morand and Breuil, 2002). If they choose the second option, they will be able to take part in democratically-elected

bodies (fishing councils, especially) in their host circles and communes, but will have to see their business as a source of income for the community. In return, they will be more encouraged to use the community's public schools and maternity hospitals. Their economic and social ties to the village they came from (which they cling to today) will obviously suffer. As will their chances of moving on later (once they have invested themselves in the host community's social and economic life). In other words, migrant fisher communities will have to alter their lifestyle social culture considerably.

Proposals, conclusions and recommendations

Setting up or consolidating management tools

Simulation models

Scientific knowledge needs to be more integrated and more available for decision-makers. One of the options would involve using models to generate simulations to support strategic decisions. We believe that three such models will prove particularly useful. They follow:

■ a hydraulic model simulating the river's flow and, in particular, allowing researchers to assess the impact of schemes currently on the plans. There is one already, but it does not cover the whole river and has never been used since it was developed in 1988. NBA is sponsoring plans to upgrade this model and stretch it to encompass the whole river (Guinea and Nigeria included). We hope this plan reaches implementation – and that it reaches the relevant agencies thereafter;

■ a water-use model, to list and integrate every river-water usage, should also prove useful. This model should generate scenarios to optimise development strategies. It should interface with the hydraulic model and use the information in it. It should also include hypotheses covering major climatic and demographic forcing factors to generate long-term scenarios. There are two of these models on the plans or underway: an NBA-hosted project for the entire basin, and an IRD-backed plan in Mali involving local and international partner scientific organisations (Kuper *et al.*, 2003). Connecting these two projects seems highly desirable;

■ local models tailored around specific issues, and interfacing with the models above to support decisions, should be included in this scheme. Examples include projects underway at the *Office du Niger* and desirable projects such as an environmental information system for the Niger River's inland delta or an information system covering flood hazards in urban areas (Bamako).

An information system to bolster monitoring capabilities and support decisions

A comprehensive and sustainable approach to administrating the environment and renewable resources necessarily involves acquiring, harnessing, storing and circulating generous amounts of high-quality data, information and knowledge. So it involves setting up and maintaining more than one environmental information system. An information system is a structured set of data, processing procedures and communication protocols. It involves a series of technical requirements (the IT system, strictly speaking). But it also involves a series of documents and reprographic and communication equipment to generate, store, process, transfer and use the information to meet defined goals.

Tallying goals and needs

There are a number of goals that will plausibly meet across-the-broad consent – and are necessary. They follow:

■ strengthen/develop environmental-information collection and storage capabilities;

■ increase the availability of processed information that can be directly used in the fields in which it is lacking (i.e., in particular, using more efficient processing systems);

■ facilitate public-sector access to environmental information (public-sector, that is, more or less broadly speaking, encompassing national decision-makers, research organisations, and other State-run agencies producing and administrating information). Eventually, allow other stakeholders and audiences to access this information.

Some decisions on this issue are still pending. In particular, what river-related information should be accessible at which levels in the territorial-community hierarchy is an open-ended question. This also applies outside governmental circles (meaning NGOs, associations and unions), in business circles (entrepreneurs and merchants) and in operations (fishers, farmers, etc.). Efforts to define the information products generated by the information systems will have to take into account the fact that the list of target users might grow.

The final decision on the information system's architecture and technology will have to wait until these questions are answered. At this point in

time, the architecture we suggest below is based on the assumption that the information system or systems will chiefly target high-level public-sector decision-makers. The suggestions also involve drawing a line between information that is relevant in national and international spheres (decisions on river improvement and management, for example) and information that is relevant in regional and local spheres (office management, for instance) which involve decisions over a much more contained area.

Requirements also hinge on the time factor (i.e. on whether decisions enlightened by the information system require longer or shorter forecasts). From this angle, we can talk about short-term or tactical timeframes (organising annual campaigns) and more long-term or strategic timeframes (river improvement and investment). Long-term forecasts, in turn, can cover large national or international areas or smaller regional or local ones. It seems clear that the information system that the Niger River needs should address the first as much as the second, even if doing so involves packaging information in different ways.

Building on the considerable resources that already exist

Broadly speaking, the Niger River already counts a considerable number of environmental-information systems. A number of organisations already gather a wide variety of information, and package it and circulate in a variety of formats, usually on a regular basis (daily, monthly or annually). The "information actors", however, vary considerably. Their institutional status and level of investment in information varies. They use the information in different ways and their grasp of information technology varies.

International

Agrhymet, a Niamey-based CILSS offshoot specialising in agricultural weather monitoring and forecasts, is worth mentioning. It has robust satellite-information processing capabilities and can generate situation maps within short timeframes.

NBA (which is also based in Niamey) has an information system in the form of a resource and information centre. It stores records and survey documents, and houses an inter-State hydrological-forecast centre (the Hydroniger programme) which gathers, stores and processes hydrological data from the different countries along the basin.

National and local

The agencies working under national departments (DNH for hydraulics and DNM for the weather, for example) are the core country-level "information actors". But there are also local development offices (*Office de développement rural de Sélingué, Office du riz Mopti*, *Office du Niger* and *Opération pêche Mopti*), laboratories or research teams such as IER (*Institut d'économie rurale*/Institute of rural economics) and permanent programmes such as SAP (*Système d'alerte précoce*/advance warning system). All these organisations gather, store and publish information on a regular basis. Some of them (*Office du Niger*, for example) are building proper modern information systems.

The different types and levels of information that have to be used and processed

It is important to pinpoint the different information categories and information levels that an information system needs if it is to produce information that will be relevant to administrating the Niger River's resources. These categories will shape some of the functional architecture. The information categories follow.

■ Static facts gathered "once and for all" (topography, for example). Here, gathering information is not an issue in itself. But very accurate information is vital.

■ Information that can be gathered once and used for five to ten years (population, land use and cadastres). This information is best gathered in a decentralised scheme and does not even have to be gathered simultaneously (countries or regions in different parts of the basin can gather and pool this information at different points in time).

■ Yearly information, typically covering farming, fishing and other campaign results. This information can also be gathered through decentralised channels. At least minimally standardising data presentation and format, however, is vital.

■ Very dynamic facts that have to be collected on an ongoing basis (rainfall, water levels, flow rates, etc.). This information can only be gathered efficiently using sophisticated technology (sensors, transmitters, satellite-image receptors, and databases fed in real time). These systems have to be set up and operated centrally, and require considerable resources and highly-qualified staff.

A two-tier architecture

Choosing an information system's architecture is tantamount to choosing the general geometry that will shape the organisation of the various components. The goal is to interface components in such a way as to achieve overall efficiency. Taking into account, on the one hand, the existing systems, and, on the other, target data-collecting and information-circulating efficiency levels, a realistic architecture could involve two integration levels. These levels follow.

■ The first, single and relatively central level would be an information system covering the basin as a whole, focusing on hydraulic variables (flow rates, swell levels and flood spread). This level would use the most efficient resources to process information from numerous sensors and transmitters, and from satellites. It would interface with a hydraulic model generating short-term forecasts as well as simulations.

■ The second level of integration would involve regional or local information systems. This level would monitor environmental variables, support environmental-management decisions, support production systems, and address risks in clearly-identified, high-stake areas (the *Office du Niger*, Bamako-Koulikoro stretch and Niger River inland delta, for example). This is where the hydraulic variables (flow rates, water levels and flooded areas) recorded or forecast mainly by the first-level information system would interface with the information about usage systems. As these second-level information systems would serve different goals (they may be designed to provide advance warning, forecast floods, administrate land and monitor environmental impacts, for example), their architecture could vary.

How these two tiers interface warrants special attention, especially as regards using shared repositories (rating systems and geographic systems).

Technically speaking, the first tier's level- and flow-monitoring systems and its mathematical modelling capabilities tally fairly well with the system that NBA is trying to build through its various projects.

Second-tier regional and local information systems are still embryonic at this point (with the exception of the *Office du Niger*'s system, which is already at an advanced stage). To nurture information systems at this level, decentralised State agencies working in the areas under review should be encouraged to work closer together collecting, processing and interpreting information. Doing so could involve streamlining tools, methods and repositories and go as far as pooling information and resources. Shared informa-

tion products could then be developed. To back these integration efforts, information-system units (local observatories) could be created and put under local development or management organisations when these exist.

These regional or local information systems should also belong to peer federations or "clubs" across the country and, if possible, across the basin. They could meet regularly and be backed in their efforts to streamline information collection and restitution, and to bolster their ability to interface their information with first-tier information.

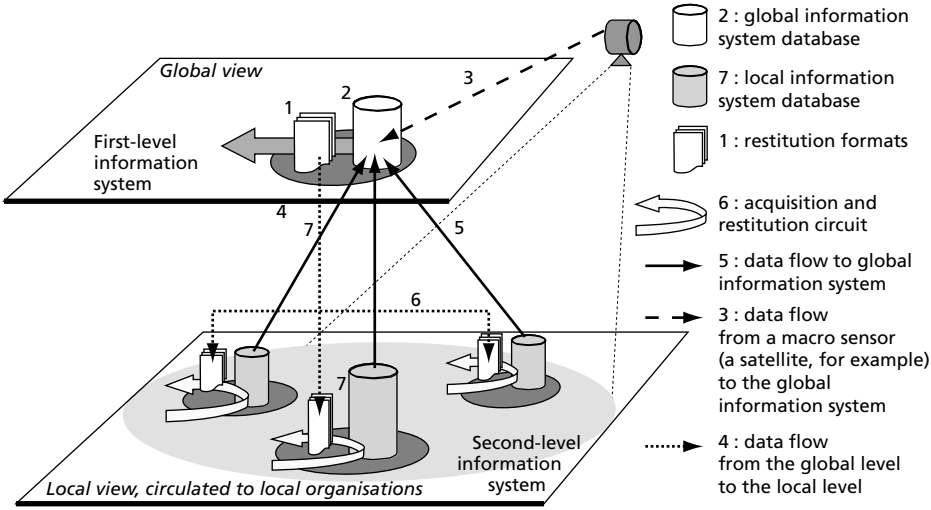


Figure 12

A example showing cooperation between information systems at different levels

In this case, local (or national) information systems and/or information systems dealing with more restricted areas can operate practically autonomously, i.e. run their own acquisition and restitution loop (6) through their own databases (7) and generate their own presentation formats (1) tailored to specific target needs. But these systems also feed some information (5) into the first-level information system (2) which, in turn, is also fed (3) by specific globally-relevant sensors. The first-level information system, here, has its own restitution formats (again, tailored to specific targets) and feeds some of the information it produces (4) back to specific local and regional information systems, completing the information that the latter generates (1).

The two conditions

Two issues come up every time an organisation decides to develop an information system. First, the different parties have to agree on the rules for circulating and using information. Second, the organisation needs to make sure it will be able to count on sufficient human and non-human resources over the long term.

Information-sharing rules

Sharing data, information and models is not the most natural thing in the world. That is why, early on in the process, parties need to decide how they will provide access to, circulate and use raw data and packaged information in the system. The first question is about the sort of information that parties will pool, and when they will do so. They can sign a data policy agreement governing information circulation and usage (and outside support could hinge on them doing so).

Long-term resources

It is not so much the total amount of funding that a country's authorities and outside organisations are willing to provide that is important: it is how long they are willing to back the project that will make or break efforts to improve production of and access to information about the Niger River and its environment. The usual project-based approach is an issue: in this case, the usual timeframes are not long enough (projects only last 3 or 4 years in general).

Self-generated funding (for example charging outside users for access to information) is another option. International institutions also have to understand that monitoring the world's large tropical ecosystems is a global concern, and that the burden of doing so can not be on southern-hemisphere countries alone. So they could sign a contract agreeing to buy some of the information that this system generates, on condition that they can monitor the quality of that information on a regular basis.

To conclude, it is not the amount of resources as much as the way in which these resources are obtained and used that will no doubt prove decisive and ensure that the environmental information needed to monitor and administrate the Niger River in a suitable manner becomes increasingly available.

Conclusions

The Niger River basin's water is used for a variety of purposes. It is used to generate electricity, for irrigation, for navigation, to feed towns and industrial operations, for fishing, for cattle farming, for flood-fed farming, for receding-water farming, and for ecosystems.

These uses have been clearly identified. But some are better known than others. Some, in particular, are not very well known and poorly quantified (or not quantified at all). Requirements and demands – which we have tried to review in detail in this paper – vary and indeed sometimes conflict. We will not review every one of these areas of friction, but the main ones follow. Generating electricity involves using water all year round (to provide consumers on a regular basis). These requirements, however, peak during the hot and dry season, when the river's flow withers to its lowest. So generating electricity involves storing water in the high-water stage and using it in the low-water stage. Irrigation schemes need water all year round as well, if the goal is to harvest twice. But these schemes are especially exposed in the dry season when the *Office du Niger*, for example, diverts almost 80% of the available flow. Cities need a very steady supply of high-quality water. Navigation involves keeping water levels at guaranteed levels for as long as possible. Conversely, ecosystems (inland-delta ecosystems in particular) as well as fishing, cattle-farming and high-water and receding-flood rice farming operations need healthy swells; their requirements do not hinge as much on flow rates as much as they hinge on water levels (which determine the size of the flooded areas) and on how long flooding lasts. Also, if the inland delta's ecosystems and economic endeavours (fishing, cattle farming, etc.) need healthy, regular annual swells, they also need sharp recession and low-water stages. The ecosystems derive their health and wealth from the river's ample seasonal variations (Gepis, 2000).

In other words, some systems need regular variations and others need wide variations. So it will be difficult to accommodate every river user's needs. Added to that, users need security. And upstream usage impacts downstream users in a number of different ways. This is true on a national scale, but even more so in the international arena enveloping Mali's water-management policy. This river's flow rates in Niger or entering Nigeria depend on the flow rates in Guinea and Mali and, therefore on existing and planned infrastructure.

Finding a suitable compromise is all the harder in the present context. Outside forces are exercising constraining on the Niger River and on its environment. First of all, there are climatic forcing factors and the fact that the trends shaping them are greatly unfathomable. In particular, the river's flow will hinge on rainfall (which is difficult to forecast). But it will also depend on the basin's soil (deforestation, erosion and other developments might alter the link between rainfall and flow). Besides being difficult to characterise, soil conditions also hinge on rainfall and land-use patterns. Which, in turn, depend on the fast-growing population's needs and on that population's desire to enjoy a better lifestyle.

How to generate more electricity or grow more rice without burdening fish production (fish is the Malian population's main source of protein) and without jeopardising the ecosystems that directly keep one million inhabitants and which are indispensables to a fauna or worldwide importance is one open-ended question. How to build river infrastructure in Guinea or Mali without penalising countries downstream is another. These are two of the challenges facing authorities administrating water in the Niger River. Addressing those questions will involve bold and creative choices. And the choices will have to lean on specific and valid information.

This paper shows that there is a considerable body of information about the river, but that this information is neither complete nor homogeneous. The river's hydrology is well known. How its ecosystems work is not. The only comprehensive survey of inland-delta vegetation, for example, is more than 20 years old. On another front, the notion of "environmental flows" is a recent concept in IWRM and warrants deeper analysis, bearing in mind that, in the case of the inland delta, it would have to focus more on "environmental water levels" if it is to help the ecosystem enjoy a healthy, stable future.

Recommendations

The conclusions above lead us to make the following recommendations on three key areas.

First recommendation: consolidate scientific knowledge

Efforts to acquire scientific information about the river basin have to continue. In particular, this involves clearing and updating information about the following:

■ developments in the state of the basin surface, as changes could alter the link between rainfall and flow rates;

■ the Niger River valley's ecosystems, their structure and the processes underlying them. These ecosystems are evolving constantly, in particular due to pressure from usage. Existing surveys, in some cases, are incomplete or obsolete;

■ production systems, which are evolving fast, in step with the ecosystems and Mali's society as a whole. There is considerable information about some of these systems (fishing, irrigated rice farming, etc.), but that information has to continue to evolve. In other cases, currently-available information is inaccurate or obsolete (information about livestock farming in the inland delta or rain-fed rice farming, for example);

■ water uses across the basin will have to be listed, analysed and, especially, better quantified (including details on their seasonal variations). There is a fair amount of information about how much water major users such as the *Office du Niger* divert. But there is a lot less information about how much the smaller users (village irrigation areas) peppered across the valley use. Taken in isolation, these small diversions do not seem to have a noticeable effect on the river's flow. But their compounded effect can no longer be neglected;

■ lastly, efforts to research and develop information systems and models, and circulate those systems' and models' findings to management organisations, need to move ahead. Information systems should simulate scenarios to support decision-making processes. There should be three distinct models: a hydraulic model covering the entire river (to run current plans though impact assessments) a water-usage model (representing and integrating all requirements and associated impacts), and local models interfacing with the above and tailored around specific issues.

Second recommendation: push ahead with developments in the institutional framework

As most of its neighbours, Mali has embarked on far-reaching institutional reform. On the one hand, decentralisation has reshaped the country's territorial, administrative and political organisation. On the other, IWRM has also changed its approach to water governance. Mali has adapted its institutions, but the changes are arguably still underway or not yet entirely effective. We believe two points warrant special attention:

■ clarifying the relationships between organisations in charge of administrating water in national and international spheres. On this front, we can hope that reviving NBA will revive cooperation between national organisations (which must not be divested of their roles) and international cooperation (which needs to assume a clear federating and arbitrating role as required);

■ we also believe that society as a whole (through elected or association representatives) should have more of a say in decisions about how to use water and in the strategic choices that will shape the country's and it's people's future for years to come.

Third recommendation: a contribution to balanced strategic choices

The Niger River's upstream and middle reaches are still relatively undeveloped. Existing infrastructure brings undeniable benefits. But it has also cast light on real issues (even if the consequences are still limited). The river's situation is not yet compromised, and surveys show ample room to manoeuvre and open up a wide variety of strategic options for the future.

To protect the river's major balance, it is no longer possible to consider sector-specific plans independently. Doing so could be tantamount to taking the risk of achieving limited benefits in local areas while compounding disadvantages across the entire basin.

Developing water use and river infrastructure of course seem necessary. But this can only be done in a global and integrated manner, weighing the expected benefits and the possible interaction with other uses and the river's environment as a whole.

This is obvious in the case of river infrastructure on a regional level. So, if we consider the large dams that are currently on the plans (and often have been for many years), we can only understand and gauge their impact properly by studying them together, taking into account all the interactions that might be generated by the different management decisions made when running them. In particular, the effects on the inland delta warrant serious analysis. As indeed does the possibility of guaranteeing an "environmental water level", especially during the high-water stage[5].

[5] One possible option would be a downstream dam (Taoussa maybe) to compensate the negative impact of upstream ones, provided it does not, in turn, penalise users further downstream (in Niger and Nigeria, especially).

Such an approach is obviously fairly difficult and complex to implement. It can therefore only be considered in an international context. It could contribute to reviving NBA and dispel the reservations that some funding agencies have voiced since World commission on dams report (WCD, 2000).

On a national scale, the big options need to be fine-tuned. All observers agree on the need to push ahead with efforts to develop power generation and farming production. However, giving rice priority, for example, involves providing for the fact that producing 1 kg of rice on an irrigated paddy will require 5 m^2 of water (in the best of cases). This options seems costly. Rice, however, is only one of the options: other options use water more efficiently when it is scarce. Moreover, within the rice sector, if the extension of the *Office du Niger* (a major water user) seems desirable from certain standpoints, it is not the only option. Further developing other rice-farming systems – from rain-fed rice in the south of the country to flood-fed rice in the inland delta – is also highly desirable.

Strategic decisions will shape the Niger River's long-term future. Often irreversibly. That is why every possible scenario has to be considered and studied beforehand. This makes developing and installing the simulation models discussed above all the more urgent: these models will be able to help decision-makers choose the development options that provide the best possible compromise, with clear and full knowledge of the facts.

Bibliography

Alpha A., Ait-ssi L., Banton O., Mariko A., Traoré A. Z., Villeneuve J.-P., 1991 – *Hydrogéologie et contamination de la nappe phréatique alimentant la ville de Bamako (Mali)*. Bamako, Rapport ENI, INRS-Eau.

Baumann E., Fay C., Kassibo B., 1994 –
« Systèmes de pêche et stratégies globales ». *In* Quensière J. (éd.) : 401-406.

Bénech V., 2002 –
« Les migrations latérales des poissons dans le delta intérieur du Niger ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 329-341.

Bénech V., Dansoko D., 1994 –
« Reproduction des espèces d'intérêt halieutique ». *In* Quensière J. (éd.) : 213-228.

Bonnefoy A., 1998 –
Impact des intrants agricoles sur la qualité des eaux en zone cotonnière du Mali-Sud. Mémoire Ingénieur IUP, Université de Compiègne, 50 p.

Breuil C., Cacaud P., Quensière J., 1996 –
Proposition d'un document de politique des pêches et de la pisciculture au Mali. *PNUD/MLI/91/005*. Rome, FAO.

Cofad, GTZ, Lohmeyer U. (eds), 2002 –
Back to basics. Traditional Inland Fisheries Management and Enhancement Systems in Sub-Saharan Africa and their Potential for Development. Eschborn (Germany), GTZ, 203 p.

Coulibaly S., Dicko F., Traoré S. M., Sidibé O., Seroussi M., Barrère B., 1996 – *Enquête démographique et de santé Mali 1995-1996*. Bamako, Direction nationale de la statistique et de l'informatique, 375 p.

Daget J., 1954 –
Les poissons du Niger supérieur. Dakar, Mémoire Ifan, 36, 382 p.

Daget J., Ba A. H., 1955 –
L'empire peul du Macina. *Etudes soudanaises*, 3. Bamako, Ifan 306 p.

D'Amato N., Lebel T., 1998 –
On the characteristics of the rainfall events in the Sahel with a view to the analysis of climatic variability. *International Journal of Climatology*, 18: 955-974.

Ducrot R., Zaslavsky J., Magassa H., 2002 –
« Dynamismes et contraintes du développement de la petite irrigation : cas du delta intérieur du Niger au Mali ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 621-638.

ENP (Étude nationale prospective) « Mali 2025 », 2003 –
Rapport.

Equanis, 1997 –
Environnement et qualité des apports du Niger au Sahel. Programme sur l'environnement de la géosphère intertropicale (Pegi), INSU-CNRS-Orstom, Opération « Grands bassins fluviaux », 1992-1997, IRD, Paris.

Faostat, 2004 –
Base de données en ligne (http://www.fao.org/faostat)

Fay C., 1989 –
Systèmes halieutiques et espaces de pouvoir : transformation des droits et des pratiques de pêche dans le delta central du Niger (Mali), 1920-1980. *Cah. Sci. Hum*, 25 (1-2) : 213-236.

Gallais J., 1967 –
Le delta intérieur du Niger. Dakar, Ifan, 612 p.

Gepis (Groupe d'experts des plaines d'inondation sahéliennes), 2000 –
Vers une gestion durable des plaines d'inondation sahéliennes. Gland (Suisse)/ Cambridge (Royaume-Uni), UICN, 214 p.

Ghenis, 2001 – *Gestion hydrologique et environnementale du Niger supérieur.* Direction nationale de l'hydraulique et de l'eau (DNHE), projet Delft Hydraulics, Bamako, 2000-2002.

GIHREX, 2000 – *Gestion intégrée, hydrologie, ressources et systèmes d'exploitation.* Grand programme 21, département Eaux continentales, 1997-2000, Orstom-IRD, Paris.

HIERNAUX P., DIARRA L., 1986 –
Bilan de cinq années de recherches (Sept. 1979-Sept. 1984) sur la production végétale des parcours des plaines d'inondation du fleuve Niger au Mali central. Bamako, Cipea, 66 p.

HUGON PH., 1998 –
Ajustement structurel, emploi et rôle des partenaires sociaux en Afrique francophone. *Cahiers de l'emploi et de la formation*, 28, 53 p.

HULME M., 2001 –
Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973-1998. *Global Environmental Change*, 11 : 19-29.

IEPF (Institut de l'energie et de l'environnement de la francophonie), 2004 –
Site web http://www.iepf.org

IWACO, 1996 –
Étude préliminaire de la qualité des eaux souterraines phréatiques des zones maraîchères de Bamako. Rapport final d'évaluation. Bamako.

KASSIBO B., 2000 –
« Pêche continentale et migration : contrôle politique et contrôle social des migrations de pêche dans le delta central du Niger (Mali) ». *In* Chauveau J.P., Jul-Larsen E., Chaboud C. (éd.) : *Les pêches piroguières en Afrique de l'Ouest. Pouvoirs, mobilités, marchés*. Paris, IRD/Karthala : 231-246.

KODIO A., MORAND P., DIENÉPO K., LAË R., 2002 –
« Dynamique de la pêcherie du delta intérieur du Niger revisitée à la lumière des données récentes : implications en termes de gestion ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 431-453.

KUPER M., HASSANE A., ORANGE D., CHOHIN-KUPER A., SOW M., 2002 –
« Régulation, utilisation et partage des eaux du fleuve Niger : impact de la gestion des aménagements hydrauliques ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 411-430.

KUPER M., MAÏGA H., 2002 –
« Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger (Mali) ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 639-660.

KUPER M., MULLON C., PONCET Y., 2003 –
Integrated modelling of the ecosystem of the Niger river inland delta in Mali. *Ecological Modelling*, 164 (1) : 83-102.

LAË R., 1992a –
Impact des barrages sur les pêcheries artisanales du delta central du Niger. *Agricultures : Cahiers d'Études et de Recherches Francophones*, 1: 256-263.

LAË R., 1992b –
Influence de l'hydrologie sur l'évolution des pêcheries du delta central du Niger, de 1966 à 1989. *Aquatic Living Resources*, 2 : 115-126.

LAË R., 1995 –
Climatic and anthropogenic effects on fish diversity and fish yields in the central delta of the Niger river. *Aquatic Living Resources*, 8 : 45-58.

LAË R., MAÏGA M., RAFFRAY J., TROUBAT J.J., 1994 –
« Évolution de la pêche ». *In* Quensière J. (éd.) : 143-164.

LE BARBÉ L., LEBEL T., 1997 –
Rainfall climatology of the Hapex-Sahel region during the years 1950-1990. *Journal of Hydrology*, 188 (1-4)-189 (1-4) : 43-73.

LEROY J.-B., 1999 –
La pollution des eaux. Paris, PUF, coll. Que sais-je ?, 128 p.

LÉVÊQUE C., PAUGY D. (éd.), 1999 –
Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme. Paris, IRD, 521 p.

MARIE J., 1989 –
« Désertification et politique d'État : le rôle des lois foncières et de la politique forestière en République du Mali ». *In* Sahel 89*, Cahiers géographiques de Rouen*, 32 : 67-72.

MARIE J., 2000 –
Delmasig : hommes, milieux, enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger (Mali). Habilitation à diriger les recherches, Université Paris-X, 420 p. et atlas (63 cartes).

MARIE J., 2002 –
« Enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger (Mali) : Delmasig, un SIG à vocation locale et régionale ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 557-586.

MCCARTHY J.J., CANZIANI O.F., LEARY N. A., DOKKEN D.J., WHITE K.S., 2001 –
Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of working group II to the third assessment report of the Intergovernmental panel on climate change / IPCC. Cambridge (UK), Cambridge University Press, 1032 p.

MDRE (Ministère du développement rural et de l'eau), 1999a –
Stratégie nationale de développement de l'irrigation. Bamako, République du Mali, 76 p.

MDRE (Ministère du développement rural et de l'eau), 1999b –
Étude environnementale de la zone de l'Office du Niger. Bamako, République du Mali, 63 p.

MOOREHEAD R., 1997 –
Structural Chaos: Community and state management of common property in Mali. London (UK), IIED, 420 p.

MORAND P., BREUIL C., 2002 –
Fisheries in Selingue: towards a participatory management which is better integrated into local development. Sustainable Fisheries Livelihoods Programme in West Africa. *Liaison Bulletin*, 8 : 6-11.

MORAND P., KODIO A., 2004 –
Indicators for Tropical Floodplain Fisheries. Case study on the Niger River in Mali. Poster at Symposium SCOR, March 31st - April 4th.

Morand P., Quensière J., Herry C., 1991 –
« Enquête pluridisciplinaire auprès des pêcheurs du delta central du Niger : plan de sondage et estimateurs associés ». *In* Mullon C. (éd.) : *Le transfert d'échelle.* Séminfor 4 : Quatrième Séminaire informatique de l'Orstom (Brest). Paris, Orstom, coll. Colloques et Séminaires : 195-211.

Moron V., 1997 –
Trend, decadal and interannual variability in annual rainfall of subequatorial and tropical north Africa (1900-1994). *International Journal of Climatology*, 17 (8) : 785-805.

Niaré T., 1994 –
« Croissance des poissons ». *In* Quensière J. (éd.) : 229-236.

Niaré T., Kassibo B., Lazard J., 2000 –
What fish farming development model for Mali, where traditional inland fisheries thrive? *Cahiers Agricultures*, 9 (3) : 173-179.

Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.), 2002 –
Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales. Séminaire international, 20-23 juin 2000 (Bamako-Mali). Paris, IRD, coll. Colloques et séminaires, 987 p.

Pirl (Projet inventaire des ressources ligneuses), 1990 –
Les formations végétales au Mali ; Rapport de synthèse, première phase. Bamako, Direction nationale des eaux et forêts, BDPA / SCET-Agri-CTFT (Cirad), 142 p.

Palangié A., 1998 –
Origines et caractéristiques de la pollution des eaux de Bamako : une première approche pour la gestion et l'épuration. Mémoire de DEA : Environnement, Temps, Espaces, Sociétés : Environnement et Sociétés, univ. d'Orléans. Orléans, 105 p.

Picouet C., Dupré B., Orange D., Valladon M., 2002 –
Major trace element geochemistry in the upper Niger river (Mali): physical and chemical weathering rates and CO^2 consumption. *Chemical Geology*, 185: 93-124.

Poncet Y., Kuper M., Mullon C., Morand P., Orange D., 2001 –
« Représenter l'espace pour structurer le temps : la modélisation intégrée du delta intérieur du Niger au Mali ». *In* Lardon S., Maurel P., Piveteau V. (éd.) : *Représentations spatiales et développement territorial.* Paris, Hermès : 143-163.

Quensière J. (éd.), 1994 –
La pêche dans le delta central du Niger : approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique. Paris, Orstom/Karthala, 495 p.

Quensière J., Bénech V., Dansoko D., 1994 –
« Évolution de la composition des peuplements de poissons ». *In* Quensière J. (éd.) : 105-122.

Samé-Ekobo A., Fondjo E., Eouzan J.P. (éd.), 2001 –
Grands travaux et maladies à vecteurs au Cameroun. Paris, IRD coll. Expertise collégiale, 2 volumes, 221 p. et 74 p.

Sogreah, BCEOM-Betico, 1999 –
Études du schéma directeur d'aménagement pour la zone de l'Office du Niger.

Trébuil G., Hossain M., 2004 –
Le riz. Paris, Belin, 265 p.

Vink K., Genet W., Hendrickx J., 1981 –
Besoins en eau au niveau arroseur pour riz et canne à sucre. Rapport d'études pour l'Office du Niger et DGIS.

Ward M.N., 1998 –
Diagnosis and Short-Lead Time Prediction of Summer Rainfall in Tropical North Africa at Interannual and Multidecadal Timescales. *Journal of Climate*, 11(12): 3167-3191.

WCD (*World commission on dams*), 2000 –
Dams and development. A new framework for decision-making. The report of the World Commission on Dams. London (UK), Earthscan publishers, 448 p.

Welcomme R.L., 1989 –
"Review of the present state of knowledge of fish stocks and fisheries of African rivers". *In* Dodge (ed.): Proceedings of the International Large River Symposium, Department of Fisheries and Oceans, Ottawa, Ontario, Canada. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences,* 106: 515-532.

Wetlands International, 1999 –
PV de l'Atelier sur la conservation de la biodiversité des poisons en Afrique de l'Ouest, région de Mopti. Mopti (Mali), 24-27 août 1999.

Wymenga E., Kone B., Van Der Kamp J., Zwarts L., 2002 –
Delta intérieur du fleuve Niger. Wageningen (Pays-Bas), Wetlands International, 240 p.

Zallé D., Maïga O., 2002 –
« Zones inondables en milieu urbain : conflits fonciers et concurrences pour l'espace maraîcher à Bamako (Mali) ». *In* Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 49-59.

Appendices

Specifications for the expert group review

The six questions below provided this group review's framework. They were drawn up during a November 2002 meeting in Bamako, which was called to identify the needs of public-sector agencies in charge of administrating the Niger River in Mali.

Question 1 – What information, parameters and schemes will help us manage and share water resources in a fair, efficient and sustainable manner in line with the needs of the Niger River's users?

Question 2 – What variables do we need to take into account to regulate the use of water in agricultural operations?

Question 3 – What hard facts do we have about the river's flow and about medium-term and long-term environmental changes? What indicators do we need to monitor these changes?

Question 4 – What can we do to better protect people and property from sharp flow variations? Can we provide measures to contain any possible catastrophes?

Question 5 – How is the institutional and legal framework of the river's activity management evolving? Can we extract elements of diagnosis about the operation of this framework and its adaptation to development of local community responsibility?

Question 6 –What sort of information system can we develop (taking into account currently-available tools and techniques as well as the information requirements stemming from the questions above)?

The panel of experts

Jean-François Bélières
Cirad
BP 1813 – Bamako – Mali

Cheik Cissé
Consulting legal expert
Bamako - Mali

Lassine Diarra
IER - CRRA
CRRA Sotuba
BP 262 – Bamako – Mali

Almoustapha Fofana
DNH
BP 66 – Bamako – Mali

Pierrick Givone
Cemagref – Direction scientifique
Parc de Tourvoie – BP 44
92163 Anthony cedex – France

Housseini Maïga
DNH
BP 66 – Bamako – Mali

Jérôme Marie
Université Paris-X
32, rue Montbrouard
95170 Deuil-la-Barre – France

Pierre Morand
IRD – Dakar – US SIH
BP 1386, CP 18528
Dakar – Senegal

Mamadou Kabirou N'Diaye
IER
BP 258 – Bamako – Mali

Hamady N'Djim
Consulting engineer
BP E 3131 « Daoudabangou »
Ex-marché de Kalasancona
Rue 343 – P. 65 – Mali

Didier Orange
IRD – Ambassade de France
57 Tran Hung
Dao Hanoï – Vietnam

Ousmane Sy
Ministre de l'Administration territoriale et des Collectivités locales
(République du Mali)
C/o Représentant IRD au Mali
BP 2528 – Bamako – Mali

Pierre Sibiri Traoré
Icrisat / IER
BP 258 – Bamako – Mali

louisjean IMPRIMEUR

59, Av. Émile Didier
05003 Gap Cedex
Tél. 04 92 53 17 00
Dépôt légal : 428
Août 2007
Imprimé en France

Cet ouvrage est imprimé
sur papier certifié PEFC (Forêts gérées durablement)

Avenir du fleuve Niger

Coordination scientifique
Jérôme Marie, Pierre Morand, Hamady N'Djim

Seconde partie
Chapitres analytiques

Ce document synthétise les travaux fournis par douze experts pour répondre au mieux, à partir de la connaissance scientifique disponible, à des questions posées par des gestionnaires publics du fleuve Niger et de son environnement au Mali. Conduits par l'IER (Institut d'économie rurale, Mali) et par l'IRD (Institut de recherche pour le développement), les travaux ont bénéficié de soutiens du FED (Fonds européen de développement), de l'UICN (Union mondiale pour la nature), de la GTZ (Coopération technique allemande pour le développement) et du MAE (Scac-Ambassade de France au Mali).

IRD Éditions
Institut de recherche pour le développement

collection Expertise collégiale
Paris, 2007

© IRD, 2007
ISSN 1633-9924
ISBN 978-2-7099-1632-5

SOMMAIRE

SECONDE PARTIE

Chapitres analytiques
(CD-ROM)

☞ 1 – Présentation du fleuve Niger
Housseini Maïga, Jérôme Marie, Pierre Morand, Hamady N'Djim, Didier Orange

☞ 2 – Variables et régulation de l'eau
Jean-François Bélières, Mamadou Kabirou N'Diaye, Hamady N'Djim

☞ 3 – Connaissance du fleuve, évolution et indicateurs
Lassine Diarra, Almoustapha Fofana, Pierrick Givone, Housseini Maïga, Pierre Morand, Didier Orange, Pierre Sibiri Traoré

☞ 4 – Prévention des risques
Cheikh Cissé, Laminé Diarra, Almoustapha Fofana, Pierrick Givone

☞ 5 – Cadre institutionnel et juridique de gestion de l'activité liée au fleuve Niger
Cheick Cissé, Pierre Morand

☞ 6 – Les systèmes d'information environnementaux
Almoustapha Fofana, Pierrick Givone, Jérôme Marie, Pierre Morand, Didier Orange, Pierre Sibiri Traoré

☞ Bibliographie

Signalement bibliographique recommandé pour ces chapitres :

A. Fofana *et al.*, 2007 – « Les systèmes d'information environnementaux », cédérom : 395-432, *in* J. Marie *et al.* : *Avenir du fleuve Niger*, Paris, IRD Éditions, 288 p. + cédérom.

CHAPITRE PREMIER

Présentation du fleuve Niger

HOUSSEINI MAÏGA, JÉRÔME MARIE,
PIERRE MORAND, HAMADY N'DJIM, DIDIER ORANGE

Aspects physiques et climatiques

Cette section est issue en grande partie de la thèse de Adama Mariko (2003). Les présentations des aspects géographiques et climatiques font appel à de nombreux auteurs qui ont abondamment traité ces questions ; pour les principaux : Gallais (1967), Brunet-Moret *et al.* (1986), Olivry *et al.* (1994), Quensière *et al.* (1994), Orange *et al.* (2002).

Les éléments géographiques et climatiques présentés ici sont directement liés au fonctionnement hydrologique du fleuve Niger nécessaire à notre étude. Enfin, notre rédaction est très orientée sur le delta du fleuve Niger pour deux raisons :

- d'une part, c'est le delta qui a donné lieu aux publications les plus récentes sur ce sujet ;
- d'autre part, le delta représente de loin la particularité la plus importante de ce bassin fluvial et aussi sa richesse. Il est primordial de bien montrer que les facteurs climatiques de l'ensemble du bassin versant du Niger, au-delà des conditions géographiques, agissent de façon prépondérante sur le bilan hydrologique et donc sur les systèmes de production de ressources naturelles du fleuve Niger et, en particulier, du delta qui est un écosystème à flux tendu risquant la mésexploitation.

Cadre physique

Situé en zone soudano-sahélienne entre les latitudes 10°30 et 25°00 N et les longitudes 12°00 O et 4°00 E, le Mali est un pays enclavé de l'Afrique de l'Ouest qui couvre une superficie de 1 240 000 km^2. Le climat est caractérisé par l'alternance d'une longue saison sèche de 6 à 9 mois et d'une courte saison humide au cours de laquelle se produit la presque totalité des précipitations. Son relief, peu contrasté, est constitué de plateaux et de plaines avec des systèmes dunaires bien développés dans les régions nord et est. Les cours d'eau permanents n'existent que dans les régions ouest et sud du pays et concernent en partie les bassins en amont des fleuves Sénégal, Niger et du Bani. Le Niger qui joue un rôle prépondérant dans l'inondation du delta intérieur du Niger est le troisième par sa longueur (42 000 km^2) après le Nil et le Congo. Il s'écoule de la dorsale guinéenne jusqu'au Sahara suivant un axe nord-est en décrivant, dans sa traversée des régions sahéliennes et subdésertiques, une grand boucle formant un delta intérieur où il perd une part importante de ses apports hydriques.

Le delta intérieur du Niger, encore connu sous les noms de delta central et de cuvette lacustre - un des traits spécifiques de l'hydrographie du Mali -, est situé en zone sahélienne semi-aride (figure 1). C'est une vaste zone inondable d'environ 40 000 km^2 qui s'étire selon un axe sud-ouest/nord-est (de Ké-Macina à Tombouctou) sur plus de 350 km entre les parallèles 17° et 13° N et les méridiens 2°30 et 6°30 O. Il est parcouru par un réseau très dense et hiérarchisé de défluents alimentés par le fleuve Niger et par son confluent, le Bani, qui le rejoint à Mopti.

La morphologie du delta intérieur du Niger comporte plusieurs régions hydrographiques (Gallais, 1967 ; Gallais, 1984). Dans cette étude, nous distinguons deux grands ensembles aux caractéristiques distinctes.

- Le delta amont qui s'étend de Ké-Macina sur le Niger et de Douna sur le Bani au sud (entrée du delta), à Akka, Awoye et Korientzé (stations situées à la sortie des lacs centraux du Wallado-Débo et de Korientzé). Il s'étend sur environ 30 000 km2. Sa partie extrême sud qui s'étend de Ké-Macina et de Douna jusqu'à une ligne schématique Tilembeya, Kouakourou sur le Niger et Mopti (où le Bani rejoint le Niger), appelée la Mésopotamie (Brunet-Moret *et al.*,1986), couvre près de 12 000 km2. Les chenaux sont larges, bien tracés et stabilisés entre les hautes berges constituées par des dépôts d'anciennes alluvions formant des levées massives, exondées en permanence et à dominante sableuse.

En amont de la ligne schématique Tilembeya, Kouakourou et Mopti apparaît une autre morphologie caractérisée par de nombreux méandres, chenaux, plaines et mares. De nombreux défluents dont le principal, le Diaka, drainent cette zone en convergeant vers les lacs centraux, zones de dépôts alluviaux et sablo-argileux (Picouët, 1999).

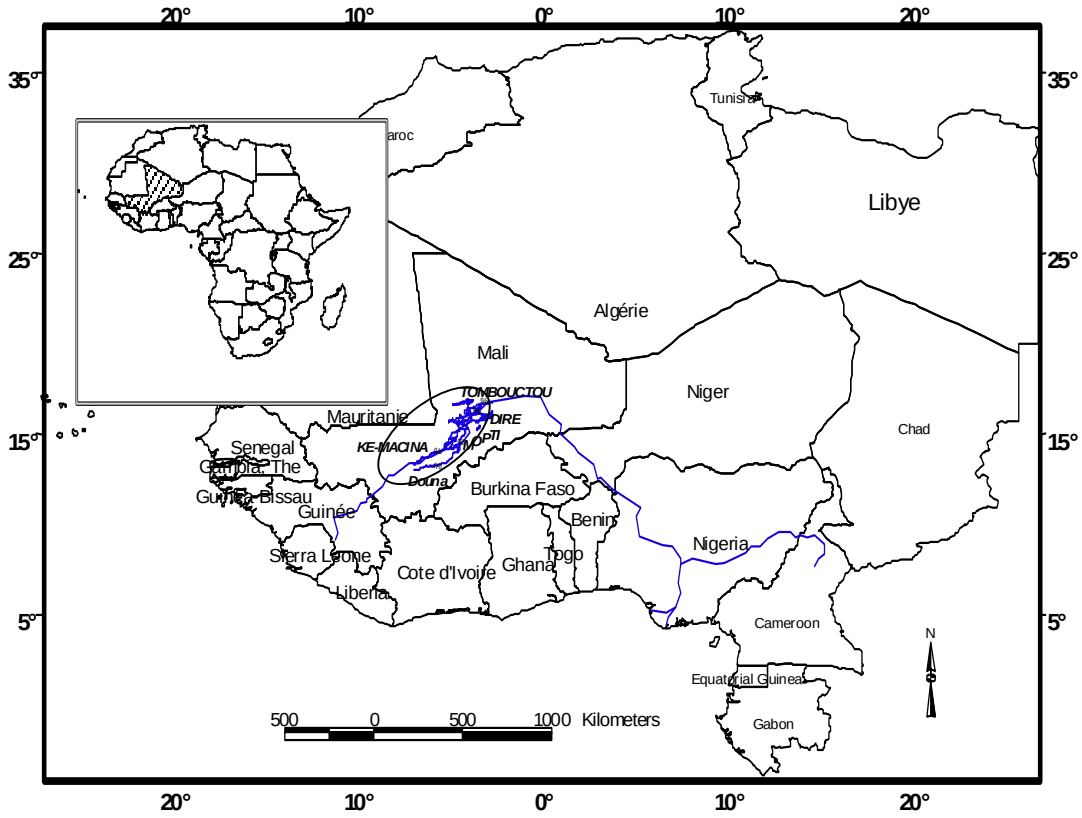


Figure 1 - Situation géographique du delta intérieur du Niger au Mali

le delta aval qui s'étend des lacs centraux jusqu'à Tombouctou. Dans la suite de l'étude, nous situons la sortie du delta à la station de Diré qui offre des séries de données qui remontent aux années 1920. Sa partie centrale comporte un immense champ de dunes mortes dénommé « erg de Niafunké » et traversé, à partir du lac Débo, par le Niger (Issa Ber) et son bras le Bara-Issa et, à partir du lac Korientzé, par le Koli-Koli. Le long des deux rives apparaissent de grands lacs dont le remplissage est lié à l'importance des apports amonts. Le réseau hydrographique et les lacs sont répartis sur environ 37 000 km^2 qu'on ne doit pas confondre avec les surfaces inondables du delta aval qui atteint en moyenne 10 000 km^2 (Mahé *et al.*, 2002).

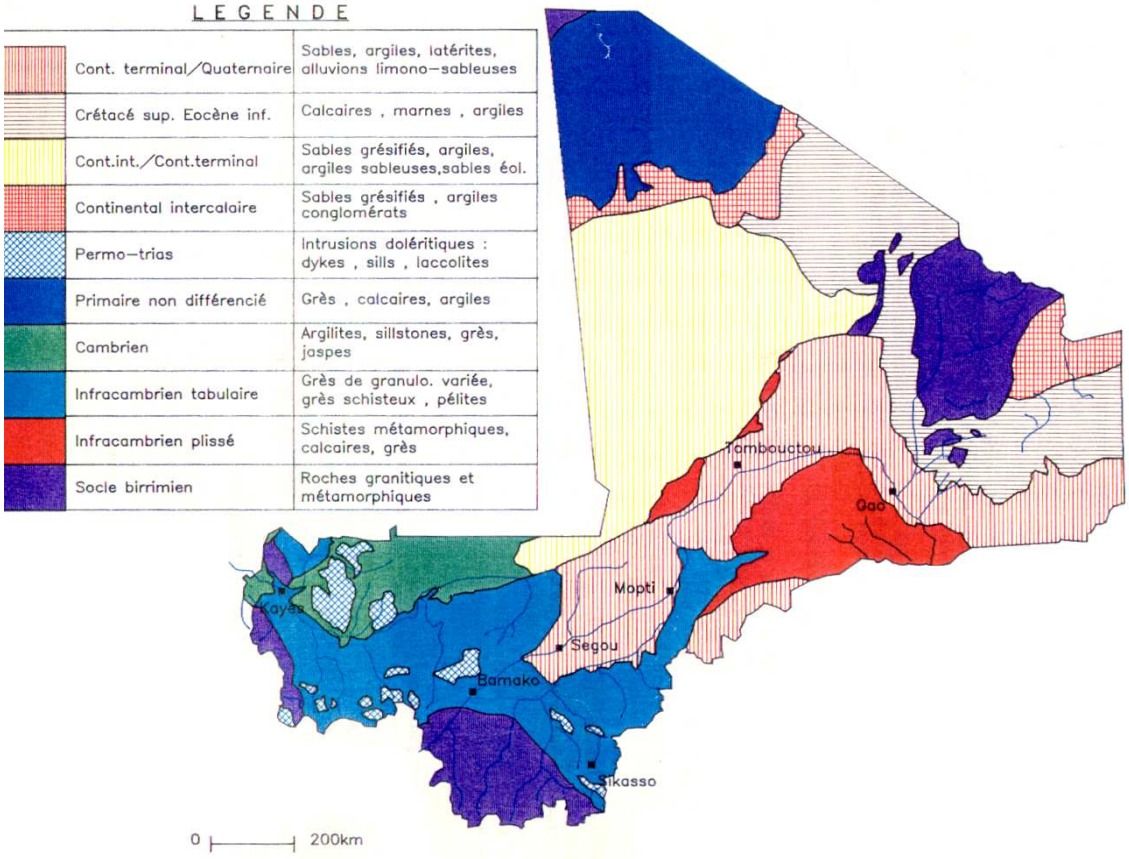
Cadre géologique

Aperçu de la géologie du Mali

La géologie du delta intérieur du Niger est présentée dans le cadre général du Mali dont la carte des grands ensembles litho-stratigraphiques (figure 2) est tirée des travaux sur la synthèse hydrogéologique du Mali. Les formations géologiques représentées au Mali couvrent les principaux ensembles géologiques définis pour l'Afrique de l'Ouest. Neuf grandes subdivisions géologiques reparties selon 5 unités structurales sont représentées au Mali.

À l'extrême sud-ouest et au nord-est apparaît le socle birrimien, prolongement du vaste craton ouest-africain daté de l'orogenèse éburnéenne et vieux de 2 000 millions

d'années sur lequel repose l'immense bassin de Taoudéni. Ce sont des formations granitiques et métamorphiques plissées et pénéplanisées en disposition monoclinale avec un pendage faible vers le nord. Elles sont affectées de fractures majeures orientées ouest-sud-ouest/est-nord-est qui se relaient sur plusieurs centaines de kilomètres.



Source : PNUD, 1990

Figure 2 - Carte lithostratigraphique du Mali

Au nord (dorsale de l'Azaouad) et au sud de la boucle du Niger (région du Gourma) s'observent les formations épaisses à forte composante pélitique, plissées et partiellement métamorphisées de l'Infracambrien bordant le prolongement du fossé de Nara qui abrite le lit du Niger dans cette région.

Au sud-ouest et à l'ouest apparaissent des formations monoclinales à dominance gréseuse datées respectivement de l'Infracambrien et du Cambrien. Les grès de l'Infracambrien tabulaire présentent un prolongement vers le centre dans la région de Bandiagara matérialisant par la falaise la limite sud à sud-est du delta intérieur du Niger. Les grès en alternance avec du calcaire réapparaissent au nord du pays.

Sur la bordure du socle birrimien de l'Adrar des Iforas, au nord-est, reposent des formations d'origine marine du supérieur et de l'Éocène inférieur constituées par une alternance de formations gréseuses et calcaires.

Les formations continentales, (continental intercalaire, continental terminal et quaternaire) sont fortement représentées au nord, dans l'Azaouad, et tout le long du delta intérieur du Niger. Les formations continentales sont constituées de dépôts alluviaux, lacustres et dunaires. Le quaternaire, développé sur les affleurements du birrimien, des plateaux gréseux et les glacis au bas des versants, comprend essentiellement les formations latéritiques résultant de l'altération des roches mères.

Aperçu géologique du delta intérieur du Niger

Le delta intérieur du Niger est une zone déprimée de pendage général nord/nord-ouest (Brunet-Moret, 1986) installée dans la zone de transition entre l'Infracambrien tabulaire du plateau mandingue au sud et l'Infracambrien plissé du Gourma au nord et dans laquelle se sont accumulées les formations du continental intercalaire et terminal. Les formations du Primaire sous-jacentes comportent des plissements orientés sud-ouest/sud-est et des fracturations ouest/est à nord-ouest/sud-est qui se manifestent respectivement sur les affleurements des collines de Goundam, les plateaux gréseux de Bandiagara et les affleurements gréseux au sud du lac Débo. La géologie du delta vif (zone inondable) est principalement marquée par des apports sédimentaires à caractère continental ou désertique comprenant de bas en haut les formations suivantes.

- Le continental intercalaire : c'est un ensemble de dépôts détritiques, du Jurassique moyen au Crétacé moyen, résultant de l'altération des formations du Primaire environnantes. Il est constitué d'alternance de sables de granulométrie variée, d'argiles sableuses et de silts argileux. Il est caractérisé par la présence de bois silicifiés et d'ossements de reptiles (Radier, 1959, cité par Quensière *et al.*, 1994). Son épaisseur est variable ; elle dépasse 400 m dans l'axe du fossé de Nara. Il est en général recouvert par les formations du continental terminal et du Quaternaire.
- Le continental terminal : il regroupe les formations continentales qui se sont déposées principalement au Miocène et au Pliocène. Son aire d'accumulation déborde, vers le sud, celle du continental intercalaire, constituant ainsi le remplissage de nouvelles zones déprimées où les dépôts reposent directement sur le substratum précambrien dans le delta intérieur du Niger. Ce sont des dépôts, en général non consolidés, à dominante sableuse, souvent en disposition lenticulaire localement grésifiée, avec des couches d'argiles interstratifiées. Des horizons de latérite cuirassée ou gravillonnaire sont aussi interstratifiés. Des niveaux de marnes et d'argiles lacustres se rencontrent localement dans la série lithologique. L'épaisseur du continental terminal est très variable. Son épaisseur croît de l'ouest vers l'est et varie de quelques dizaines de mètres à 100 m près de Tombouctou.
- Le Quaternaire : au sud du delta, il est caractérisé par des cuirasses plus ou moins démantelées sur les collines et les bas glacis. Au centre et au nord, il est composé de sables à granulométrie variable, de graviers, de sables argileux et d'argiles sableuses dans les fonds de mares et de lacs. Contrairement aux formations sableuses des zones limitrophes aux surfaces inondables, les composantes à dominance argileuse dans les fonds de plaines, de mares et de lacs ont tendance à limiter les échanges hydriques entre les eaux d'inondation et les formations sous-jacentes du continental terminal et intercalaire qui jouent un rôle fondamental dans l'hydrologie du delta (Brunet-Moret, 1986).

Cadre hydrogéologique du Mali

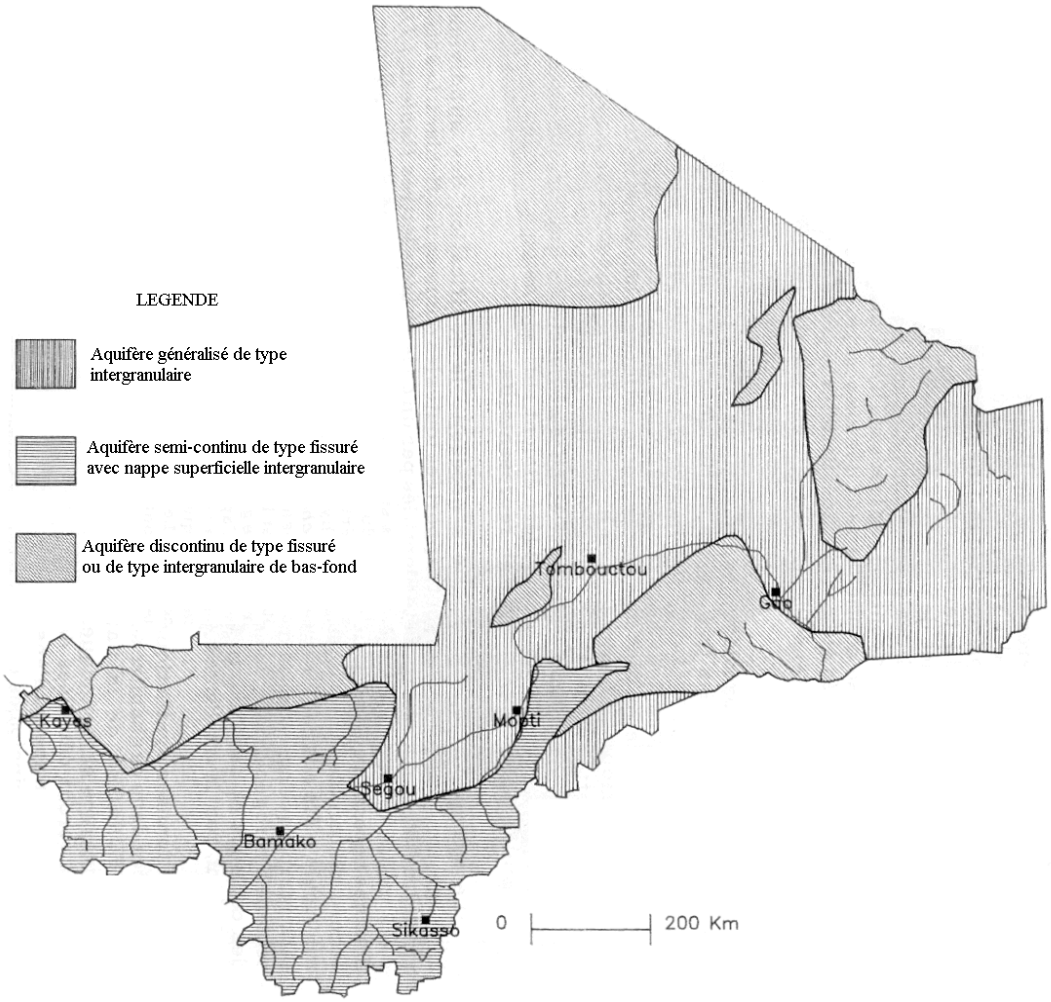
Les formations hydrogéologiques du Mali se distinguent selon le type de gisement en deux catégories : les formations à porosité primaire (aquifères de type généralisé) et les formations à porosité secondaire (aquifères de type fissuré). La compilation des données recueillies dans le cadre des projets d'hydraulique villageoise sur une vingtaine d'années (PNUD, 1990) a permis une première estimation des ressources en eau souterraine et leur localisation dans l'espace. Les aquifères de type fissuré couvrent 49 % de la superficie totale du Mali (figure 3).

Les aquifères fissurés

Les aquifères fissurés semi-continus ou discontinus associés, d'une part, aux formations métamorphiques et cristallines du primaire (socle) et, d'autre part, aux formations sédimentaires tabulaires et plissées de l'Infracambrien, sont caractérisés par de très faibles perméabilités intrinsèques ou primaires. Les ressources en eau sont essentiellement associées à des perméabilités secondaires provenant de la fissuration de la partie profonde des formations et de l'altération de leur partie supérieure. Ces aquifères se rencontrent ailleurs sur le territoire du Mali excepté dans le delta intérieur du Niger et dans la zone nord.

Les aquifères fissurés du socle

Ces aquifères se rencontrent notamment dans les régions de l'ouest (Kayes), du sud (Sikasso) et au nord, dans l'Adrar des Iforas. Dans la région de Sikasso où se situe une partie des sources du Bani, les profondeurs des niveaux statiques sont, en général, inférieures à 10 m. Le Baoulé (un des affluents du Bani) est alimenté en basses eaux par les nappes du socle (Aranyossy *et al*., 1990). Ailleurs, le niveau statique se situe au-delà de 20 m. Les débits moyens de ces formations sont compris entre 4,2 et 6,5 $m^3.h^{-1}$ (PNUD, 1990).



Source : PNUD, 1990

Figure 3 - Localisation schématique des différents types d'aquifères du Mali

Les aquifères fissurés de l'Infracambrien

On distingue :

- les aquifères du Précambrien plissé dans le Gourma situés à l'est de la partie avale du delta intérieur du Niger et sans influence reconnue sur l'hydrologie de la zone d'étude. Les niveaux d'eau sont situés à plus de 50 m, sauf dans les secteurs où sont localisées des eaux de surfaces semi-permanentes ou temporaires ;
- les aquifères de l'Infracambrien tabulaire qui constituent le type fissuré le plus important et le plus exploité au Mali. À l'exception du plateau Dogon et de la partie septentrionale du plateau mandingue où les grès sont affleurants, l'Infracambrien est recouvert en quasi-totalité par des formations latéritiques. Ce sont des formations gréseuses avec des niveaux schisteux et des intrusions doléritiques aux épontes souvent productives (Aranyossy *et al.*, 1990).

Les aquifères généralisés

Ces aquifères caractérisés par une porosité intergranulaire sont des nappes continues couvrant 51% de la superficie du Mali. Ils sont constitués par des formations essentiellement détritiques d'origine continentale déposées au secondaire et au tertiaire dans de vastes bassins sédimentaires. On y distingue trois systèmes aquifères.

Les aquifères du continental intercalaire

Ils affleurent au nord du Mali sur les bordures nord du bassin de l'Azaouad et, à l'est de l'Adrar des Iforas, dans le Tamesna. Ce sont des dépôts constitués d'alternance de sables de granulométrie variée et d'argiles sableuses avec des niveaux gréseux conglomératiques. Ils reposent sur une puissante série d'argiles imperméables qui pourrait expliquer, selon les études isotopiques (Aranyossy *et al.*, 1990), l'absence de lien avec les aquifères fissurés du Cambrien et de l'Infracambrien. Ces aquifères contiennent des eaux fossiles qui sont chargées durant l'Holocène à partir des eaux du Niger qui s'écoulaient jusqu'au nord dans le bassin de l'Azaouad. La dorsale de l'Azaouad serait un seuil hydrogéologique empêchant une réalimentation de ces aquifères à partir des eaux actuelles du Niger (Blanck et Tricard, 1990). Ces aquifères sont en nappes libres dans les zones d'affleurements avec des profondeurs de niveau de plus de 20 m. Ils sont en charge ailleurs à des profondeurs dépassant les 300 m et localement artésiens au nord de la vallée de l'Azaouad.

Les aquifères du Crétacé supérieur/Éocène inférieur

Ils sont localisés à la périphérie occidentale de l'Adrar des Iforas. Constitués principalement d'argilites, de schistes et de grès argileux avec des niveaux de calcaire. Le fleuve Niger les recoupe sur toute sa longueur. Ces aquifères reçoivent entre Goundam et Tombouctou un apport peu important des eaux d'inondation du delta. Leur épaisseur varie de moins de 100 m à plus de 400 m.

Les aquifères du continental terminal/quaternaire

Ils occupent une vaste plaine alluviale qui s'étend de part et d'autre du Niger à l'aval de Ségou et du Bani, à Douna, jusqu'au-delà du delta intérieur du Niger, à Gao. L'hydrogéologie de ces aquifères est liée à la présence d'eaux de surface permanentes et à l'extension des zones d'inondation suite à la montée des eaux du Niger. Ce sont des séquences d'argiles, d'argiles sableuses et de sables fins à grossiers souvent en disposition lenticulaire. Leur épaisseur inférieure à 100 m dans la zone occidentale du delta peut atteindre 1 000 m dans l'axe du fossé de Gao.

Hydrogéologie du delta et relation avec les eaux de surface

L'hydrogéologie du delta est principalement marquée par la présence de l'unité du continental terminal/quaternaire. Cette unité couvre 57 670 km^2 dans le delta, soit 28 % de sa superficie totale au Mali (PNUD, 1990). Elle est bordée, au sud, par les plateaux gréseux de San et de Bandiagara, au nord, par le fossé de Nara et la dorsale de l'Azaouad et, au nord-est, par les formations plissées du Gourma. L'hydrogéologie de l'aquifère du continental terminal/quaternaire est liée à la présence des eaux de surface permanentes et à l'extension des zones d'inondation.

Les secteurs hydrogéologiques du delta

Trois secteurs sont définis suivant la répartition des eaux de surface : Nioro-Dioura à l'ouest, Macina-Diaka au centre et Bani-Niger au sud (PNUD, 1990).

Le secteur ouest

Il couvre les localités de Nioro-Dioura et correspond à la zone du delta fossile ou delta mort du Niger qui était fonctionnel à l'Holocène. Les formations continentales sont relativement peu épaisses (30 à 80 m) en raison d'une remontée d'un haut-fond gréseux du substratum infracambrien. La réduction d'épaisseur des dépôts s'accompagne d'une augmentation de leur composante argileuse. Les périmètres d'irrigation de l'Office du Niger, alimentés par les eaux du canal du Sahel dérivées du Niger au barrage de Markala, occupent la bordure ouest de ce secteur et participent à la recharge de cette unité.

Le secteur central ou secteur Macina Diaka

Il couvre le delta vif actuel. L'épaisseur moyenne des formations continentales est de l'ordre de 100 m. Elle serait supérieure à 150 m dans le secteur le plus déprimé. Les dépôts sableux sont prédominants avec des intercalations de niveaux de graviers.

Le secteur sud ou Bani-Niger

Il s'étend entre Ségou et Mopti sur les plaines alluviales situées entre le Niger et le Bani et, au sud du Bani, jusqu'à la bordure des plateaux gréseux de San et de Bandiagara. Les dépôts continentaux, souvent très argileux, ont des épaisseurs variant de 30 à 80 m.

Le taux de réussite moyen en forages productifs atteint dans cette unité 83 %. Il est proche des 100 % dans le secteur central. Le débit moyen des forages est de 7,7 $m^3.h^{-1}$ avec 21 % de forages débitant plus de 10 $m^3.h^{-1}$. Dans le secteur central du delta, de nombreux forages ont une capacité supérieure à 20 $m^3.h^{-1}$ et plusieurs forages ont fourni, durant leur développement, des débits supérieurs à 50 $m^3.h^{-1}$.

Les niveaux statiques sont à moins de 10 m de profondeur dans la zone lacustre ainsi que dans les plaines d'inondation en bordure des fleuves Niger et Bani, à l'amont du delta. Ils s'approfondissent dans la zone de transition à la périphérie du domaine lacustre et sont situés au-delà de 40 m dans le delta mort.

Dynamique du niveau piézométrique et relation avec les eaux de surface

L'étude des données piézométriques recueillies au travers du delta intérieur durant l'année 1987-88 (PNUD, 1990) a permis de mettre en évidence un lien entre la recharge des nappes souterraines et les eaux d'inondation. La montée des nappes assujettie tout d'abord aux apports pluviométriques, puis aux eaux de surface, varie de façon non linéaire selon un profil est (delta vif) - ouest (delta fossile).

Dans le delta vif où le niveau d'eau est inférieur à 5 m, l'amplitude moyenne des fluctuations saisonnières est de l'ordre du mètre (tableau 1). La remontée significative du niveau piézométrique apparaît en août-septembre avec un maximum atteint en novembre-décembre lors de l'étale de crue du fleuve Niger. La recharge principale

apparaît liée à la percolation des eaux de surface, la remontée s'amorçant toutefois vers le milieu de l'hivernage grâce à l'infiltration directe de la pluie.

Distance au delta vif (km)		Profondeur de la nappe (m)	Amplitude moyenne de la fluctuation piézométrique (cm)
delta vif		< 5	100
delta fossile	< 10	5 à 8	100 à 10
	> 25	25 à 30	quelques centimètres
		> 30	non perceptible

Tableau 1 - Correspondance entre les amplitudes de fluctuation piézométrique, la profondeur de la nappe et la distance au delta vif dans le delta intérieur du Niger

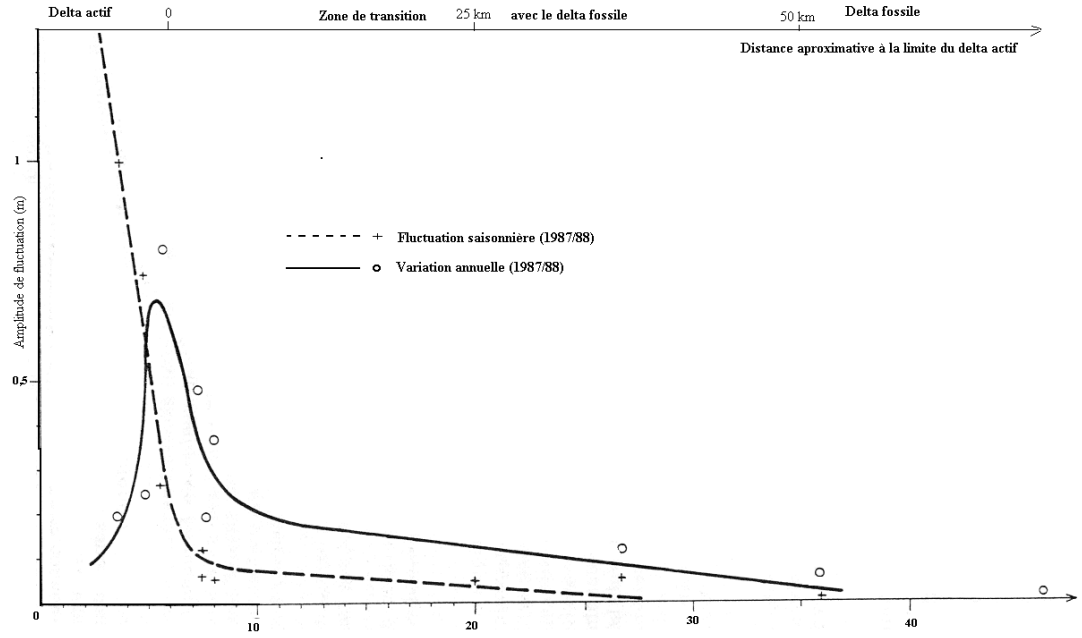
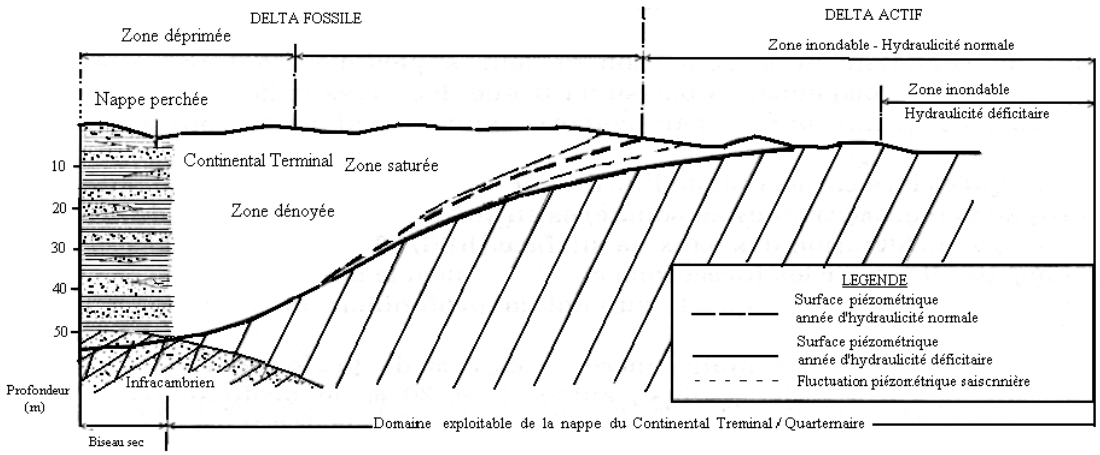


Figure 5 - Variation des amplitudes de fluctuation piézométrique en fonction de la profondeur de la nappe et de la distance au delta vif



Source : PNUD, 1990

Figure 6 - Coupe hydrogéologique schématique de la bordure occidentale du delta intérieur du Niger

Dans le delta fossile, par contre, la profondeur du niveau piézométrique croît régulièrement de 5 à 40 m au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la zone inondée. L'analyse des données piézométriques montre que les fluctuations saisonnières décroissent en amplitude de façon non linéaire lorsque la profondeur du niveau et la distance aux zones d'inondation augmentent (tableau 1). La figure 5 établie à partir des mesures de 1987-88 représente ces variations saisonnières de niveau en fonction de la profondeur des niveaux piézométriques et de la distance approximative à la zone d'inondation.

Au fur et à mesure que l'on s'éloigne vers l'ouest dans le delta fossile, le niveau piézométrique se déprime et l'apport des eaux de surface du delta vif devient quasi-nul sinon imperceptible. Dans le delta fossile, les formations aquifères sont denoyées hormis quelques nappes perchées qui résultent de l'infiltration des eaux superficielles locales La figure 6 illustre l'évolution du niveau de l'eau souterraine selon une année d'hydraulicité normale et déficitaire.

L'interprétation des fluctuations du niveau des nappes du delta observées durant la période 1981-88 a permis, en éliminant les remontées de niveau liées aux apports des eaux de surface par infiltration, une première estimation de la pluie contributive évaluée à près de 14 % inégalement répartie selon la profondeur. Ainsi, en supposant une porosité moyenne de 10 % pour les formations continentales, la lame d'eau infiltrée ayant atteint la zone saturée représenterait, suivant la profondeur de la nappe :

- 50 mm. soit 10 % de la pluie, entre 5 et 8 m de profondeur ;
- 10 mm. soit 2 à 3 % de la pluie, entre 8 et 20 m de profondeur ;
- 5 mm. soit 1 % de la pluie, entre 20 et 30 m de profondeur.

Ce pourcentage très faible s'expliquerait par la faible perméabilité verticale des dépôts argileux et silteux dans le delta intérieur. Par contre, dans des conditions pluviométriques équivalentes, l'infiltration due à la pluie reste plus importante pour les systèmes aquifères fissurés. Au sud en milieu fissuré, à l'amont de Douna (sur le Bani), les variations du niveau de la nappe sont bien corrélées avec les variations de pluie (Mahé *et al.*, 2002). Les années de bonne pluviométrie se traduisent par une forte remontée de la nappe.

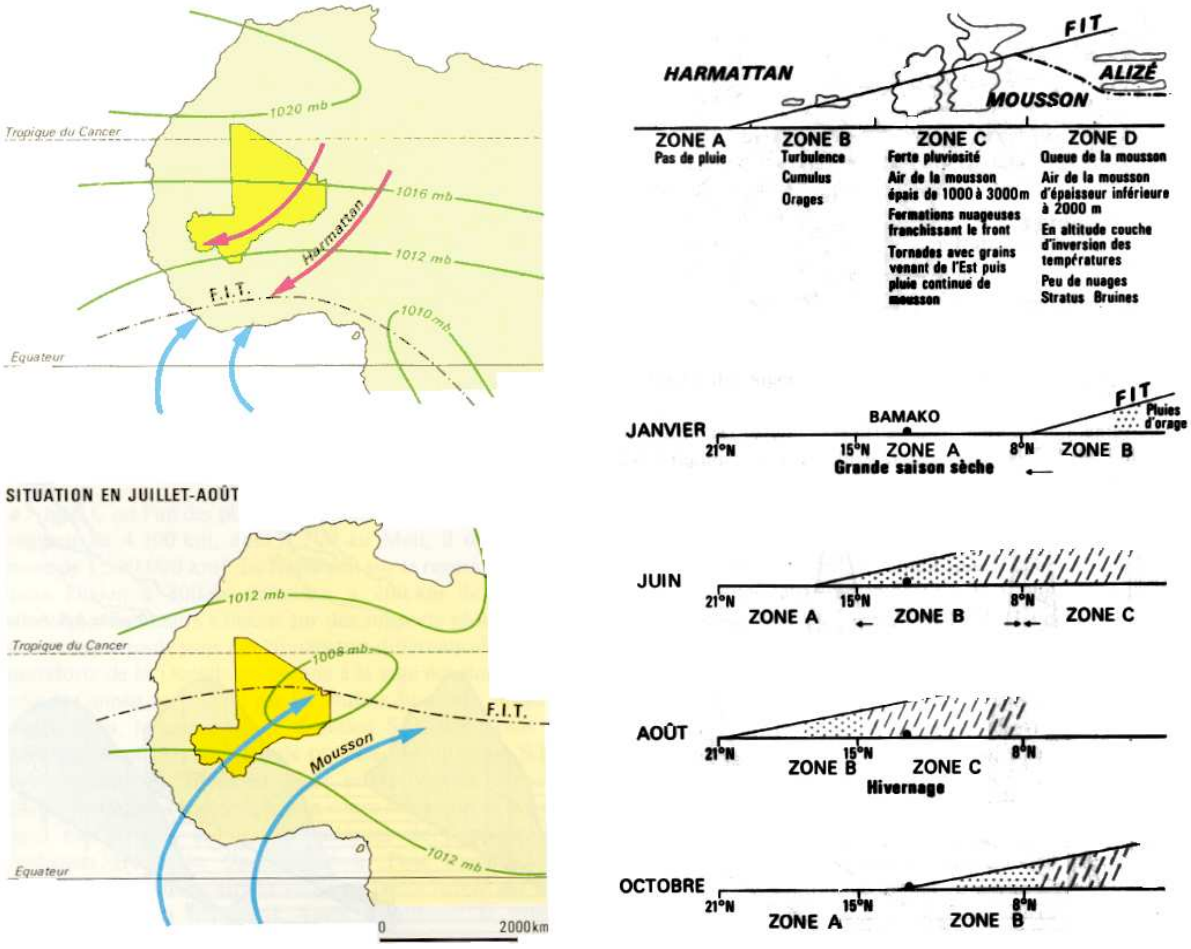
Cadre climatique

Les ressources naturelles évoluent et s'adaptent au rythme du climat. L'étude du climat soumis sans cesse à des variations permet de comprendre et de mesurer l'impact de ces dernières sur la disponibilité des ressources naturelles notamment en eau de surface.

La circulation des courants d'air atmosphérique qui régit le climat en zone ouest africaine est décrite par plusieurs auteurs ; nous en rappellerons les grandes lignes. Les caractéristiques du climat et son impact sur les ressources en eau de surface en zone Soudano-Sahélienne au Mali ont fait l'objet de nombreux travaux (Kamaté, 1980 ; Brunet-Moret *et al.*, 1986 ; Olivry *et al.*, 1995 ; Mahé *et al.*, 1995 ; L'Hote *et al.*, 1995) dont les éléments essentiels sont présentés au chapitre 3. Dans ce qui suit, nous présenterons les découpages climatiques issus de certains de ces travaux.

La circulation atmosphérique en Afrique de l'Ouest

La division de l'année en saison est conditionnée par le déplacement de deux grands anticyclones subtropicaux : l'anticyclone du Sahara de direction nord-est sud-ouest qui donne naissance à un vent sec et chaud, « 1'harmattan », et l'anticyclone de Sainte Hélène responsable de la « mousson » qui est un vent maritime tiède et très humide de direction sud-ouest nord-est (figure 7). Le contact dynamique de ces deux masses d'air chaud et sec provenant du nord (harmattan) et humide provenant du sud (mousson) est la zone intertropicale de convergence (ZITC) appelée aussi l'Équateur Météorologique (EM). Sa trace au sol est appelée le Front Intertropical (FIT) au passage duquel sont liées les pluies. Il suit une direction générale sud-nord-sud au cours de l'année. Pendant la période de juillet à septembre, sa position est septentrionale. De décembre à février, le FIT occupe sa position la plus méridionale. La montée en latitude est plus lente et plus régulière (6 mois) que le retour vers l'équateur (4 mois).



Source : Kamaté, 1980

Figure 7 - Harmattan et mousson

Le découpage de l'année en saisons se caractérise, au Mali, par l'alternance d'une saison sèche dont la longueur varie de neuf mois au nord à cinq ou six mois au sud et d'une saison humide, ou hivernage, d'avril à octobre au sud et de juillet à septembre au nord. En début et en fin d'hivernage, les pluies sont surtout des pluies d'est liées aux

lignes de grains particulièrement importantes aux latitudes sahéliennes. Pendant la saison sèche d'hiver, le pays est soumis au régime de l'alizé continental (ou harmattan). Ce vent venu du nord-est a un effet desséchant qui accentue l'effet des températures élevées qui règnent en avril-mai sur l'ensemble du pays. Le facteur dominant de la saison des pluies est le régime de la mousson (figure 7), prolongement de l'alizé austral qui s'est chargé d'humidité sur son trajet océanique et qui, après la traversée de l'Équateur, prend une direction sud-ouest/nord-est.

La figure 7 (Kamaté, 1980) indique, à gauche, la position des masses d'air de l'harmattan et de la mousson et, à droite, les zones de type de temps associées au FIT avec leur déplacement pendant l'année. Lorsque le FIT se déplace vers le nord, il se comporte comme un front froid (l'air équatorial et humide se trouve au-dessous de l'air tropical chaud et sec). La confluence de ces masses d'air s'accompagne, en avant du front, de courants ascendants qui provoquent la formation de nuages verticaux et de pluies souvent abondantes et à caractère orageux. Les averses violentes le long de ces perturbations sont appelées « lignes de grain ». Elles sont responsables, dans une grande proportion, des précipitations sur l'Afrique de l'Ouest.

Les totaux pluviométriques mensuels et annuels (plus de 1 400 mm/an au sud de Sikasso et moins de 100 mm/an à la latitude de Tessalit) traduisent une diminution des précipitations en latitude. Cette distribution sensiblement identique à celle de l'humidité relative (plus de 80 % en août au sud de Sikasso, moins de 40 % à Tessalit à la même période) est inverse de celle de l'évapotranspiration (moins de 1 700 mm/an au sud de Sikasso, plus de 2 500 mm/an à Tessalit). Dans tous les cas, la pluviométrie est la plus forte au mois d'août.

Les zones climatiques du Mali

Une différenciation régionale basée sur l'évolution en latitude des paramètres climatiques, notamment de la pluviométrie, permet de distinguer du sud au nord quatre zones climatiques (Kamaté, 1980 ; L'Hote *et al.*, 1995). Le delta présente une nuance régionale particulière. En premier lieu, nous donnons la classification actuellement utilisée par les hydrologues (L'Hote *et al.*, 1995) et, entre parenthèse, celle employée par les climatologues.

Le climat tropical de transition (climat sud-soudanien)

Limité au nord selon une ligne Kénieba-Bougouni-Sikasso sensiblement ouest-nord-ouest/est-sud-est autour de la latitude 12°, il s'étend au-delà en couvrant les têtes des bassins du Niger et de ses affluents, d'une part, en Guinée, et du Bani et de ses affluents, d'autre part, en Côte d'Ivoire. Il couvre 6 % du territoire malien (Kamaté, 1980). Les précipitations moyennes annuelles y sont supérieures à 1 300 mm, atteignant et dépassant parfois 1 500 mm. La saison des pluies relativement longue, dure au moins 6 mois (de mars-avril à octobre-novembre) avec environ 90 jours de pluies par an. Sur le plan thermique, les températures moyennes mensuelles de l'été (hivernage) sont sensiblement égales ou inférieures aux températures moyennes mensuelles de l'hiver. L'amplitude thermique annuelle est faible (5 à 6° C).

Le climat tropical pur (climat nord-soudanien)

Il s'étend de la ligne Kénieba-Bougouni-Sikasso jusqu'au nord de la ligne Ségou, à l'est, et de Kayes, à l'ouest. Il est limité par les isohyètes 1 300 et 700 mm. L'hivernage dure de quatre à six mois et les précipitations se concentrent sur 70 à 80 jours. À la différence du climat tropical de transition, les températures moyennes annuelles de l'été restent supérieures à celles de l'hiver. Cependant, les maxima des mois pluvieux sont inférieurs aux maxima de janvier et de décembre (à Bamako, 33,4° C en janvier contre 30,3° C en août).

Le climat tropical semi-aride (climat sahélien)

Il va de l'isohyète 700 mm à l'isohyète 200 mm (jusqu'à la latitude 16° environ), englobant une zone de transition à nuance soudano-sahélienne entre les isohyètes 700 et 500 mm. Il couvre toute la zone du delta intérieur qui présente une nuance régionale particulière sur laquelle nous allons accorder aussi une attention particulière. La caractéristique fondamentale du climat tropical semi-aride est la longueur de la saison sèche et la courte durée de l'hivernage (3 à 4 mois, de juin-juillet à août-septembre) avec en moyenne trente jours de pluies par an. Sur le plan thermique et par rapport au climat tropical, la zone sahélienne présente des maxima d'hivernage supérieurs aux maxima d'hiver et l'amplitude thermique annuelle y est plus forte (environ 12° C).

Le climat semi-aride (climat sud-saharien)

Il concerne la zone des lacs jusqu'au nord de la région de Tombouctou. Contrairement aux autres climats, il s'étend sur une bande est-ouest plus irrégulière. Il se caractérise par des précipitations très irrégulières, inférieures à 200 mm/an. Les pluies tombent sous forme de tornades en rapport avec la faible épaisseur de la mousson. Ce sont des pluies d'été mais, également, des pluies d'hiver. Le régime thermique ne connaît qu'un seul maximum alors que partout ailleurs au Mali il en possède deux. L'amplitude thermique annuelle moyenne forte (environ 16° C) est très inférieure à l'amplitude thermique journalière moyenne de l'hiver durant cette saison. En effet, les nuits sont froides (moyenne des minima de janvier 11,3° C à Tombouctou).

Le delta intérieur du Niger

C'est une région originale : avec 300 km de long sur 100 km de large, le delta intérieur du Niger en période de crue (octobre-décembre) apparaît comme une véritable mer intérieure en zone sahélienne et constitue, dans tous les domaines notamment climatiques, une région particulière. Cette nappe d'inondation contribue à modifier le climat régional dans la mesure où elle agit sur un certain nombre de ses éléments essentiels : en jouant un rôle de modérateur thermique, elle donne à la station de Mopti une température moyenne annuelle (27,7° C) inférieure ou égale à celles de San (27,9° C) et de Ségou (27,7° C) situées plus au sud. En donnant naissance à des vents locaux (brises de delta et de bordure), elle agit tant soit peu sur la vitesse, la direction et la température des vents dominants. Au total, le delta intérieur du Niger, sans bouleverser fondamentalement les rythmes climatiques de son environnement, arrive, pour ainsi dire, à y « créer une ambiance atmosphérique originale » (Kamaté, 1980).

Analyse des besoins, identification des différents usagers et de leurs besoins

Électricité

Description en fonction des paramètres de chaque type d'usages

Le fleuve Niger et ses affluents sont perçus comme un potentiel extraordinaire de production d'énergie électrique. Les potentialités identifiées ont fait l'objet de nombreuses études depuis plusieurs décennies. Les principaux paramètres d'appréciation sont :

- la topographie du site ;
- la possibilité de réaliser ou non une retenue d'eau ;
- la capacité potentielle en énergie ;
- les besoins complémentaires en parallèle de l'énergie (agriculture, régulation du débit d'étiage, etc.) ;
- la population concernée ;
- les cotes à atteindre (crue normale ou exceptionnelle) ;
- l'impact sur l'environnement.

Type d'usage

Dans le cadre des barrages hydroélectriques, l'électricité est fournie à l'aide d'une centrale installée à proximité du barrage. Actuellement, les barrages hydroélectriques en exploitation sur le fleuve Niger se résument à :

Barrage	Situation	Capacité électrique	Volume de la retenue d'eau	Cote crête	Cote niveau d'eau	Autres activités connexes
SÉLINGUÉ	À 140 km au sud-ouest de Bamako sur le Sankarani	44 Mégawatts	Environ.2 milliards de m3	351,00 m.	349,00 m	Riziculture en double culture sur 1 000 ha et projets en vue, maraîchage, pêche
SOTUBA	À l'est de Bamako, au droit des aigrettes et des rapides de Sotuba	5 Mégawatts	Au fil de l'eau et en dérivation			Riziculture sur le périmètre de Baguineda (3 500 ha), maraîchage, arboriculture

Tableau 2 - Barrages hydroélectriques existant sur le fleuve Niger

Allure du cycle des besoins et quantification en fonction

Aujourd'hui, avec le transfert de la gestion du barrage de Sélingué à l'EDM (Énergie du Mali), des problèmes fréquents apparaissent avec des conflits d'usage entre l'agriculture et l'énergie.

Les principaux conflits concernent :

- la période de remplissage de la retenue ;
- la durée de pompage par la centrale ;
- le niveau minimal à préserver dans la retenue ;
- les périodes de vidange de la retenue.

Dans le but d'assurer la régulation de l'électricité et de l'eau, une ordonnance avait été prise : l'ordonnance N° 00 021/P-RM du 15 mars 2000 portant création et organisation de la commission de régularisation de l'électricité et de l'eau. Actuellement, cette commission est fonctionnelle pour la gestion du barrage de Sélingué.

De nombreux projets sont à l'étude pour augmenter la production hydroélectrique sur le fleuve Niger. La situation se résume comme suit :

Barrage	**Situation**	**Capacité électrique**	**Volume de la retenue d'eau**	**Cote crête**	**Autres activités connexes**	**Etat du projet**
TAOUSSA	À Tossaye, à quelques 95 km en amont de Gao	20 Mégawatts		259,75 m pour alimenter le système du lac Faguibine	Irrigation gravitaire et par pompage. Navigation (écluse)	Etude de faisabilité faite(Coyne et Belier). L'autorité du barrage de Taoussa est créée. Recherche de financement en cours
MARKALA	À 35 km au nord de Ségou, au pied du barrage	13 Mégawatts				Etude de faisabilité faite
KENIE	À 25 km à l'est de Bamako sur les rapides de Tienfala	34 Mégawatts		309,00 m		Etude de faisabilité faite et préfinancée par la société suisse STUCKY qui envisage une exploitation avec une concession de 30 ans (les négociations sont en cours)
FOMI	En Guinée, à Niandan, sur un bras du Niger	90 Mégawatts	6 milliards de m^3		Il est envisagé de fournir de l'électricité au Mali, au Sénégal et à la Guinée. Augmentation du débit d'étiage de 100 à 200 $m^3.s^{-1}$	Étude de faisabilité faite. Les négociations sont en cours avec les bailleurs de fond pour examiner l'implication du Mali dans la gestion du barrage afin d'en atténuer les impacts au Mali
LABEZANGA	À quelques km en aval de Ansongo, au droit des rapides de Labezanga	La réalisation de ce barrage est conditionnée à celle du barrage de Kandadji, le « grand Kandadji », qui devrait être calé à une cote suffisamment haute pour assurer le plan d'eau nécessaire à Labezanga. Dans l'hypothèse où le Niger ne réalise que le « petit Kandadji » à une cote plus basse pour des raisons financières, le Mali envisagera alors la réalisation de Labezzanga.				

Source : Direction Nationale de l'Énergie

Tableau 3 - Barrages hydroélectriques en projet sur le fleuve Niger

Caractérisation de l'impact de l'usage

La réalisation des barrages fait apparaître plusieurs types d'impacts.

Les impacts dits négatifs :

- la dégradation de l'environnement avec le déboisement nécessaire des zones de retenue d'eau ;
- l'augmentation et la persistance des maladies liées à l'eau ;
- la réduction parfois sensible des cotes de crêtes d'inondation entraînant la réduction des superficies inondables en irrigation traditionnelle ;
- la réduction des zones d'épandage des crues et des zones de frayère des poissons.

Les impacts dits positifs :

- la création d'une source d'énergie pouvant améliorer les conditions de vie et ouvrant la possibilité de réalisations d'autres activités génératrices de revenus (transformation, etc.) ;
- l'amélioration du débit d'étiage du fleuve ;
- l'amélioration de la navigation avec la construction d'écluses.

Navigation

Le fleuve Niger constitue, à côté du fleuve Sénégal, le principal réseau navigable du Mali.

Les principales voies d'eaux sont :

- le bief sud du fleuve Niger et de ses affluents :
  - Bamako-Siguiri-Kankan (en Guinée), 385 km;
  - Bamako-Siguiri-Kouroussa, 374 km ;
- le bief nord ou grand bief :
  - Koulikoro-Mopti-Gao-Ansongo, 1 408 km.

Ce dernier tronçon est la partie la plus longue et celle qui génère la plus grande intensité du trafic sur le Niger.

Sur cet ensemble, évoluent les principaux opérateurs de transport (Comanav :Compagnie malienne de navigation) - pinasses, pirogues et bacs - au service d'une nombreuse population et d'une activité agropastorale importante, d'autant que la zone est isolée et très peu desservie par un réseau routier terrestre.

La période de navigation commence, en période de crue normale, de mi-juillet à fin novembre à partir de Koulikoro et se prolonge jusqu'à janvier à partir de Mopti.

Le niveau de navigation est naturellement et fortement tributaire de la pluviométrie.

La navigation sur le fleuve se heurte aux difficultés suivantes :

- les échouages fréquents de bateaux à cause de l'ensablement ;
- l'absence de balisage et de dragage.

Section	Longueur	Période de navigabilité	Conditions de navigabilité
Bamako-Koulikoro	60 km	Non navigable	Rapides de Sotuba et de Kenié
Koulikoro-Fanchon	35 km	Juillet-décembre	
Fanchon-Markala	95 km	Toute l'année	Ecluse de Thio (53x13m). Canal de Markala ensablé
Markala-Mopti	74 km	Juillet-décembre	
Mopti-Diré	311 km	Août-mars	Bief dunaire. Seuil rocheux de Tondiferma
Diré-Kyra	158 km	Août-février	Seuils sableux. Accès au port de Tombouctou ensablé
Kyra-Tossaye	225 km	Septembre-janvier	Affleurements rocheux
Tossaye-Bourem	20 km	Septembre-février	Bief dunaire et seuils sableux
Bourem-Gao	95 km	Septembre-février	Zone de vallée fossile. Accès à l'escale de Gao très ensablé
Gao-Ansongo	100 km	Septembre-février	Zone de vallée fossile

Tableau 4 - Navigation sur le fleuve Niger

Agriculture

Les activités agricoles dans la vallée du fleuve comprennent :

- la riziculture, principalement pratiquée suivant différents types d'irrigation en fonction de la disponibilité en eau,
- le maraîchage,
- les pâturages, notamment les bourgoutières dans le delta intérieur du fleuve Niger.

L'exploitation agricole bénéficie d'un encadrement de services techniques, d'organisations non gouvernementales et de projets spécifiques.

Nous donnons ici les résultats de la campagne 2002-03 tirés des bilans des structures régionales de la Direction Nationale de l'Appui au Monde Rural pour les régions concernées par la vallée du fleuve.

Désignation	Riz irrigué	Riz en submersion	Riz de bas-fonds	Riz de crue	Sorgho de décrue	Mil irrigué	Blé irrigué
Superficie réalisée, en ha	11 282	12 345	3 840	8 476	18 260	135	1 716
Production, en t	41 547	5 324	925	9 950	7 317	132	4 529

Tableau 5 - Région de Tombouctou, bilan 2002-03

Désignation	Riz de submersion	Riz en submersion contrôlée	Riz irrigué d'hivernage	Riz de contre-saison	Riz de mare	Sorgho de décrue
Superficie réalisée, en ha	33 800	2 145	227	142	202	3 530
Production, en t	27 687	2 257	967	0	205	427

Tableau 6 - Région de Gao, bilan 2002-03

Désignation	Riz en submersion libre	Riz de bas fonds	Riz PPIV	Riz en submersion contrôlée
Superficie réalisée, en ha	130 220	7 215	1 659	15 800
Production, en t	19 110	1 527	5 988	1 995

Tableau 7 - Région de Mopti, bilan 2002-03

Désignation	Riz irrigué	Riz autres
Superficie réalisée, en ha	94 595	15 835
Production, en t	405 198	29 977

Tableau 8 - Région de Ségou, bilan 2002-03

Désignation	Riz irrigué	Riz non irrigué, pluvial
Superficie réalisée, en ha	2 253	26 365
Production, en t	10 185	17 533

Tableau 9 - Région de Koulikoro, bilan 2002-03

Aspects concernant la pêche

Introduction

Il est important de préciser d'emblée que tout ce qui concerne la pêche au regard de l'eau ne s'exprimera pratiquement qu'en termes de besoins, puisque cette activité n'exerce, dans ses formes actuelles, aucun impact sur les flux et les quantités d'eau qui circulent ou séjournent dans les différentes parties du bassin du fleuve Niger. Quant aux pollutions éventuelles générées par la pêche, elles restent vraisemblablement, jusqu'à ce jour, très modestes[1].

Par rapport au cycle annuel de l'eau, les « besoins » relatifs à la perpétuation de l'activité de pêche seront répartis en deux catégories bien distinctes :

1 En dehors des émissions de quelques polluants liés à l'usage des moteurs hors-bord dont sont équipés les pinasses des pêcheurs migrants, seuls les plombs de pêche (fabriqués artisanalement à partir du plomb de vieilles batteries et qui sont souvent perdus dans le fleuve) pourraient un jour avoir un impact sur la qualité de l'environnement, mais aucune donnée ne permet aujourd'hui de préciser le niveau de cette menace.

- ceux qui sont relatifs à l'existence et au maintien de conditions permettant, année après année, le renouvellement de la ressource constituée par les populations de poissons ;
- ceux qui sont liés au maintien de facteurs facilitant le déploiement de l'activité de pêche (ou augmentant son efficacité), compte tenu du savoir-faire et des équipements actuels des pêcheurs.

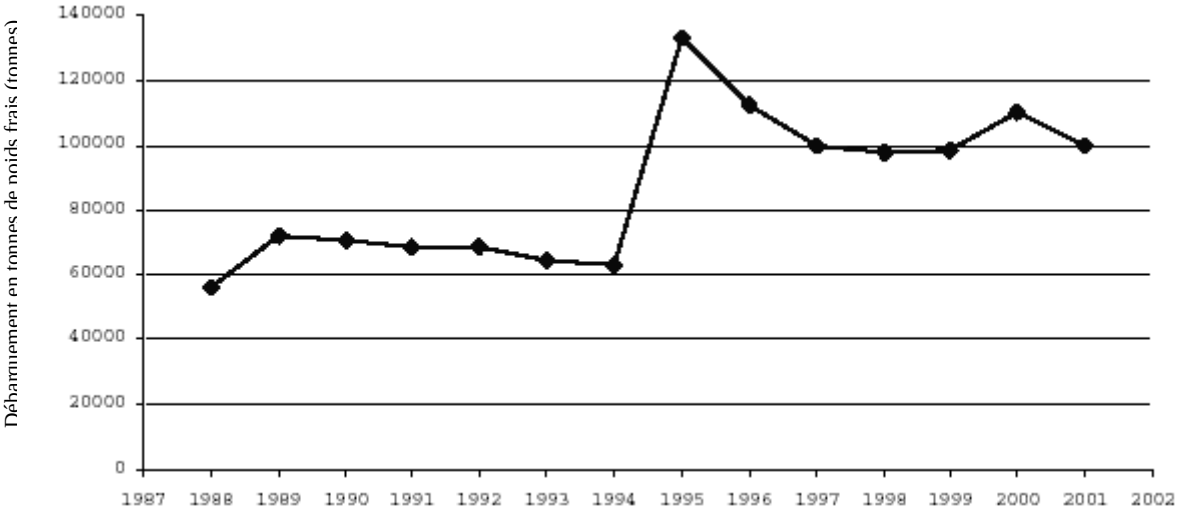
Si la première catégorie conduit à l'identification de contraintes absolues (car sans poisson, il n'est pas de pêche possible !), la seconde est relative à l'état actuel des choses puisque les capacités des pêcheurs ne sont évidemment pas fixées de façon immuable.

Ces deux catégories de besoins seront abordées et analysées successivement. Mais, dans un premier temps, il paraît nécessaire d'effectuer un rappel sur les acteurs de la pêche et sur l'importance socioéconomique du secteur pêche qui se développe autour du fleuve Niger.

Rappels sur le secteur pêche lié au fleuve Niger : géographie, poids économique et diversité des acteurs

La pêche représente, pour le Mali, une activité très importante tant par son poids social que par sa contribution relative à la richesse nationale. Cette contribution était estimée, il y a quelques années, à 4,2 % du P.I.B (Breuil *et al.*, 1996). Bien qu'une petite part des captures, de l'ordre de quelques pourcents (soit moins de quatre mille tonnes), soit issue du bassin du fleuve Sénégal (en particulier du lac de barrage de Manantali), on peut affirmer que la pêche malienne se déploie, pour sa majeure partie, dans le bassin du fleuve Niger. Il est donc acceptable, en première analyse et compte tenu des incertitudes statistiques, d'attribuer à ce bassin la quasi-totalité du chiffre de la production nationale et de son évolution, soit 55 000 à 140 000 t d'équivalent poids frais selon les années (figure 8).

L'essentiel de la production du bassin du Niger est, elle-même, assez concentrée : elle provient pour 80 % environ (40 000 à 120 000 t/an) de la région du delta intérieur du Niger considérée dans sa définition étendue (de Ké-Macina à Tombouctou, lacs inclus) et pour moins de 5 % (de l'ordre de 3 000 t/an) de la retenue du barrage de Sélingué située en amont. Les 15 % restants sont issus du reste du bassin, c'est-à-dire de villages ou de campements de pêcheurs dispersés le long du fleuve dans la partie amont de Macina, notamment dans la zone de l'Office du Niger, ou dans la région de la Boucle, ou bien encore le long des cours d'eau affluents du Niger qui traversent la région de Sikasso (Bagoé, Baoulé). Cette relative concentration de la pêche était, à l'origine, liée à l'histoire de l'activité associée à l'ethnie *bozo* dont le berceau est située dans la partie amont du delta (région de Ké-Macina et de Diafarabé). Mais c'est aujourd'hui surtout le résultat du caractère économique de l'activité, dont la finalité essentiellement commerciale (génératrice de revenus monétaires) va de pair avec une organisation spatiale orientée sur les voies d'évacuation aisée des produits, à savoir les routes et les biefs navigables.



Source : Faostat

Figure 8 - Évolution récente de la production halieutique du Mali déclarée par les services nationaux à Faostat (mise à jour accédée sur le site début 2004).
La très grande majorité (plus de 95 %) de la production provient du bassin du Niger

Le nombre de pêcheurs n'est pas facile à évaluer de façon précise, à la fois pour des raisons de définition (où commence et où s'arrête la notion de « pêcheurs » ?) et pour des raisons de couverture statistique.

Sur le premier point, on peut définir plusieurs catégories de pêcheurs en établissant une correspondance avec la terminologie internationale promue par la FAO[2].

- Il y a tout d'abord des personnes qui pêchent mais dont la profession principale est autre, par exemple l'agriculture. La pêche est alors une activité secondaire, permanente ou le plus souvent saisonnière qui joue un rôle dans la subsistance du foyer (apport de protéines à la sauce familiale) mais aussi et surtout de source de revenus monétaires puisque le poisson se vend mieux que les céréales traditionnelles. On peut les considérer comme des pêcheurs occasionnels (*occasional fishers)* et ils peuvent avoir une origine ethnique très variée.
- Il existe aussi des pêcheurs qui combinent agriculture et pêche de façon assez équilibrée. Ils appartiennent généralement à des foyers polyactifs de grande taille qui se dédoublent de décembre-janvier jusqu'à mai-juillet : certains hommes restent au village pour récolter, se reposer puis préparer les parcelles de culture tandis que les autres partent en migration pour s'adonner à plein temps à la pêche jusqu'à l'hivernage, moment où il leur faudra revenir au village pour s'occuper des champs. Ces derniers peuvent être considérés comme des pêcheurs

2 La nomenclature promue par la FAO est définie ainsi : occasional fishers, part-time fishers, full-time fishers, soit respectivement « - de 30 % », « 30 % à 90 % » et « plus de 90 % » de la part du revenu ou du temps d'activité lié à la pêche.

intensifs à temps partiel (*part-time fishers).* Au Mali, les pêcheurs de ce type appartiennent presque toujours à l'une ou l'autre des ethnies traditionnellement spécialisées dans la pêche : les somono et les bozo.

- Enfin, il y a des pêcheurs exclusifs (*full-time fishers*). Ces pêcheurs appartiennent presque toujours aux groupes ethniques « spécialistes » que sont l'ethnie bozo et l'ethnie somono. Ils sont généralement installés à distance de leurs terres ancestrales. Soit ils sont mobiles et effectuent un circuit régulier de migration saisonnière entre plusieurs sites, soit ils sont sédentarisés sur des lieux où ils sont considérés comme « étrangers » et où ils se retrouvent enfermés dans un statut de « stricts pêcheur » : c'est le cas, par exemple, des pêcheurs installés sur les rives des lacs de barrages.

Car il faut préciser que la situation de mono-activité dans la pêche est souvent davantage subie que souhaitée : la majorité des pêcheurs souhaiteraient pouvoir cultiver au moins pour couvrir les besoins familiaux en grains. C'est, en fait, leur trop forte mobilité et leur éloignement des terres d'origine qui les empêche de poursuivre la pratique agricole, faisant en quelque sorte de ces pêcheurs des professionnels exclusifs contre leur gré puisque, rappelons-le, il est difficile pour un « étranger » d'avoir accès à la terre (Bauman *et al.*, 1994 ; Béné *et al.*, 2000 ; Morand *et al.*, 2002a). Il apparaît cependant qu'une telle mobilité n'est pas le fruit du hasard mais qu'elle résulte d'une logique de recherche continue de gains monétaires accrus (Fay, 1994). Ces besoins croissants en *cash* sont eux-mêmes associés au passage à la monétarisation de l'économie et à l'uniformisation vers le haut des besoins de consommation[3]. Faute d'opportunités de revenus monétaires autres que la pêche, beaucoup de paysans-pêcheurs (*part-time fishers*) se trouvent ainsi encouragés à devenir des pêcheurs exclusifs et, par là même, condamnés à pêcher de plus en plus pour acheter, consommer et aussi, il faut le préciser, rembourser leurs équipements de pêche qui sont de plus en plus coûteux !

C'est sur cette toile de fond économique qu'il faut re-situer la propension des jeunes générations de pêcheurs maliens, majoritairement issues de la région du delta intérieur, à émigrer sur le territoire national ou bien au loin vers de meilleures zones de production et de commercialisation du poisson. Accompagnés de leurs femmes et de leurs enfants, ils forment aujourd'hui une véritable diaspora bozo et somono de « migrants » répartie en dizaines de campements de pêche essaimés dans toute l'Afrique de l'Ouest et même en Afrique Centrale, de la Casamance et de la Guinée jusqu'au Lac Tchad et au Gabon en passant par les lacs de retenue du Burkina Faso et de la Côte d'Ivoire. Cependant, des flux d'échanges importants, notamment en termes financiers (envoi de dons) et humains (*via* les mariages), sont maintenus pendant de nombreuses années avec les villages d'origine (Haakonsen et Diaw, 1991 ; Kassibo, 2000a).

3 Quel villageois peut aujourd'hui se passer de sucre, de thé, de piles, de chaussures en plastique, de tee-shirts, voire d'un radio-lecteur de cassette ou d'un matelas en mousse ? Il faut ajouter à cela le fait que l'huile, le savon, les vêtements sont aujourd'hui de moins en moins issus de l'économie familiale ou villageoise. Il faut donc bien acheter aux forains, sur les marchés hebdomadaires, les versions industrielles de ces produits.

L'évaluation quantitative du nombre de pêcheurs doit tenir compte de ces problèmes de définition. Au Mali, les pêcheurs exclusifs (*full-time fishers*) restent jusqu'à aujourd'hui minoritaires : en utilisant les chiffres de Morand *et al.* (1990) et de Herry (1994), on peut situer aujourd'hui leur nombre dans une fourchette de 15 000 à 20 000, localisés au 3/4 dans le delta et pour le reste dans la Boucle et sur les lacs de retenue (Sélingué surtout). Les pêcheurs polyactifs (*part-time fishers*), combinant pêche et agriculture, sont les plus nombreux, au nombre de 50 000 à 60 000 environ. Quant aux pêcheurs occasionnels, leur nombre serait très difficile à apprécier puisqu'il peut aller jusqu'à inclure toutes les populations rurales qui vivent à proximité des cours d'eau et des mares et qui, une fois l'an, y pratiquent des pêches d'épuisement (par exemple de nombreux villageois du pays dogon). Si l'on se contente donc de rassembler les deux premières catégories, on peut considérer que cela représente environ 35 000 ménages (sur la base de 2 hommes/pêcheurs actifs par foyer), soit encore 280 000 personnes vivant dans des foyers pratiquant la pêche de façon importante ou exclusive.

Mais il n'y a pas que les pêcheurs *stricto sensu* qui ont des moyens d'existence basés sur la pêche : bien d'autres personnes, telles que les transformatrices de poissons, les commerçants et les transporteurs de poissons, les manœuvres de débarcadères, les commerçants de filets, les fabriquants et les commerçants de farines, les fabriquants de pirogues, etc. interviennent dans la filière et font vivre leur famille avec les revenus qui sont plus ou moins directement issus du poisson et de sa vente. Si les activités de capture du poisson sont encore largement réservées, *de facto*, aux ethnies « spécialistes » bozo et somono qui ne craignent pas « d'aller sur l'eau », il n'en va pas de même pour les autres professions du secteur. Celles-ci sont beaucoup plus ouvertes et attirent un nombre croissant de personnes de toutes origines, par exemple des hommes d'affaires avisés qui interviennent dans la filière de valorisation du poisson pour l'alimentation animale (pour les élevages des volailles) ou dans l'importation des filets en provenance d'Asie, ou bien, au contraire, des jeunes gens issus de milieux ruraux pauvres qui voient dans la pêche (notamment dans les travaux de manutention sur les débarcadères) un moyen de gagner quelques revenus monétaires soit de façon permanente soit de façon saisonnière en dehors de la saison des cultures (illustrant le phénomène bien connu au Sahel de la « migration de travail » des jeunes gens). C'est ainsi que les jeunes filles des villages bobo de la région de San viennent se faire embaucher sur les débarcadères du lac de Sélingué comme conditionneuses des lots de poissons, ce qui leur permet de réunir rapidement les fonds nécessaires à la constitution de leur trousseau de mariage.

En tenant compte de toutes ces catégories, on peut estimer à 160 000 au moins le nombre de personnes qui ont un emploi directement lié au secteur en acceptant un ratio minimaliste et très prudent de 1 emploi à terre pour 1 emploi de pêcheur *stricto sensu*[4]. Ceci permet d'évaluer une population d'environ 500 000 personnes (enfants et vieillards inclus) dont les moyens d'existence sont basés de façon importante ou exclusive sur la pêche en adoptant le ratio accepté pour l'Afrique de l'Ouest rurale (Hugon et Pages, 1998) de deux personnes non professionnellement actives pour une personne active. Cette estimation, même grossière, permet d'affirmer que la pêche est un secteur

4 Et en excluant la catégorie « pêcheurs occasionnels ».

d'activité très important pour la population du Mali même s'il ne génère pas d'importantes recettes pour le budget de l'État.

Du point de vue agronomique, la production halieutique doit être évaluée en rapport avec les surfaces qui la génèrent. Cela est possible dans le delta intérieur où l'on peut mettre en relation les surfaces inondées (8 000 à 24 000 km^2 selon les années) avec la production (40 000 à 120 000 t selon les années et en fonction de l'inondation) en faisant apparaître une productivité moyenne de 50 kg/ha, ce qui se situe dans le bas de la fourchette généralement admise pour ce type de milieu (qui est de 50 à 150 kg/ha). Mais si l'on considère des zones favorables et intensivement exploitées (comme celle de Batamani), on observe alors des valeurs plus élevées, dépassant les 100 kg/ha. Il est important de noter que cette production halieutique est obtenue sur des espaces qui, en parallèle, accueillent des cultures de riz flottant (lors des hautes eaux) sur une extension atteignant 50 à 70 % de la surface inondée[5] et qui hébergent aussi des troupeaux sur 80 % de leur extension environ pendant les mois d'exondation (février à juin). C'est la somme de ces productions et « service » qui doit être prise en compte pour estimer la valeur économique, par unité de surface, des plaines inondables.

Besoins en eau liés au maintien des conditions de renouvellement de la ressource-poisson dans le fleuve Niger

Connaissances de base sur les dynamiques naturelles

De nombreux travaux scientifiques réalisés sur le bassin du fleuve Niger et sur d'autres bassins soudano-sahéliens voisins tels que celui du lac Tchad ont montré l'étroitesse des liens qui lient dans cette région du monde les traits de vie (stratégie de reproduction, de migration) des espèces de poissons aux variations temporelles des disponibilités en eau (Blanc *et al.*, 1955 ; Bénech et Quensière, 1989 ; Daget, 1949 et 1973 ; Dansoko *et al.*, 1976).

C'est pourquoi il semble bon de rappeler en premier lieu les caractéristiques clés de ces variations, du moins celles qui sont déterminantes pour la vie des poissons, en se référant aux connaissances accumulées en hydrologie (voir synthèse dans Mahé *et al.*, 2002). La succession des phases du cycle des apports en eau dans le fleuve Niger est typique de la zone subtropicale nord : pluies centrées sur l'été septentrional (juillet-août), crue des rivières et inondation des plaines durant les mois qui suivent, décrue en fin d'année et jusqu'au début de l'année suivante (c'est-à-dire en saison froide qui correspond à l'hiver septentrional) puis basses eaux souvent drastiques durant la période de réchauffement intense qui suit (mars-mai ou juin) et qui précéde la nouvelle saison des pluies. Bien que les variations en amplitude soient très fortes d'une année à l'autre (surtout pour ce qui concerne l'intensité de la crue qui peut différer du simple au triple en termes de débit), la régularité du cycle en un point donné du fleuve est remarquable en termes de chronologie saisonnière *:* les effets de décalages de date ne dépassent en effet guère deux ou trois semaines[6]. De plus, si on se place au niveau des cours moyens

5 Ce type de culture produit, en une récolte annuelle, de 100 à 400 kg de riz par ha cultivé (Maïga *et al.*, 2001).
6 Cette régularité est, bien sûr beaucoup plus évidente pour les phénomènes d'écoulement qui sont forcément intégrateurs que pour les pluies, qui peuvent être très retardées ou même absentes d'une localité donnée.

du fleuve et de ses affluents de plaines, on constate que les variations naturelles de débit et de niveau sont généralement très progressives, de l'ordre de quelques centimètres par jour tout au plus dans un sens comme dans l'autre (crue/décrue).

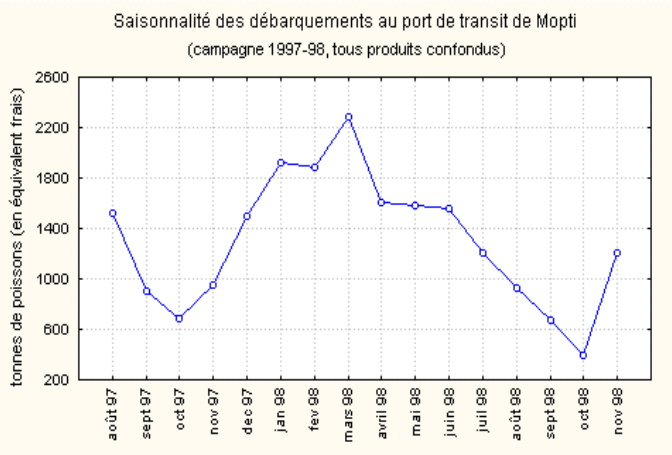
Ces caractéristiques de régularité calendaire et de progressivité des variations des débits et des niveaux d'eau qui sont très différentes de ce que l'on observe en zone tempérée, par exemple, offrent des opportunités adaptatives très intéressantes pour les espèces de poissons de cette région du monde. C'est sans doute ce qui explique qu'une majorité d'espèces a développé des stratégies calées sur le cycle hydraulique annuel de façon à pouvoir en tirer le meilleur parti possible (Bénech et Quensière, 1989 ; Lévêque et Paugy, 1999). Les stratégies adaptatives des espèces de poissons se traduisent par des traits de vie caractéristiques généralement déterminés par une importante composante génétique et donc relativement fixés même s'ils sont susceptibles d'évolution à l'échelle des décennies. Parmi ces traits de vie, ceux qui concernent la croissance, la reproduction et la migration sont les plus liés au cycle annuel du climat et de l'eau en particulier.

Il faut rappeler ici que les espèces de poissons du bassin du fleuve Niger appartiennent, du point de vue biogéographique, à la province dite nilo-soudanienne (Lévêque et Paugy, 1999). De par cet ancrage qui traduit aussi leur origine, ces espèces sont thermophiles, ce qui signifient qu'elles n'apprécient pas les températures fraîches de la saison « froide » sahélienne. Durant cette période, qui va de décembre à février, la température de l'eau descend en effet, chaque nuit, au-dessous de 20 ou 21° C. Pour cette raison, les processus de croissance individuelle (Niaré, 1994) et de maturation des gonades ne démarrent qu'à partir d'avril, moment où la température nocturne de l'eau franchit la barre des 25° C. En fait, compte tenu du délai de maturation des gonades, les pontes sont surtout émises à partir de mai, avec un pic en juillet et en août (Bénech et Dansoko, 1994). Les larves qui éclosent vont ainsi pouvoir bénéficier, dès qu'elles auront épuisé leur vitellus, des conditions favorables associées à la crue. En effet, en suivant la montée de l'eau, elles envahissent les plaines où elles vont trouver un vaste espace aquatique protecteur ainsi qu'une nourriture abondante[7]. Au terme de la crue et des hautes eaux (c'est-à-dire vers fin novembre dans le delta), ces larves seront devenues les « jeunes poissons issus de la crue de l'année ». Bien qu'âgés seulement de quelques mois, ils atteignent déjà 6 à 15 cm de longueur soit quasiment leur taille de reproduction qui est, il est vrai, variable selon les espèces. Mais ils ne vont pas se reproduire immédiatement car la décrue s'amorce et l'espace aquatique se réduit : ce qui impose à tous ces poissons de regagner rapidement le cours principal du fleuve ou bien de rester cantonnés dans d'étroites mares (Bénech, 2002). Et la saison froide arrive également. Pour toutes ces raisons, la croissance des individus va aussi se ralentir ou devenir nulle (Niaré, 1994). Certains de ces poissons « 0+ » (qualifiés ainsi parce qu'ils

7 Entre mi-juillet et fin août, l'inondation arrive sur les plaines dénudées qui sont alors jonchées de déjections bovines et de débris de paille. Il s'ensuit une cascade de processus enrichissants qui commence par la remise en suspension des débris de matière organique qui vont être minéralisés par les bactéries ou directement consommés par de petits organismes hétérotrophes. La chaîne trophique emprunte ensuite différents chemins, certains passant par la croissance des macrophytes - supports de la multiplication d'une multitude de petits organismes épiphytes -, d'autres par le développement du phytoplancton bientôt consommé par le zooplancton, d'autres enfin par l'intervention d'invertébrés râcleurs et filtreurs de débris qui sont à leur tour la proie des poissons. L'ensemble de ces processus se déploie sur toute la largeur du littoral mobile que représente l'avancée de l'inondation annuelle : ce qui a été décrit et synthétisé sous un modèle appelé « *flood pulse* » (Junk *et al*., 1989).

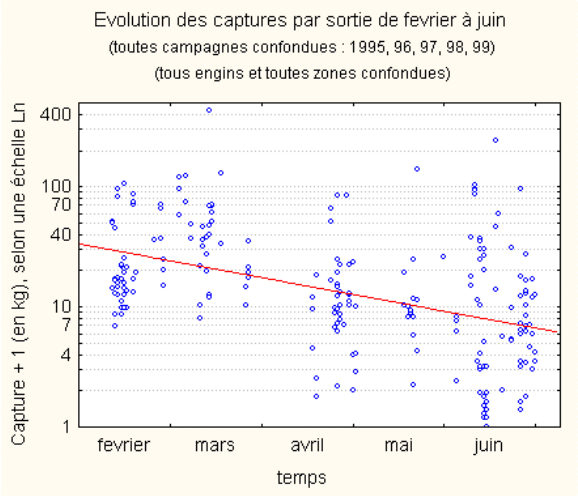
sont dans leur première année) vont, malgré l'environnement devenu défavorable et malgré la prédation (exercée sur eux par les gros poissons, par les oiseaux et par la pêche), parvenir à survivre jusqu'à la crue suivante. Ils participeront alors aux bataillons de reproducteurs qui engendreront la prochaine génération au côté des rares gros individus âgés de deux ans et plus[8].

De ce cycle biologique des populations et de la pression de pêche qui s'exerce sur elles émerge une dynamique particulière, en « flux tendu », qui se caractérise par le fait que chaque génération de poissons produite, au cours d'une crue donnée, se retrouve « récoltée » en masse lors de la décrue et de l'étiage qui suivent immédiatement (Kodio *et al.*, 2002). Ceci se traduit notamment par un cycle saisonnier des quantités produites très marqué (figure 9) et par la baisse des captures obtenues par unité d'effort au cours de l'avancement de la campagne (figure 10).



Source : OPM

Figure 9 - Évolution saisonnière des quantités en transit par le port de Mopti, faisant bien apparaître le maximum de décembre à juin en décrue et étiage (campagne de pêche) et le minimun d'octobre, lorsque la génération « n » est déjà épuisée (et dispersée dans les plaines) et que la génération n+1 n'est pas encore disponible à la capture.

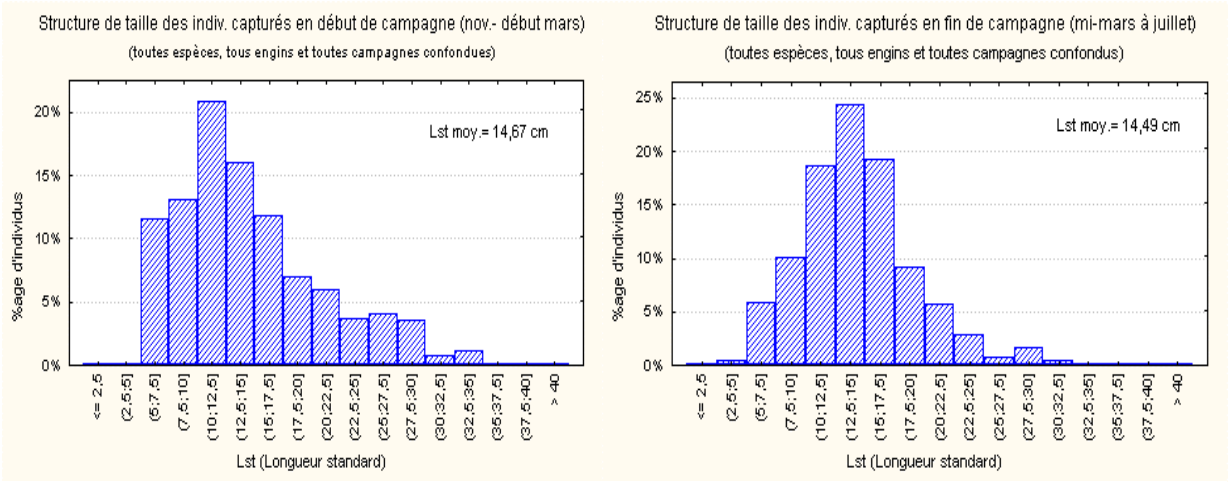


Source : Kodio *et al.*, 2002.

Figure 10 - Evolution des captures par sortie de pêche durant les deux derniers tiers de la campagne de pêche, alors que le volume d'eau reste approximativement constant. Cette évolution, que l'on peut qualifier de « courbe d'épuisement », dénote la raréfaction progressive de la biomasse de poissons dans le milieu par suite du prélèvement halieutique.

Cela est confirmé ensuite par les structures d'âge et de taille des poissons capturés (*cf.* figure 11 et aussi Laë, 1995) qui estime que 70 % des poissons capturés sont dans leur première année).

8 En situation de pêche intensive comme l'est aujourd'hui une grande partie du fleuve Niger, on hésite à dire si la reproduction est plutôt basée sur la cohorte des poissons qui ont tout juste un an, individuellement peu féconds mais assez nombreux, ou bien sur le petit nombre de gros poissons de deux ans et plus qui sont individuellement très féconds mais qui sont rares compte tenu de la mortalité par pêche.

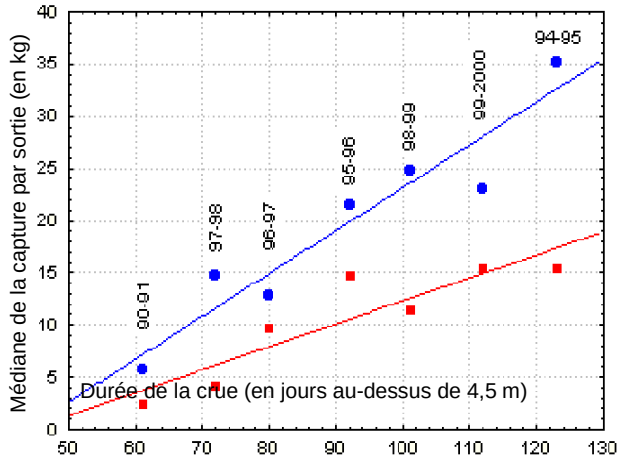


Source : Observatoire de la pêche IER-IRD-OPM

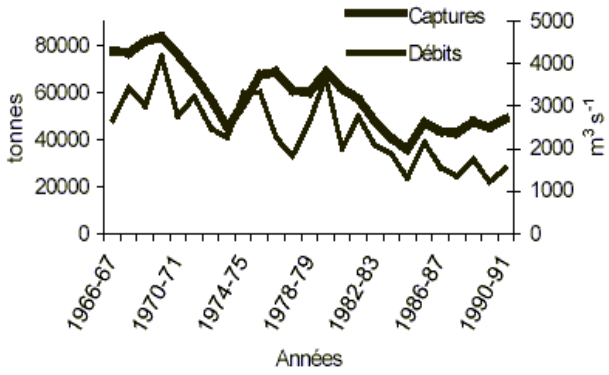
Figure 11 - Structures de taille des poissons capturés en début et fin de campagne de pêche : les modes sont situés dans la gamme 10 à 12,5 cm ou 12,5 à 15 cm, ce qui montre que les poissons capturés sont majoritairement très jeunes.

Pour finir, les variations interannuelles des captures effectuées par campagne de pêche apparaissent étroitement corrélées à la force des crues qui ont précédé chaque campagne (figure 12 et 13). Tous ces mécanismes sont maintenant bien compris et ont pu être reproduits avec réalisme par un modèle de simulation (Morand et Bousquet, 1994 et 2000).

Il faut noter qu'il n'apparaît pas de dégra
des années. Si bien que l'on peut considérer c
populations n'est pas entamée, jusqu'à présent,
dégradation de l'écosystème.



captures réalisées par unité d'effort, respectivement en début de campagne (courbe haute, en bleu) et en fin de campagne (courbe basse, en rouge)



Sources : OPM et Mahé,2002

Figure 13 - Évolution interannuelles des débits maximums (courbe fine) et des captures totales estimées (courbes en trait gras) dans le Delta intérieur du Niger

Identifications génériques des « besoins en eau »
en relation avec les traits de vie des poissons

Parmi les éléments à tirer de ces traits de vie, le premier est que le rôle joué par la crue dans le renouvellement des populations de poissons est décisif. Mais cette donnée doit être précisée : c'est surtout la quantité d'eau et, plus exactement, la surface et la répartition de cette eau qui joue un rôle déterminant dans la production biotique de l'écosystème en général et dans la reproduction et la croissance des poissons en particulier (Welcomme, 1979). Le débit, bien qu'étant le paramètre dynamique clé de l'hydraulique, n'est, pour les poissons, qu'un élément nécessaire à l'inondation des plaines, mais ce n'est pas un facteur très important en lui-même. En effet, parmi les espèces de poissons de la zone nilo-soudanienne qui sont importantes pour la pêche, la plupart est adaptée aux conditions des cours moyens des fleuves et pratiquement aucune n'est véritablement « rhéophile[9] ». Pour illustrer cette donnée, on peut dire que, en faisant l'hypothèse d'un fleuve qui aurait un débit aussi élevé ou même supérieur à celui du Niger mais qui serait affligé d'une géomorphologie moins favorable à l'inondation (par exemple un lit encaissé ou endigué), la production biotique et, singulièrement, la production en poissons seraient beaucoup plus faibles.

Un autre élément déterminant est constitué par l'amplitude de la variation saisonnière. Dans l'état actuel des connaissances, il est admis que cette variation joue un rôle favorable par la dynamique d'interaction qu'elle crée entre espaces secs et écosystèmes aquatiques, cette dynamique constituant un facteur d'enrichissement de ces derniers en éléments nutritifs (voir plus haut le modèle d'enrichissement par le « *flood pulse* » Junk *et al.*, 1989, cité en note de bas page n° 7). Ainsi, entre deux écosystèmes dont les surfaces en eau « moyennées sur l'année » seraient identiques, celui qui présente une variation saisonnière plus ample (avec un contraste fort entre la période de hautes eaux et la période de basses eaux) aura la productivité biotique la plus forte, notamment en poissons, parce qu'il est celui qui interagit le plus avec les espaces terrestres environnants. D'ailleurs, même si l'on se place dans le cas d'un écosystème lacustre (lacs de retenue par exemple), l'existence d'une ample variation saisonnière de surface en eau avec inondation annuelle de larges bandes riveraines constitue un point positif pour la production biotique[10].

Au-delà de ces deux traits principaux, à savoir l'importance de l'eau en tant que volume et surtout en tant que surface et l'importance de la variation saisonnière de cette surface, d'autres éléments plus fins peuvent être avancés à partir de l'analyse détaillée des traits de vie des poissons.

Ainsi, il apparaît que la séquence annuelle d'événements hydroclimatiques est d'autant plus profitable aux poissons qu'il existe un phasage favorable entre le cycle de la crue et le cycle de la température. Car, du fait des exigences thermiques des poissons

9 On qualifie de « rhéophiles » les espèces de poissons qui ont besoin d'un courant d'eau assez fort pour bien se développer à l'une ou l'autre des phases de leur cycle de vie.
10 À l'opposé, il existe vraisemblablement un seuil des conditions d'étiage au-dessous duquel il ne faut pas descendre. Mais ce seuil tolérable est très bas et il n'est pas transgressé jusqu'à ce jour : en d'autres termes, les conditions d'étiage n'apparaissent pas comme des facteurs limitants dans la dynamique actuelle de renouvellement des populations.

pour se reproduire, une forte disponibilité d'eau (en quantité ou en surface) en saison froide ne présenterait pas les mêmes avantages pour leur reproduction[11]. Des recherches fondamentales sont encore en cours sur ces points, mais on peut d'ores et déjà affirmer que, pour la plupart des espèces, le phasage actuel du cycle hydraulique avec celui des températures (qui est « bon » sur la majeure partie du cours du fleuve dans sa traversée du Mali) joue un rôle important. Certains auteurs (Welcomme et Halls, 2002) pensent également que le phasage avec la saison des pluies peut jouer un rôle : si la crue arrive juste après les pluies, lorsque les sols ne sont pas desséchés et que les jeunes pousses d'herbacées sont déjà sorties, les conditions sont plus favorables à la survie des œufs, des larves et des juvéniles de poissons. C'est ce qui se passe aujourd'hui sur le cours moyen du fleuve.

Un autre élément fin à prendre en compte est que la phase favorable (la crue et les hautes eaux) est, actuellement, non seulement très prévisible et progressive dans son occurrence, mais qu'elle est également assez longue dans sa durée annuelle : elle s'étale sur 4 à 6 mois (selon les lieux et la manière de compter) et elle est, surtout, continue c'est-à-dire constituée « d'un seul bloc ». On peut raisonnablement supposer que plusieurs phases de crue de moindre durée qui seraient réparties en deux, trois ou quatre fois au cours de l'année ne seraient pas aussi bien exploitées par la majorité des espèces de poissons puisque leurs jeunes ne peuvent atteindre des tailles suffisantes (c'est-à-dire une taille leur conférant un niveau de robustesse suffisant pour affronter des conditions défavorables) en un temps inférieur à deux ou trois mois. De même, une montée trop rapide des eaux, ou, pire encore, une montée non prévisible ou non progressive (une succession de montées et de retraits de l'eau sans calendrier fixe) constituerait sans doute une gêne à la reproduction des poissons avec le risque d'une perte des pontes.

Le dernier élément à tirer de la connaissance du cycle des poissons est que plusieurs espaces de vie sont utilisés par les poissons au cours de leur vie et au cours du cycle annuel : à la crue, à des dates bien précises, les poissons doivent pouvoir envahir les plaines et, à la décrue quelques mois plus tard, il leur faut pouvoir regagner le fleuve ou les lacs (Bénech, 2002). En d'autres termes, la possibilité de mobilité spatiale constitue une composante essentielle de la stratégie adaptative de la plupart des espèces. Si cette mobilité basée sur la continuité de l'espace aquatique (au moins à certaines périodes de l'année) est empêchée, il est certain que des conséquences négatives en découleront quant au niveau de renouvellement des populations.

Enfin, un dernier élément évident (car il est général et non spécifique aux poissons du fleuve Niger) est que les poissons ont non seulement besoin d'eau pour vivre mais qu'ils ont besoin d'une eau de qualité convenable, c'est-à-dire qui ne soit pas trop chargée en polluants ou autres produits nuisibles à leur survie et à la vie de leurs proies. Cette présence de substances chimiques nocives pourrait être particulièrement dommageable lorsqu'elle survient dans les plaines inondées au moment de la crue, là où

11 Notons qu'il s'agit de la situation vécue par les poissons de la partie avale de la boucle (entre Gao et Labézanga) et par ceux de la partie nigérienne puisque l'onde principale de crue en provenance de Guinée n'atteint ces zones qu'à partir de la fin Novembre ou de Décembre. Et sur ce point et de façon tout à fait significative, M. Massou (2002) a montré aux environs de Niamey que les poissons choisissent alors plutôt le petit pic de crue d'hivernage (lié aux écoulements des pluies locales de juillet-août, en période chaude) pour se reproduire.

vivent les larves et les juvéniles, ou bien au moment des plus basses eaux (en avril-mai) lorsque les poissons ont déjà affaire à des conditions naturelles difficiles (peu d'eau, peu d'oxygène…). Une autre cause de la détérioration de la qualité de l'eau est constituée par la présence éventuelle d'une importante couverture végétale en surface (par exemple, par les jacinthes d'eau) qui empêche la pénétration de la lumière et qui rend la colonne d'eau sombre et, par conséquent, plus ou moins anoxique (Akinyemiju, 1987 ; Dembélé, 1994). Toutefois, ces deux types de phénomènes (pollution et envahissement par des macrophytes) ne sont pas très présents aujourd'hui sur le fleuve *stricto sensu*, du moins dans sa portion malienne. Mais ils le sont davantage dans les grands périmètres irrigués voisins, par exemple dans les canaux et les exutoires (*fala*) de l'Office du Niger.

En d'autres termes, les exigences des poissons pour le renouvellement de leurs populations peuvent être résumées en six points :

- extension suffisante de l'inondation annuelle, résultant du produit d'un facteur « magnitude de l'apport d'eau en crue » par un « facteur géomorphologique favorisant l'inondation » (existence d'un réseau de trouées et de chenaux menant vers des plaines basses) ;
- maintien d'une ample saisonnalité (fort contraste crue/étiage) favorisant l'effet « *flood pulse* » ;
- bonne coïncidence entre les périodes trophiquement et thermiquement favorables, c'est-à-dire entre la crue ou les hautes eaux d'une part et la saison chaude ou non froide d'autre part ;
- régularité du cycle : prévisibilité calendaire, progressivité de la montée et de la descente de l'eau, durée suffisante de la phase favorable (« en un seul bloc ») ;
- continuité (ou existence de voies de communication) entre les portions de l'espace aquatique, au moins en crue et en hautes eaux ;
- qualité de l'eau, notamment en termes d'absence de phénomènes d'anoxie et de non concentration en pesticides.

Chacun des six éléments précédents peut constituer, à différents degrés, un point de vulnérabilité face aux manipulations anthropiques et à leurs effets directs ou indirects.

Besoins en eau liés au maintien de bonnes conditions de déploiement des activités de pêche et des activités associées

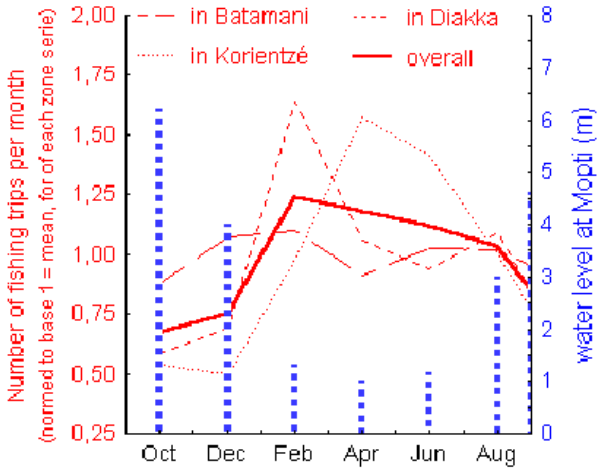
La rentabilité de l'activité de pêche est certes basée sur l'abondance du poisson, mais elle nécessite aussi certaines conditions favorables pour pouvoir être déployée de façon efficace et à moindre coûts.

En effet, contrairement aux pêcheurs côtiers et maritimes qui sont de gros utilisateurs d'énergie, les pêcheurs continentaux exploitent au maximum les mouvements naturels de l'eau et des poissons pour réaliser un maximum de prises avec un minimum d'efforts.

Besoins en eau liés au maintien de phénomènes favorisant la capture

Rappels sur la dynamique saisonnière de l'activité des pêcheurs

Bien que la pêche soit pratiquée tout au long du cycle annuel, son intensité diminue beaucoup durant la période des hautes eaux (figure 14) et cela pour deux raisons : le poisson est alors peu abondant (la cohorte d'individus nés l'année précédente est très affaiblie par la campagne de pêche qu'elle a subie alors que les jeunes de la nouvelle génération n'ont pas encore une taille suffisante pour être pêchés) et il est, de plus, très peu vulnérable car dispersé dans les plaines. Accessoirement, on peut dire aussi que les surfaces sèches disponibles à cette saison autour des campements sont trop limitées pour autoriser la transformation du poisson dans de bonnes conditions.



Source :
Observatoire de la pêche IER-IRD-OPM

Figure 14 - Le cycle d'activité (en nombre de sorties) des pêcheurs, observé dans trois zones de suivi du Delta, fait apparaître une baisse d'activité de septembre à décembre et une hausse de janvier à juillet, en opposition quasi-parfaite au cycle du

Ce cycle d'intensité de l'activité peut être décrit plus finement, c'est-à-dire en termes de techniques déployées (figure 15). En fait, hormis deux ou trois techniques qui sont plus ou moins utilisées durant toute l'année et dans la plupart des milieux (le filet dormant *gillnet*, les palangres *longlines* et, dans une moindre mesure, l'épervier *castnet*), l'utilisation des autres techniques suit en général un calendrier précis qui est repris à l'identique (ou presque) d'année en année. Ce calendrier est composé des trois périodes suivantes :

Pendant la décrue, les pêcheurs mettent à profit le déplacement des poissons dans l'eau encore abondante. Ils utilisent par conséquent :

- les nasses (*trapps*), le filet couloir relevant et le filet triangulaire disposés en barrages dans les chenaux au moment où les poissons quittent les plaines et cherchent à regagner le fleuve ;
- le filet dérivant (*driftnets*) dans le fleuve pour capturer les bancs de migrateurs pélagiques qui remontent le courant.

En étiage, les pêcheurs profitent du moindre volume d'eau pour « ramasser » les poissons qui se trouvent alors concentrés dans les mares ou dans des points particuliers du fleuve. Ils utilisent par conséquent :

- la grande senne (*large seine*) ou la senne familiale (*small seine*) ainsi que d'autres engins encerclants ou couvrant tels que le *xubi-seu* (appelé ailleurs *keep-all*) ou la fourrière (filet tournant) ;
- le filet à deux mains, le filet triangulaire et le kango, petits engins individuels, lors des pêches collectives d'épuisement réalisées dans les mares ou dans les bras en voie d'assèchement.

Pendant la crue, en août, quelques barrages sont à nouveau déployés pour capturer les poissons lors de leur mouvement de retour vers les plaines et l'activité devient ensuite minime jusqu'à mi-novembre ou début décembre selon les endroits.

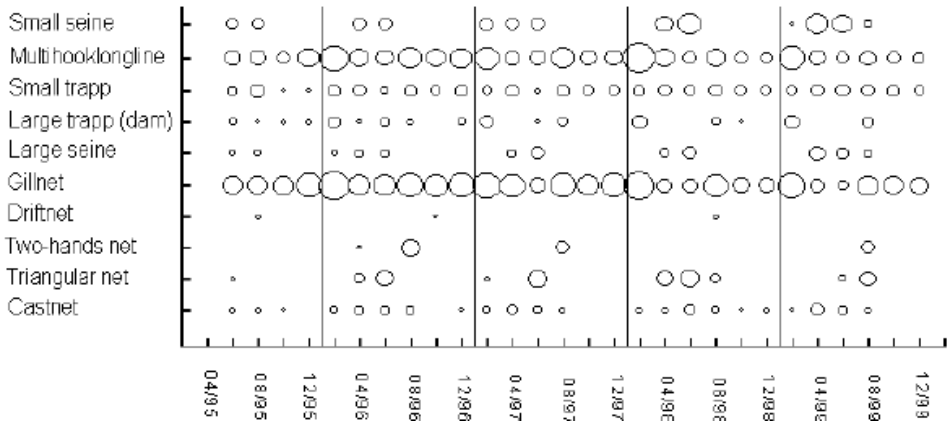


Figure 15 - Saisonnalité et régularité du déploiement des activités telles qu'observées sur cinq années consécutives dans une zone de suivi (Diakka-aval) de l'observatoire de la pêche (IER-IRD-OPM). À noter toutefois, dans cette zone, une tendance au remplacement du filet dormant maillant (gillnet) par les petites sennes et les filets tournants (small seine) en étiage.

Autour des lacs de retenue (Morand *et al.*, 2002a) tels que Sélingué, la panoplie des techniques de pêche utilisées est moins variée mais elle obéit aussi à une saisonnalité régulière. Il en va de même pour l'intensité globale de l'activité de pêche qui est, là aussi, maximale en décrue et surtout en basses eaux, c'est-à-dire de mars à août (en rappelant que les saisons hydrologiques sont, ici, artificielles puisque résultant de la gestion du barrage).

Besoins en mouvements naturels de l'eau (et des poissons) pour une pêche fructueuse

L'étude générale de l'activité des pêcheurs montre que les mouvements de l'eau et des poissons sont largement mis à contribution pour capturer le poisson de façon efficace.

La condition de base de ces mouvements est qu'il existe une alternance entre les périodes de hautes eaux et celles de basses eaux, c'est-à-dire une saisonnalité hydraulique marquée et régulière. En examinant de façon plus détaillée les techniques déployées, on observe que plusieurs types de conditions hydrauliques jouent un rôle important pour favoriser la capture.

À la décrue et à la crue, il faut que le changement de niveau soit régulier et prévisible et cela pour plusieurs raisons :

- pour que les barrages de nasses puissent être mis en place et exploités sans (mauvaise) surprise. En effet, une montée brutale de l'eau peut permettre au poisson de passer par-dessus les nasses ;
- pour que les bancs de poissons pélagiques en migration (notamment les *tineni Brycinus leuciscus*) restent bien formés et ne se désagrègent pas, ce qui nuirait à leur capture dans le fleuve par les filets dérivants.

Durant l'étiage, il faut que le niveau soit très bas, au moins dans les mares et dans certains bras, pour permettre l'organisation de réelles pêches d'épuisement et pour permettre aux engins d'accéder à la quasi-totalité de la biomasse présente[12]. Il faut aussi, à cette même saison, que le niveau d'eau du fleuve ne connaisse pas de brusques remontées (généralement dues à des lachures) car celles-ci, si elles sont accompagnées de coups de vent, peuvent disloquer les barrages.

Parmi ces conditions hydrauliques favorables ou défavorables à la capture, il faut distinguer celles qui sont structurantes (avec l'existence d'une saisonnalité[13]) de celles qui jouent plutôt un rôle accessoire et qui agissent comme un aléa sur la réussite quotidienne de l'activité. Dans ce dernier cas, on peut se demander si les doléances des pêcheurs doivent être considérées comme de réels problèmes au niveau global. En effet, dans une situation où l'exploitation est intensive (voir figure 9), le poisson qui n'est pas pris aujourd'hui par suite de circonstances défavorables, le sera demain ou après-demain par le même pêcheur ou plus probablement par un autre. Selon les jours, un pêcheur donné gagne ou perd à ce petit jeu et, s'il est normal que son humeur s'en ressente sur le moment, il est probable que l'effet de tels aléas sur la production d'une campagne, même pour un ménage donné, est globalement très faible ou nul.

Besoins en eau liés à la circulation des pêcheurs et de leurs produits

Vis-à-vis du facteur « eau », un autre besoin important des activités humaines liées à la pêche est la possibilité de navigation. Celle-ci doit être effective dans le lit majeur durant la totalité de la campagne de pêche de façon à permettre, à la fois, la circulation des pinasses de migrants (notamment les mouvements de retour vers les villages d'amont qui commencent en avril-juin) et, aussi, l'évacuation des produits de la pêche par les commerçants collecteurs. Cette exigence devient aujourd'hui de plus en plus forte avec le développement de la commercialisation en frais, laquelle exige un passage quotidien de pinasses collectrices, alors que l'évacuation du poisson fumé pouvait supporter certains délais et donc aller de pair avec l'utilisation de voies moins aisées. En juin 1999, un quasi-arrêt de l'écoulement (ainsi qu'une chute conséquente des prix payés aux pêcheurs) est survenu dans la zone de Batamani suite à la chute du débit dans le fleuve provoqué par l'incident de gestion de l'ouvrage de Sélingué (Morand *et al.*, 2002a).

12 En 1995, suite à la très forte crue de 1994, les pêches collectives de certaines mares n'ont pas pu être organisées du fait du niveau d'étiage trop élevé.
13 Qui permet aussi la bonne articulation actuelle du calendrier de pêche avec le calendrier des activités agricoles, ces dernières atteignant leur maximum d'intensité en juillet-décembre, au creux de la saison de pêche.

Autres besoins des pêcheurs vis-à-vis de la gestion des milieux en général

Jusqu'à ce jour, les pêcheurs maliens, qu'ils soient du delta intérieur du Niger ou de l'ensemble de la vallée, ont toujours privilégié une stratégie de mobilité spatiale et/ou de flexibilité d'activité (en jonglant sur le rapport pêche/agriculture) pour faire face aux variations hydroclimatiques et économiques. Toute politique d'aménagement qui a pour implication, directe ou indirecte, d'entraver cette stratégie de mobilité et de flexibilité va exiger de la part de ces pêcheurs un très important effort d'adaptation avec un résultat final non assuré. Parmi ces politiques, deux sont aujourd'hui d'actualité :

- la décentralisation qui, en donnant un important pouvoir de gestion des ressources naturelles aux populations autochtones « enregistrées », peut avoir pour conséquence de mettre en difficulté des groupes dont l'activité professionnelle est basée sur la migration (comme les pêcheurs) en rendant plus difficile leur accès aux ressources,
- les aménagement hydroagricoles lourds (les grands périmètres en irrigation gravitaire) qui, du fait des investissements consentis, vont conduire à privilégier une politique d'attribution des parcelles (casiers) aux seuls ménages capables de fournir un travail agricole continu durant toute l'année, ou presque, avec deux cultures par an (ce qui, du même coup, exclut largement les paysans-pêcheurs dont le calendrier annuel est basé sur l'alternance des activités agricoles et halieutiques).

Dans les deux cas, une attention particulière doit être accordée à la recherche de solutions permettant la perpétuation de l'activité halieutique comme moyen d'existence (pour les pêcheurs) et comme source de protéines (pour le pays).

Le pastoralisme dans le delta intérieur du Niger

L'importance du delta intérieur dans l'élevage malien

Le delta intérieur du Niger joue un rôle très particulier dans l'organisation et l'économie de l'élevage au Mali. Le cheptel bovin malien est estimé à 7,6 millions de têtes (OIE, 2003) dont près de 1,6 million dans la région de Mopti. Il est difficile d'estimer avec précision le nombre de bovins fréquentant actuellement les pâturages du delta intérieur du Niger. Cependant, des comptages aériens anciens datant des années quatre-vingt estimaient à 1,4 million de têtes le nombre de bovins fréquentant ces pâturages. À cette époque, ce chiffre représentait près de 30 % du cheptel bovin malien qui était estimé à 4,8 millions de têtes. On peut penser que le nombre d'animaux saisonnièrement accueillis dans le delta était, à cette époque, proche du maximum et que ce chiffre n'est probablement pas dépassé aujourd'hui. Dans cette hypothèse, le delta intérieur du Niger accueillerait encore actuellement, sur un territoire inférieur à 20 000 km^2 (1,5 % du territoire national), près de 20 % du cheptel malien. L'importance du delta intérieur se marque par cette forte concentration qui tient à l'exceptionnelle productivité de ses pâturages inondés. Les plus riches d'entre eux, les bourgoutières, ont une productivité que l'on peut situer entre vingt et trente tonnes de matières sèches à l'hectare, c'est-à-dire quinze à vingt fois celle d'un bon pâturage sahélien. À cet égard, le delta intérieur du Niger apparaît donc comme un espace unique en Afrique de l'Ouest.

Les principes de l'élevage dans le delta intérieur

Il nous semble aussi nécessaire d'exposer brièvement les principes sur lesquels repose l'organisation de l'élevage dans le delta intérieur du Niger. Cette organisation est le fruit de la rencontre, exceptionnelle à bien des égards, d'atouts et de contraintes liés au milieu physique et de circonstances historiques particulières.

Atouts et contraintes physiques, tout d'abord, se résument en quelques phrases. Le rythme annuel de l'inondation rend les pâturages du delta intérieur impraticables pendant au moins cinq mois dans l'année. Les animaux doivent réglementairement avoir évacué le delta au plus tard le 15 août, mais il s'agit là aussi d'une contrainte physique : en effet, au-delà de cette date, la montée des eaux risquerait de les noyer. Pendant toute la durée des hautes eaux, d'août à novembre-décembre, les pâturages sont trop profondément submergés pour que les animaux puissent s'y nourrir. Par ailleurs, les conditions sanitaires y deviennent très difficiles (multiplication des insectes piqueurs et des parasites notamment) et les rares animaux qui demeurent dans le delta pour assurer un minimum de production laitière aux familles d'éleveurs sont, en quelque sorte, des animaux sacrifiés. Afin d'éviter la submersion, les troupeaux quittent alors le delta intérieur pour une longue transhumance vers les pâturages du Sahel et ne reviennent que lorsque la décrue, bien amorcée, commence à découvrir les pâturages.

La richesse exceptionnelle des pâturages et le rythme marqué par la crue constituent donc à la fois les atouts et les contraintes du milieu. Mais l'originalité du delta tient aussi à l'existence d'une infrastructure foncière pastorale – elle aussi unique à bien des égards – dont la création est l'œuvre d'un pouvoir politique peul à un moment historique particulier. Les éleveurs peuls investirent progressivement le delta intérieur à partir du XVe siècle mais restent des pasteurs nomades. C'est au début du XIXe siècle [14] (1818), sous l'impulsion d'un souverain peul, Cheikou Ahmadou, que ces nomades furent sédentarisés au cours d'un épisode historique connu sous le nom de « *Diina* ». La *Diina* réglementait la vie des hommes du delta intérieur selon un code très strict de dépendance au profit du groupe peul politiquement et militairement dominant, les autres groupes devenant des esclaves ou des assujettis. Elle créait également une organisation originale de l'espace, divisé en territoires agro-pastoraux, les *leyde*, dotés d'un code foncier pastoral très strict.

Cette organisation survit encore de nos jours et constitue la trame foncière de l'espace pastoral. En 1982, le delta comptait 32 *leyde* et une infrastructure de pistes pastorales et de gîtes d'une étonnante complexité : plus de 3 600 km de pistes pastorales internes au delta (59 pistes principales comportant de très nombreux embranchements) et plus de 1 000 gîtes qui permettent aux animaux d'exploiter les pâturages. Si l'on s'en tient à quelques valeurs moyennes, le delta intérieur compterait 1 km de piste pour 4 km^2 et un gîte pour 16 km^2. Chaque *leyde*, avec ses pâturages, ses pistes et ses gîtes est collectivement approprié par un clan peul, représenté par son chef berger : le *Jowro*.

14 Cette époque est celle des "*Djihad*", les guerres saintes islamiques qui, de Sokoto au delta intérieur du Niger, entraînèrent la création d'États peuls.

Historiquement, la création des *leyde* du delta concrétisait la recherche d'un double équilibre entre l'exploitation pastorale et l'exploitation agricole d'une part, et entre le pâturage et le troupeau, d'autre part. L'équilibre entre le pastoralisme et l'agriculture était atteint, sous la *Diina*, par le fait que les pâturages, les terres cultivées et les cultivateurs étaient gérés par des groupes d'éleveurs dominants et à leur seul profit, situation souvent lourde d'oppression pour les autres groupes sociaux. L'équilibre entre le pâturage et le troupeau était obtenu par la limitation des troupeaux étrangers au moyen de l'imposition d'une taxe, le *Tollo*, prélevée par le *Jowro*, chef-berger et maître des pâturages du *leydi*. Cette taxe était répartie ensuite entre les hommes de la famille chargée de la gestion des terres.

Actuellement, ce double équilibre recherché par l'organisation de la *Diina* n'existe plus. Les causes en sont multiples : la poussée de l'agriculture, tout d'abord, avec un taux d'accroissement net voisin de celui de la population et une mobilité des rizières exacerbée par la faiblesse des crues, l'augmentation des troupeaux ensuite, due pour une bonne part aux soins vétérinaires, alors que la poussée agricole opère une réduction très sensible de l'espace pastoral. En 1958, Jean Gallais (1984) estimait le cheptel bovin du delta à 200 000 têtes auquel s'ajoutait 200 000 autres têtes appartenant à des éleveurs sahéliens accompagnant les éleveurs du delta lors du retour de transhumance à la décrue. En 1970, il évaluait les troupeaux du delta à 480 000 têtes de gros bétail et les troupeaux « étrangers » à 560 000 têtes, soit un total dépassant le million (sans le petit bétail). Au début des années quatre-vingt, des comptages effectués par survols aériens indiquaient un total, uniquement pour les bovins, de 1 200 000 têtes dans un delta devenu un refuge face à la sécheresse du Sahel.

La rupture des équilibres voulus par la *Diina* est également liée à la modification des structures de propriété du cheptel mise en évidence par différents auteurs (Cissé, 1982 ; Turner,1992). La reconversion des liquidités financières dégagées par la pêche, l'agriculture, le commerce ou l'épargne salariale s'effectue le plus souvent dans l'élevage bovin. En conséquence, un nombre croissant de propriétaires de troupeaux ne sont plus des éleveurs tandis qu'inversement, un nombre croissant d'éleveurs traditionnels ayant perdu la majorité de leurs animaux lors des épisodes de sécheresse qui ont fortement marqués l'hydrologie du Niger sont devenus les bergers salariés de propriétaires-rentiers. Dans le même temps, le *Tollo*, bien qu'interdit par le gouvernement malien, continue d'être perçu clandestinement, souvent au seul profit du *Jowro*. Le *Tollo* qui, à l'origine, servait à marquer un pouvoir et à contrôler la gestion des pâturages devient une source d'enrichissement personnel ou familial et la tentation est alors grande d'admettre un maximum d'animaux sur les pâturages du *leydi*.

Par ailleurs, la dynamique des terres a largement échappé aux anciens maîtres peuls. Sous la pression des défrichements, l'infrastructure pastorale est maintenant fortement menacée. En conséquence, le fondement même de l'organisation socio-territoriale en *leyde* (domination économique et politique d'un groupe d'éleveurs, propriété d'un important cheptel, contrôle d'un espace agro-pastoral au moyen d'un code foncier) est largement remis en cause à des degrés divers par l'évolution politique, économique et sociale de la région.

L'organisation de la transhumance

Pendant les hautes eaux, les troupeaux et leurs bergers effectuent une longue transhumance (elle peut dépasser 300 km) de manière rayonnante autour du delta. Trois grandes directions sont privilégiées. La première est celle du nord-ouest, en direction du Sahel malien et mauritanien. Certains la prennent directement à partir des territoires pastoraux du nord du delta, tandis que d'autres partent d'abord vers l'ouest, en direction des terres de l'Office du Niger qui sont ensuite contournées par le nord. Les deux autres directions vont, l'une, vers l'est en direction du Gourma, l'autre vers le sud-est pour rejoindre les pâturages du Séno Mango en contournant le plateau de Bandiagara par le sud. Enfin, depuis quelques années, des troupeaux passent l'hivernage dans la partie sud du delta, à la limite de l'inondation.

Le retour des troupeaux s'effectue progressivement vers le mois d'octobre. Les troupeaux éparpillés dans le Sahel vont se concentrer dans des zones d'attente à la périphérie de l'inondation en attendant de pouvoir pénétrer dans le delta afin de regagner leur *leydi* d'origine.

L'entrée des troupeaux dans le delta est conditionnée par la crue de l'année (hauteur d'eau, vitesse du retrait). On peut considérer que les bourgoutières sont accessibles lorsque l'eau atteint la cote climax (660 cm) moins deux mètres soit la cote de 460 cm à Mopti. Les entrées dans le delta (tableau 10) s'effectuent par des passages à gué contrôlés par les associations d'éleveurs et par la force publique.

Cercles	Nombre de points d'entrée dans le cercle
Ténenkou	9
Djenné	9
Mopti	9
Youwarou	2

Tableau 10 - Principaux points d'entrée dans les cercles

Chaque année, les services officiels fixent les dates des principales traversées. La décrue s'amorçant par le sud-ouest et se propageant lentement vers le nord, les pâturages ne sont accessibles que très progressivement, les bourgoutières du nord n'étant ouvertes qu'environ trois mois après la première traversée dans le sud (celle de Diafarabé ouvre généralement le calendrier). Les dates choisies tentent de concilier trois impératifs : la raréfaction des pâturages dans les zones d'attente périphériques, la baisse de l'eau dans le delta qui rend les pistes et les gîtes praticables et la date des dernières récoltes de riz afin de tenter d'éviter les conflits entre agriculteurs et éleveurs. Jusque dans les années quatre-vingt, la date moyenne pour les entrées sud du delta était aux alentours du 20 décembre. La puissance publique réglemente également les dates à partir desquelles les bourgoutières du nord sont officiellement accessibles. Une seconde transhumance, interne au delta, a lieu généralement à partir du mois de mars, les troupeaux cantonnés dans le sud du delta remontant vers les pâturages du nord. L'année 1994 permet d'illustrer cette double bascule (zone d'attente/pâturages du delta en novembre-décembre et pâturages du sud du delta/pâturages du nord en mars-avril) qui représente des périodes cruciales pour les éleveurs et leurs troupeaux. La crue de 1994 avec 642 cm fut la première bonne année depuis le début des années quatre-vingt. Le calendrier de la saison 1994-95 débuta par le « *deggal* » (la traversée) de Diafarabé qui eut lieu le 17 décembre 1994 suivi par les traversées de Dia-Bozo, Sofara, Koubi et

Soye entre le 19 et le 24 du mois. Les dernières traversées officielles, ouvrant l'accès aux pâturages du nord, eurent lieu entre le 15 mars et le 8 avril 1995.

La progression des troupeaux s'effectue le long des pistes pastorales, les animaux se reposant la nuit sur des tertres exondés, les gîtes permettant également de pâturer aux alentours pendant la journée. Pistes, gîtes et pâturages sont appropriés par le clan peul titulaire du *leyde*. Les troupeaux des différents « propriétaires » de chaque *leydi* sont organisés en un troupeau collectif l'*eggirgol* conduit par le *Jowro*, le chef-berger, qui règle le parcours et les rythmes de la progression. Il autorise ou non les troupeaux étrangers, en particulier ceux appartenant à des éleveurs du Sahel, à s'intégrer à son propre *eggirgol*. Certains *eggirde* peuvent dépasser 20 000 têtes de bétail et, dans la réalité, les troupeaux se suivent à une certaine distance selon un ordre de préséance codifié par la coutume. Le troupeau du *Jowro* ouvre la marche, suivi par ceux des différents propriétaires du *leyde*, puis par les troupeaux des voisins qui doivent traverser le *leydi* pour accéder aux leurs, puis par les troupeaux des éleveurs étrangers au delta.

Le pastoralisme et l'usage de l'eau

Les pasteurs ne sont pas, au sens strict et si l'on excepte l'abreuvement, des utilisateurs consommant la ressource. Mais, comme les pêcheurs, ils dépendent cependant très étroitement de la crue annuelle dont l'amplitude conditionne directement l'existence et la productivité des formations végétales qui constituent la ressource fourragère. Les pasteurs ont besoin d'une crue d'une forte amplitude s'accompagnant d'une longue durée de submersion. Une crue forte et prolongée conditionne directement l'extension de l'inondation, donc celle des pâturages ainsi que leur productivité. D'autre part, elle favorise également le respect des règles régissant l'organisation pastorale.

Les faibles crues des années quatre-vingt ont précipité la crise pastorale du delta intérieur que l'évolution économique et socio-politique du Mali laissait déjà entrevoir.

L'organisation sociale de la transhumance, héritée de la *Diina*, reposait sur un pouvoir politique hégémonique des pasteurs peuls, pouvoir qui n'existe plus de nos jours et serait d'ailleurs complètement anachronique. Cette organisation a cependant perduré grâce à l'action, souvent ambiguë, des pouvoirs publics et sur des ententes entre clans ou lignages peuls. Cependant, les conflits sont devenus courants entre bergers et agriculteurs, entre bergers de *leyde* voisins luttant pour arriver les premiers sur les pâturages, entre bergers des *leyde* et pasteurs étrangers au delta dont beaucoup, depuis l'Indépendance du Mali et les lois sur la nationalisation des terres, considèrent les pâturages du delta comme étant en accès libre.

Le thème de la crise de l'organisation de l'espace dans le delta a été développé par plusieurs auteurs (Turner, 1992 ; Barrière et Barrière, 1995). On peut cependant tirer deux conclusions des données précédentes : le début des années quatre-vingt correspond à une situation qui cumule un nombre maximum d'animaux et la forte occurrence de faibles crues diminuant la productivité des pâturages. Dans le même temps, la durée de la crue diminue et l'entrée dans le delta est plus précoce. On peut ajouter à cela le fait très évident que les crues faibles permettent de ne pas respecter le réseau de pistes et de gîtes le plus souvent situé sur les points hauts du paysage. Les mauvaises années, de grandes étendues sont précocement découvertes et les troupeaux étrangers au delta ou ceux d'un autre *leydi* peuvent aisément contourner les gîtes contrôlés par le *Jowro* du

leydi et ne pas respecter la préséance. Le nombre maximum d'animaux et la faiblesse des crues qui réduisent la productivité des parcours et laissent une grande latitude dans le non-respect des coutumes sont les principaux facteurs qui poussent à un désordre maximal dans le fonctionnement de l'organisation pastorale. Ces désordres qui s'inscrivent sur fond d'une crise des pouvoirs (négation du pouvoir peul qui n'a plus, depuis fort longtemps, d'assise politique, non-respect du pouvoir d'Etat qui, au demeurant, prend souvent des initiatives contradictoires, évolution rapide de la propriété du capital-cheptel) forment les éléments constitutifs d'une crise profonde. Il est, à ce stade, encore trop tôt pour savoir si la décentralisation qui a entraîné une réorganisation territoriale du Mali – et donc du delta – en créant des communes rurales investies de compétences en matière de gestion des ressources naturelles et la promulgation du récent code pastoral pourront apporter une réponse satisfaisante aux désordres qui affectent actuellement l'organisation de l'élevage dans le delta.

Ce désordre conflictuel est encore aggravé par la poussée de l'agriculture. En 1989, dernière date pour laquelle nous disposons d'informations exhaustives, la riziculture inondée occupait 159 000 hectares dans le delta. Il s'agit d'une riziculture nomade avec des rendements (en moyenne 900 kg/ha) qui sont parmi les plus bas du monde. Si l'on compare la situation de 1958-59 avec celle de 1989, on constate que les surfaces en riz ont été multipliées par deux en trente ans alors que le disponible par tête, dans le meilleur des cas[15], serait resté à peu près constant (0,45 ha/ personne en 1989 contre 0,47 ha/ personne en 1957-58). En d'autres termes, cette riziculture nomade (les riziculteurs déplacent leurs rizières en fonction de la crue espérée chaque année) évolue avec un taux de croissance qui suit celui de la croissance démographique.

À partir du début des années quatre-vingt, la faiblesse des crues contraint les agriculteurs à implanter leurs rizières dans des formations végétales plus profondes qui sont alors défrichées. Or, ces formations correspondent aux meilleurs pâturages : les bourgoutières. Alors qu'en 1952 les bourgoutières sont très rarement défrichées, en 1989, 51 252 ha de bourgoutières étaient défrichés et transformés en rizières, les espaces les plus touchés se localisant autour de Mopti et de Ténenkou, dans le Yongari-Mangari au sud, et le long d'un axe qui va de Mourra à Sormé en traversant le territoire de Togoro Kotia. À cette date, un quart des bourgoutières était donc défriché avec une distribution du phénomène très marquée puisque les taux de défrichement, si on les replace dans les limites actuelles des nouvelles communes rurales qui auront à gérer le problème, vont de 0 à 81,9 % selon la commune. Les cas les plus préoccupants concernent des communes autour de Ténenkou, du Kewa, au sud, et des communes autour de Mopti, notamment Socoura et Sio. Cette situation est préoccupante pour deux raisons : d'une part, elle représente une perte de pâturages importante pour les pasteurs et pour l'élevage en général (et il s'agit ici, comme nous l'avons dit précédemment, de pâturages ayant la plus forte productivité de tous les pâturages tropicaux) et, d'autre part, ces espaces représentent des espaces fortement disputés et porteurs de conflits.

Parallèlement, les infrastructures pastorales (pistes et gîtes) sont fortement menacées. En 1989 (nous ne disposons pas d'informations plus récentes), 242 gîtes sur

15 Nos estimations sont minimales pour la population et maximales pour les surfaces cultivées.

les 1 014 que comptait le delta étaient cultivés et inaccessibles aux éleveurs. Les gîtes cultivés représentent environ 24 % de l'ensemble des gîtes du delta, pourcentage très proche de la superficie des bourgoutières défrichées. Les gîtes cultivés dans le delta se rencontrent principalement :

- dans la région de Ténenkou, le Maasina historique ;
- dans le sud de Mopti ;
- le long de la bordure orientale du delta entre Mopti au sud et Konna au nord ;
- sur un arc de cercle sur les pistes du Wuro Ali menant à la cuvette du Yongari Mangari ;
- le long d'un axe qui part de Moura, traverse les leyde Salsalbe et Sossobe et se poursuit le long du Burtol du Jallube Burgou menant au Débo.

Les observations précédentes amènent à penser que l'évolution de la riziculture s'est poursuivie jusqu'à maintenant en faisant peser des menaces de plus en plus lourdes sur l'organisation pastorale et en obérant ainsi sa capacité à entretenir une part très importante du cheptel malien.

Conservation des écosystèmes

Le delta intérieur du Niger renferme une grande variété d'habitats aquatiques (marécages, lacs, mares, plaines et forêts inondables) qui héberge une partie de l'année ou toute l'année, des colonies de poissons, de reptiles, de mammifères et d'oiseaux aquatiques qui trouvent, ici, des conditions favorables à leur reproduction et à leur nourrissage. Si le delta intérieur du Niger partage ce rôle avec plusieurs autres zones humides en Afrique sahélo-soudanienne, notamment le delta du Sénégal (Djoudj), la plaine de Hadéjia-Nguru au Nigeria, l'ensemble des plaines inondables dépendant du lac Tchad, du Logone et du Chari et les marais du Sudd au Soudan, il est, en Afrique de l'Ouest, la plus grande de ces zones humides. Seuls les marais de l'Okavango au Botswana pour l'Afrique Australe et les marais du Sudd au Soudan peuvent lui être comparés.

Les grandes zones humides font l'objet depuis 1971 d'une convention internationale, la convention de Ramsar (tableau 11), qui définit et organise les modalités de leur protection. En 1975, le gouvernement de la République du Mali a ratifié la convention qui s'applique au delta intérieur du Niger en raison de sa biogéographie et du rôle primordial qu'il joue pour l'existence d'un grand nombre d'espèces animales.

Groupe A des critères : sites contenant des types de zones humides représentatifs, rares ou uniques

Critère 1 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle contient un exemple représentatif, rare ou unique de type de zone humide naturelle ou quasi-naturelle de la région biogéographique concernée.

Groupe B des critères : sites d'importance internationale pour la conservation de la biodiversité biologique

(Critères tenant compte des espèces ou des communautés écologiques)

Critère 2 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des espèces vulnérables, menacées d'extinction ou gravement menacées d'extinction ou des communautés écologiques menacées.

Critère 3 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des populations d'espèces animales et/ou végétales importantes pour le maintien de la biodiversité biologique d'une région biogéographique particulière.

Critère 4 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite des espèces végétales et/ou animales à un stade critique de leur cycle de vie ou si elle sert de refuge dans des conditions difficiles.

Critères spécifiques tenant compte des oiseaux d'eau

Critère 5 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite, habituellement, 20 000 oiseaux d'eau ou plus.

Critère 6 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite, habituellement, 1% des individus d'une population d'une espèce ou d'une sous-espèce d'oiseau d'eau.

Critères spécifiques tenant compte des poissons

Critère 7 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite une proportion importante de sous-espèces, d'espèces ou de familles de poissons indigènes, d'individus à différents stades du cycle de vie, d'interactions interspécifiques et/ou de populations représentatives des avantages et/ou des valeurs des zones humides et contribue ainsi à la biodiversité biologique mondiale.

Critère 8 : Une zone humide devrait être considérée comme un site d'importance internationale si elle abrite ou si elle sert de source d'alimentation importante pour les poissons, de frayère, de zone d'alevinage et/ou de voie de migration dont dépendent des stocks de poissons se trouvant dans la zone humide ou ailleurs.

Source : Wymenga *et al.*, 2002

Tableau 11 - Les critères de Ramsar

Cependant, depuis une vingtaine d'années, l'évolution du delta intérieur entretient des craintes quant au maintien de l'énorme potentiel de cette zone humide. Deux séries de faits contribuent à nourrir ces craintes :

- d'une part, l'évolution très négative de l'hydrologie du bassin du Niger depuis la fin des années soixante-dix qui s'est traduite par de très mauvaises crues pendant une vingtaine d'années. En particulier, depuis 1980, toutes les crues furent inférieures à la crue « climax » de 6,60 m à Mopti définissant l'équilibre antérieur entre le niveau de crue et les formations végétales caractérisant le delta intérieur,

- d'autre part, comme le montre le tableau suivant (tableau 12), la pression anthropique qui s'est fortement accrue depuis une génération.

	1976	1987	1998	Nombre de villes et villages en 1998
Population urbaine	98 199	122 199	126 755	11 villes
Population rurale	268 741	328 265	385 277	519 villages
Population totale	366 940	450 464	512 023	

Source : Marie, 2000

Tableau 12 - Effectif de la population vivant dans le delta intérieur aval

La densité rurale, bien que modérée, passe de 15 hab/km^2 en 1976 à 22 hab/km^2 en 1998. Cependant, ces chiffres ne concernent que la population vivant dans les limites strictes de la crue correspondant à la crue « climax » de 6,60 m. Les marges du delta, notamment les bordures méridionales et orientales apparaissent nettement plus chargées. Les 51 communes qui enchâssent le delta intérieur regroupent une population de 794 996 habitants en 1998 (637 416 ruraux et 157 580 urbains). C'est donc, au total, une population proche de huit cent mille habitants qui tire une grande partie de sa subsistance des ressources naturelles, terre, eau, flore et faune, du delta intérieur, contribuant ainsi à accroître la pression sur ses ressources naturelles.

Pression anthropique et dégradation des régimes hydrologiques et pluviométriques conjuguent leurs effets sur la faune et la flore sans qu'il soit possible de déterminer avec certitude le rôle de chacun de ces grands facteurs.

Les formations végétales du delta intérieur

Ce paragraphe s'appuie sur une étude lourde intitulée « Recherche d'une solution aux problèmes de l'élevage dans le delta intérieur du Niger au Mali (5 volumes, 54 cartes au 1/50 000) » réalisée entre 1980 et 1983 par des équipes pluridisciplinaires du CIPEA et de l'ODEM (Opération de Développement de l'Elevage dans la région de Mopti) sur un financement Banque Mondiale et sur des simulations réalisées dans un système d'information géographique intitulé « Delmasig : Homme, milieux, enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger (Mali) » publié en 2000 par J. Marie, qui s'appuie sur les données de l'étude précédente et qui permet notamment de modéliser les formations végétales et leurs relations à la crue.

Rappelons que l'étude CIPEA/ODEM est la première (et demeure la seule) étude exhaustive des formations végétales du delta intérieur. Réalisée sous la direction de Pierre Hiernaux et de Lassine Diarra, alors écologistes au CIPEA, elle s'appuie sur un inventaire rigoureux et une cartographie très détaillée de la végétation (169 sites d'observation et une couverture photographique aérienne infrarouge au 1/50 000). Pour chaque association végétale, la flore (189 espèces), l'écologie (78 paramètres) et la production végétale et fourragère annuelle et saisonnière, ont été relevées pendant plusieurs années.

L'analyse statistique a permis d'établir les profils floristiques et écologiques des formations végétales dont la distribution spatiale apparaît dominée par les différents paramètres de l'inondation (gradient de hauteurs d'eau, régularité, durée de la submersion…). Ainsi, le delta intérieur amont et la plaine du Farimaké regroupent 120

formations végétales comprenant 28 associations élémentaires (tableau 13) et 93 mosaïques[16] qui combinent deux ou plusieurs associations réparties sur 7 niveaux allant de l'exondé à une profondeur de submersion de - 4 m (tableau 14). Elles occupent 14 536 zones pour une surface totale de 22 262 km^2.

SIGLES	Dénomination de l'association végétale
AC	Eragrostaie haute à *Eragrostis barteri* et *Andropogon canaliculatus*
AG	Savane à *Andropogon gayanus* des replats sablonneux
B	Bourgoutière à *Echinochloa stagnina*
BP	Bourgoutière basse à *Vossia cuspidata*
EOR	Eragrostaie basse à *Eragrostis barteri* et *Oryza longistaminata*
ESP	Eragrostaie à *Eragrostis barteri* et *Setaria anceps*
MB *	Mosaïque des berges
O	Orizaie haute à *Oryza longistaminata* et *Setaria anceps*
OP	Orizaie basse à *Oryza longistaminata* et *Eleocharis dulcis*
P	Panicaie à *Panicum anabaptistum*
PAK	Plaine à *Acacia kirkii*
PAM	Plaine basse et chenal à *Mytragyna inernis*
PAN	Acacière des basses plaines à *Acacia nilotica*
PAR	Plaine à *Acacia raddiana* et *Calotropis*, lande à *Indigofera* des lacs sahéliens
PAS	Acacière des hautes plaines à *Acacia seyal*
R	Rizière des casiers de l'Office du Niger et des Opérations Riz
TA	Savane arbustive des « *toguerres* »à *Andropogon gayanus* et *Piliostigma reticulatum*
TB	Palmeraie à *Borassus aethiopum*
TC	Végétation anthropique des « *toguerres* »à *Celtis integrifolia* et *Borassus aethiopum*
TD	Fourré arbustif des « *toguerres* » à *Diospyros mespiliformis*
THY	Palmeraie à *Hyphaene thebaica*
TS	Savane arbustive des « *toguerres* » à *Acacia sieberiana* et *Acacia seyal*
TT	Savane arborée des « *toguerres* » à *Terminalia macroptera*
VB	Vétiveraie très basse
VH	Vétiveraie haute
VOR	Vétiveraie basse
VSP	Vétiveraie moyenne, savane à *Hyparrhenia ruffa*
ZB	Zone de battement des crues maximales

Tableau 13 - Sigles et dénominations des vingt-sept associations végétales du delta intérieur

16 La mosaïque des berges n'est pas, à proprement parler, une association végétale, mais une mosaïque complexe, « raccourci » de différentes formations inondées (VB, B, O, VOR, VSP, VH, AG, ZB). Elle se situe en bordure du lit majeur ou « végétalise » les grands défluents.

Niveau	Cote à l'échelle de Mopti	Hauteur moyenne de submersion	Associations végétales
7	3,80 m à 2,60 m	]2,8 m à 4 m]	BP - PAK
6	5,40 m à 3,80 m	]1,5 m à 2,8 m]	B - OP - VB - PAM
5	6,00 m à 5,40 m	]0,6 m à 1,5 m]	EOR - O - VOR - (R)
4	6,30 m à 6,00 m	]0,3 m à 0,6 m]	AC - ESP- VSP- PAN
3	6,50 m à 6,30 m	]0,1 m à 0,3m.]	P - VH - PAS
2	6,50 m à 6,60 m	]0 m à 0,1 m]	AG - ZB - PAR
1	6,60 m	exondé	TA - TS - TB - TC - TD - THY- TT

Tableau 14 - Les formations végétales en fonction des niveaux d'eau

BP et PAK sont les deux formations végétales supportant les submersions les plus fortes. La première est une bourgoutière basse à *Vossia cuspidata*, la seconde correspond à une vétivéraie très profonde à *Acacia kirkii*. B, bourgoutière à *Echinochloa stagnina*, VB vétivéraie très basse, OP orizaie profonde ainsi que PAM, formation à *Mitragina inernis*, occupent le niveau 6. Le niveau 5 est occupé par une éragrostaie EOR, une orizaie O et une vétivéraie VOR ainsi que par les casiers rizicoles de l'Office du Niger de Ké-Macina. VSP et ESP, les vétivéraies et éragrostaies moyennes, ainsi que AC, une éragrostaie à *Andropogon*, occupent le niveau 4. Le niveau 3 qui correspond à une submersion comprise entre 10 cm et 30 cm est occupé pas une panicaie P et une vétivéraie haute VH. Enfin, le dernier niveau de submersion compris entre 0 et 10 cm est occupé par AG, une savane à *Andropogon gayanus* et une formation complexe baptisée ZB pour zone de battement des crues maximales. Les formations allant de TA à TT se situent toutes sur les « *togge* », nom traditionnel des buttes exondées dans le delta et sur les bordures sèches. PAN, PAS et PAR représentent des formations végétales localisées sur des plaines à submersion différée où l'inondation est très irrégulière. La caractéristique la plus remarquable de ces acacières est l'allure bimodale de l'inondation, dont le premier mode est lié au ruissellement des pluies de juillet-août et le second à l'arrivée tardive de la crue en octobre ou novembre. Enfin, MB, la mosaïque des berges qui n'est pas représentée dans le tableau, forme une alternance de chenaux et de bourrelets de rive ou de levées bien représentée dans le lit majeur du Niger, du Bani ou des grands défluents. Elle représente toujours un fort gradient de submersion allant du niveau 6 au niveau 2.

Le regroupement de ces associations en grandes familles (andropoganaies, eragrostaies…) permet de fixer les ordres de grandeur des surfaces occupées par ces familles et de préciser leur poids relatif dans l'écosystème « delta intérieur ». Les calculs suivants (tableau 15) sont effectués sur les seules formations inondées du delta amont, Farimaké exclu.

La plaine d'inondation du delta, « règne de l'herbe et de l'eau » pour reprendre l'expression de Jean Gallais, n'est pas le règne sans partage du « bourgou ». Elle est d'abord celui des vétiveraies, à l'intérêt pastoral moindre et qui occupent près de 40 % de la surface du delta, suivi par les orizaies recouvrant 21 % de la surface. Les bourgoutières, pâturages les plus recherchés du delta, n'arrivent qu'en quatrième rang avec un peu moins de 10 %, soit environ 160 000 ha.

Familles de formations végétales	Surfaces occupées (en ha)	Surfaces occupées (en % des surfaces inondées)
Vétiveraie	639 934	39,31
Orizaie	342 391	21,03
Eragrostaie	190 180	11,68
Bourgoutière	161 302	9,91
Panicaie	77 763	4,78
Zone de battement	75 442	4,63
Mosaïque des berges	72 658	4,46
Andropogonaie	37 805	2,32
Chenaux à *mitragina*	30 516	1,87

Tableau 15 - Répartition des grandes familles de formations végétales inondées dans le delta (calculée uniquement sur les formations inondées)

Aucune étude générale ne fait le point sur l'évolution de la végétation du delta intérieur. Les différents auteurs s'accordent cependant sur le fait que les forêts inondables du delta pourraient avoir subi une forte régression depuis la fin des années soixante-dix. Rappelons qu'il existe deux sortes de forêts inondables dans le delta intérieur : les forêts à *Acacia seyal* et à *Acacia Nilotica*, faiblement inondables (entre 0 et 60 cm) et qui constituent des acacières fortement développées dans les hautes plaines du Farimaké au nord-ouest du Débo, et les forêts fortement inondées (entre 2,80 et 4 m) à *Acacia Kirkii.* Les premières représentaient, à la fin des années soixante-dix une superficie d'environ 50 000 hectares pour les formations à *Acacia Seyal*, 63 000 hectares pour celles à *Acacia Nilotica* et 2 400 hectares pour les formations à *Acacia Raddiana*), soit 5 à 6 % de la superficie du delta intérieur et du Farimaké. Les formations profondes à *Acacia Kirkii* sont, quant à elles, beaucoup plus limitées puisqu'elles ne totalisaient à la même époque qu'un peu plus de 5 000 hectares. Nous ne partageons pas l'avis des chercheurs du projet « Wetlands » pour qui le delta intérieur devait être, à l'origine, surtout recouvert de l'une ou de l'autre catégorie de ces deux grandes familles de forêts inondées, forêts qui auraient fortement reculé sous l'effet des défrichements. Il nous semble au contraire que la grande majorité des formations végétales du delta sont, au contraire, des formations herbeuses dépourvues d'arbres.

Quoi qu'il en soit, tous les observateurs s'accordent pour reconnaître le fait que ces forêts sont fortement menacées depuis une trentaine d'années. Trois séries de causes concourent à cette évolution régressive : la sécheresse et la faiblesse des crues à partir de la fin des années soixante-dix, la croissance de la population qui augmente la pression anthropique sur les ressources et la destruction des règles communes de gestion par les communautés locales d'éleveurs, de pêcheurs et d'agriculteurs, cette destruction étant, pour une grande part, imputable aux lois foncières et au dysfonctionnement des administrations de tutelles, notamment du service des Eaux et Forêts (Marie, 1989 ; Moorehead, 1997). Cependant, et ceci est très regrettable, la plus grande incertitude règne sur l'ampleur réelle du recul de ces formations forestières. Le problème semble crucial pour les forêts inondées profondes à *Acacia Kirkii* à cause de la faiblesse de leur emprise spatiale et du rôle très important qu'elles jouent dans la reproduction des oiseaux d'eau nicheurs. En effet, durant la crue, la canopée à moitié inondée forme un enchevêtrement quasi-impénétrable qui offre un refuge aux colonies nicheuses d'oiseaux d'eau. Jusqu'à la fin des années soixante-dix, des colonies de plusieurs dizaines de milliers d'oiseaux ont pu être observées alors qu'aucune autre colonie de cette importance n'est connue ailleurs en Afrique de l'Ouest (ce qui marque le caractère

unique du delta intérieur). La très forte pression sur les forêts inondées s'est traduite, au début des années quatre-vingt, par des défrichements importants afin de créer des rizières dont la profondeur pallierait l'insuffisance des crues. Dans la plupart des cas, les riziculteurs n'obtinrent que des résultats très médiocres et ces rizières, à la suite du retour des bonnes crues à partir de 1994, sont maintenant abandonnées.

Dès 1985, l'UICN et le WWF se sont préoccupés de la restauration de ces espaces dégradés (projet « Conservation de l'Environnement dans le delta intérieur du fleuve Niger, 1985-88 »). Trois sites, érigés plus tard en sites de Ramsar, ont été sélectionnés pour conduire ces essais : les forêts de Bouna, de Dentaka et d'Akkagoun.

Le site de Bouna semblait, au départ, le plus prometteur. Peu de résultats furent finalement obtenus faute d'un accord durable entre l'administration et « les parties prenantes », notamment les communautés de pêcheurs et d'éleveurs.

À Dentaka, malgré des conditions initiales paraissant moins prometteuses, la mise en défense de la forêt s'est traduite par une régénération spectaculaire des peuplements d'*Acacia Kirkii* qui abritent maintenant une douzaine d'espèces d'oiseaux d'eau nicheurs et quelques 80 000 couples, ce qui en fait, probablement, la plus grosse colonie d'Afrique de l'Ouest.

Après des débuts difficiles, la forêt d'Akkagoun, sur une île du Niger, a pu être efficacement protégée et la forêt, réduite à 7 hectares en 1984, en occupait 47 en 1991 et 170 en 1999.

Dans les deux cas, la réussite fut sans doute facilitée par le retour de bonnes crues et par la dynamique d'*Acacia Kikii*. Cependant, ces réussites mettent également en évidence – et l'échec de Bouna confirme ce jugement – l'extrême importance de l'implication des populations locales à travers le rôle fondamental des comités locaux de gestion**.** Ce point, capital à nos yeux, est à replacer dans le contexte actuel, très favorable, de la décentralisation qui devrait permettre d'étendre ce type d'expérience aux forêts de Pora et de Niasso, puis aux 26 autres sites pressentis.

Sur la faune

On constate une raréfaction voire, dans certains cas, une quasi-disparition des grands reptiles (crocodile du Nil, python, varan) et des grands mammifères herbivores (hippopotames, lamantins). Les observations d'hippopotames, menées entre 1999 et 2001, semblent indiquer la présence d'une trentaine d'individus dans le complexe du Débo (cercle de Youvarou). Vingt-cinq à trente individus sont également signalés dans le Niger, dans le Diaka et dans la plaine de Seri.

Les lamantins sont strictement protégés et très discrets, ce qui rend la collecte d'information les concernant très délicate. Difficiles à observer, ils sont parfois pris accidentellement dans les filets des pêcheurs qui sont censés les relâcher mais qui gardent, le plus souvent, un silence prudent sur ces incidents. Il semblerait toutefois que le lamantin occupe des sites assez nombreux dans le delta, quelques dizaines d'individus vivant dans le Débo et sur les grands bras du fleuve, notamment aux alentours de Mopti.

Les oiseaux d'eau

Le delta intérieur du Niger présente, comme nous l'avons souligné, une importance primordiale en Afrique de l'Ouest pour la nidification et le nourrissage de nombreuses colonies d'oiseaux d'eau, tant pour les oiseaux afrotropicaux que pour les espèces paléoarctiques. Outre leur intérêt propre, les oiseaux sont d'excellents bio-indicateurs de la bonne ou de la mauvaise santé de l'écosystème et, par là-même, leur observation sur le long terme renseigne sur les évolutions en cours du delta intérieur.

La distribution des oiseaux d'eau varie durant l'année selon les saisons et, selon un rythme pluriannuel, selon l'importance de la crue. D'une manière générale, les oiseaux d'eau se concentrent dans le delta à partir du début de la décrue qui découvre progressivement les stocks de nourriture en novembre-décembre. Ils quittent le delta avec la montée des eaux partageant, du reste, ce rythme avec beaucoup d'animaux y compris les animaux domestiques.

Le niveau de la crue de l'année influe fortement sur la distribution des oiseaux dans le delta lui-même. Les années très défavorables entraînent une très forte concentration d'oiseaux dans le complexe du Débo qui devient une zone refuge. Lors d'années plus favorables, les oiseaux se dispersent dans le delta avec une baisse très marquée de leur présence sur le Débo.

Les observations réunies par le projet « Wetlands » ne permettent pas de dresser un tableau univoque des évolutions en cours dans le delta. Tout au plus permettent-elles d'esquisser des tendances dont certaines pourraient se révéler inquiétantes.

B. Lamarche dresse, au début des années quatre-vingt, une liste de 143 espèces d'oiseaux d'eau au Mali dont 125 fréquentent le delta intérieur. Il semblerait que le projet « Wetlands » n'en signale plus que 103. Les mêmes observations que celles effectuées sur les grands reptiles et les grands mammifères herbivores peuvent être formulées pour les oiseaux de grande taille. Le héron Goliath et le Jabiru auraient disparu du delta, la cigogne blanche, espèce paléarctique et la grue couronnée se raréfient. Il semblerait même qu'actuellement les effectifs de grues couronnées en captivité au Mali soient supérieurs à l'effectif des animaux vivant en liberté dont il ne resterait qu'une cinquantaine dans le delta.

Des observations portant sur des oiseaux de plus petite taille sont plus ambivalentes. Sous l'effet de la sécheresse et d'une très mauvaise hydrologie, les populations d'*Ibis falcinelle* auraient régressé de 50 % entre le début des années quatre-vingt et le début des années deux mille. Cependant, d'autres espèces se sont maintenues, leurs effectifs restant stables comme la *barge à queue noire*, migrateur paléarctique en forte régression en Europe.

L'importance internationale du delta intérieur est bien indiquée par l'application de la convention de Ramsar avec, en particulier, le critère n°6 fixant à 1% la part d'une espèce abritée par une zone humide pour que celle-ci soit reconnue d'importance internationale. En 2001, vingt-sept espèces fréquentant le delta, en particulier la zone du Débo, satisfont au critère n°6 de Ramsar. Treize de ces espèces sont afrotropicales et quatorze sont d'origine paléoarctiques. Sur les premières, deux espèces sont actuellement menacées et, sur les secondes, une espèce est menacée. Au total, sur la

centaine d'espèces fréquentant le delta (et dont les trois-quarts ne présentent pas des effectifs suffisants pour satisfaire aux critères de Ramsar), une dizaine d'espèces apparaît actuellement menacée.

Impact des usages domestiques et industriels sur la qualité des eaux du fleuve Niger

Cette partie est issue en grande partie des travaux d'Antoine Palangié (1998) et de Cécile Picouët (1999) dirigés par D. Orange, J.-P. Bricquet et J.-C. Olivry sur la géochimie des eaux du fleuve Niger (Bricquet *et al.*, 1997 ; Bricquet *et al.*, 1998) dans le cadre du programme de recherche IRD intitulé Equanis (1992-98).

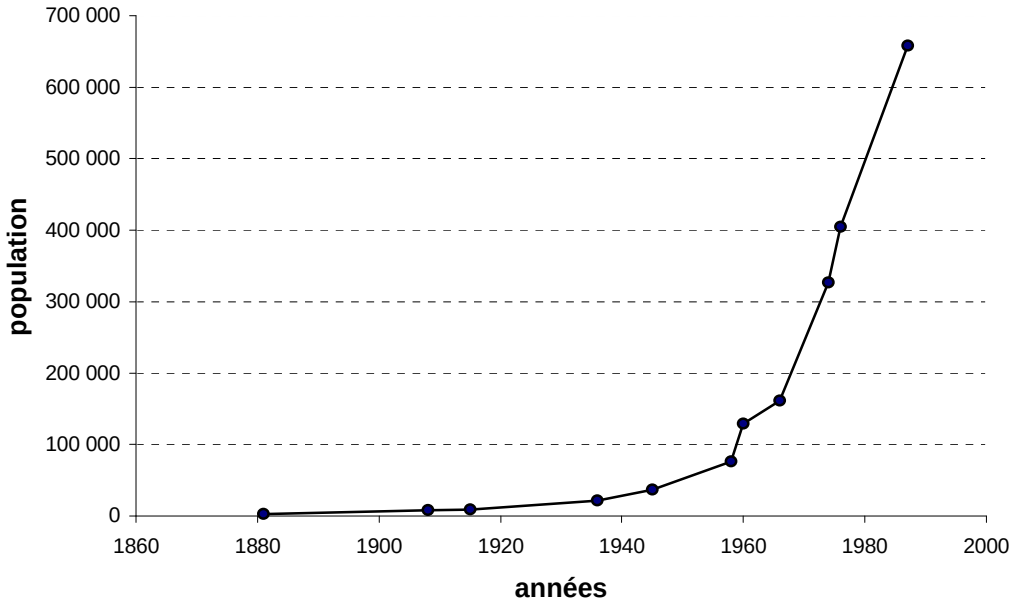
Bamako et le contexte soudano-africain du Mali

L'essentiel de la littérature concernant la problématique de l'eau à Bamako et, en général, dans les pays en développement (PED) s'occupe des seuls problèmes d'adduction en eau potable, plus rarement des problèmes d'assainissement et, très exceptionnellement, du traitement des pollutions affectant les eaux (TECSULT, 1994 ; Sow, 1997). De plus, le manque de recherches en matière de qualité des eaux usées dans le contexte africain – indispensable préliminaire à la définition de procédés d'épuration des eaux – est noté par le BCEOM en 1984 et il est toujours très largement à déplorer en ce qui concerne la ville de Bamako. En effet, la recherche bibliographique sur le sujet montre que peu de données sont mesurées. Les publications sur le problème de la qualité des eaux de Bamako (issues des bureaux d'études, des administrations ou même de chercheurs) reprennent souvent les mêmes données, ce qui présente le double inconvénient de ne plus être de première fraîcheur et d'être souvent peu fiables, car de moins en moins bien retranscrites et compréhensibles au fil des réutilisations. C'est dans ce cadre que le programme de recherche Equanis du Centre IRD de Bamako a permis de réaliser un suivi hebdomadaire systématique de la qualité chimique des eaux de surface sur toute la vallée du fleuve Niger et de ses affluents, de 1992 à 1998, accompagné de campagnes de mesures spécifiques concernant la pollution chimique : éléments traces, métaux lourds, nitrate, ammonium (Picouët, 1999 ; Palangié, 1998 ; Paget, 1999 ; Derolez, 2001) et la pollution biologique entre les villes de Bamako et Koulikoro (Palangié, 1998) et sur l'axe agricole du Bani (Bonnefoy, 1998).

L'évolution démographique de Bamako a suivi un rythme de croissance soutenu depuis le début des années 1960 (figure 16). Plusieurs facteurs de nature socio-politique et matérielle ont pesé sur cette évolution :

- la décision d'ériger Bamako en centre administratif de première importance pour le pays (1908 : capitale coloniale, 1960 : capitale du nouvel état indépendant) ;
- la rupture de la fédération du Mali en 1959 qui a provoqué le retour des populations maliennes installées au Sénégal ;
- la libéralisation, à la faveur du changement de régime de 1968, des circulations entre les campagnes et la capitale ;
- le phénomène d'exode rural consécutif à la paupérisation du monde paysan ;
- la concentration des activités et de la plupart des installations socio-sanitaires, administratives et scolaires.

Bamako a connu le taux d'accroissement le plus élevé du pays. Le taux le plus fort jamais enregistré est de 22,7 % entre 1958 et 1960 (années de rapatriement massif des Maliens de l'extérieur). Ce taux est brutalement tombé à 3,9 % entre 1960 et 1966 (années marquées par la volonté politique de développement régional). De 1974 à 1976 sous le régime militaire, il remonte à 7,3 %. En 1987, date du dernier recensement, la population de Bamako s'élevait à 677 883 habitants. La croissance s'est maintenue au rythme soutenu de 4,2 % jusqu'en 1993.



Source : TECSULT, 1994

Figure 16 - Évolution de la population de Bamako de 1881 à 1987

Quelle menace sur la qualité des eaux du fleuve Niger ?

Globalement, des eaux de surface non polluées

D'après l'ensemble des études menées sur la qualité des eaux du fleuve Niger (Iwaco, 1996 ; Equanis, 1997 ; Gihrex, 2000 et Ghenis, 2001), le fleuve Niger, comme la plupart des grands fleuves africains, est pour l'instant très peu touché par une contamination chimique de ses eaux (Picouët *et al.*, 2002). En effet, les eaux du fleuve Niger dans son lit principal sont exemptes de pollution métallique, de pollution par les nitrates, les nitrites, l'ammonium et les phosphates et de pollution biologique. Ce résultat est logique étant donné la faible industrialisation du bassin versant du Niger et l'utilisation minoritaire des engrais et des pesticides dans l'agriculture. Cependant, sur ce dernier aspect, un suivi hebdomadaire de la qualité des eaux de puits et de forages ainsi que des eaux de ruissellement dans la zone cotonnière CMDT du Mali-Sud a montré des pollutions ponctuelles importantes en pesticides, notamment en DDT, liées principalement à des problèmes de stockage des engrais ou à un mauvais usage (Bonnefoy, 1998).

Par ailleurs, si la qualité physico-chimique des eaux de l'ensemble du bassin du fleuve Niger reste globalement bonne, à l'exception de certains points à proximité de rejets industriels sur l'axe Bamako-Koulikoro, (Palangié, 1998), la pollution bactériologique ponctuelle au niveau des regroupements humains est généralisée. Ainsi, la présence en grande concentration de coliformes et de streptocoques fécaux suffit à elle seule à rendre non potable cette eau de surface, selon les normes de l'OMS. Or, cette eau est pourtant encore couramment employée pour la boisson, ce qui provoque des risques sanitaires importants. Enfin, en 1993, 1997 et 1998, à la suite de violentes pluies, les eaux du fleuve à Bamako ont fait l'objet d'une pollution par le DDT suffisamment sérieuse pour que l'on avertisse par la presse la population et les usagers du réseau EDM en particulier (*cf.* l'article du quotidien *L'Essor* du 29/06/1998). N'ayant duré que quelques jours, cette alerte n'en a pas moins fait la preuve de la possibilité, dès aujourd'hui, d'une pollution du Niger assez grave pour perturber la vie des Bamakois.

Cas particulier de l'axe Bamako-Koulikoro

Le suivi de la qualité des eaux de surface sur 18 points à risque dans l'agglomération de Bamako-Koulikoro (Palangié, 1998) montre que tous les points de rejet d'eau dans le fleuve Niger dépassent les normes de qualité OMS sur au moins trois paramètres (tableau 16). Les paramètres sur lesquels il est urgent d'agir en priorité sont la DBO_5, la DCO, les MES et les métaux lourds. Cependant, toutes les teneurs en DBO_5, DCO et MES sont toujours inférieures ou égales aux valeurs moyennes des eaux usées des pays industrialisés à l'exception des eaux de rejet de la centrale électrique de Dar-Salam. On souligne que ces dernières sont, de loin, les plus polluées et devraient obligatoirement subir un prétraitement dans l'installation industrielle elle-même pour régler les problèmes de pH et de métaux lourds et pour amener leurs autres caractéristiques aux alentours de celles des autres eaux usées.

La DBO_5, la DCO et les MES sont presque toujours beaucoup plus élevées par temps de pluie du fait des eaux de ruissellement qui entraînent de nombreuses matières organiques. Les métaux lourds, quant à eux, se retrouvent en plus grande concentration par temps sec car les effluents ne sont pas dilués par les eaux de ruissellement. On peut en déduire également que le ressuyage des sols n'est pas une source significative de pollution par les métaux lourds. Avec la pluie et les volumes d'eau à épurer, la grande variabilité des paramètres que doit réduire l'épuration biologique, à savoir la DBO_5 et la DCO, est une difficulté majeure pour le bon fonctionnement permanent d'une station d'épuration. Un préliminaire indispensable serait donc la séparation des réseaux d'eaux usées aboutissant aux stations et du réseau d'évacuation des eaux pluviales (Palangié, 1998).

Nos mesures montrent par ailleurs qu'une part importante des charges polluantes est liée aux MES de taille supérieure à 0,7 µm. La décantation des eaux usées de Bamako devrait donc permettre, à elle seule, d'éliminer une part importante des charges polluantes. Cependant, les boues qui résulteraient de cette décantation contiendraient une proportion importante de polluants et devraient, par conséquent, faire l'objet, pour l'amendement agricole en particulier, de précautions de stockage et d'utilisation. De plus, la faculté des MES à décanter est directement liée à leur granulométrie : plus les particules sont fines, plus leur vitesse de sédimentation est faible, parfois beaucoup trop pour envisager une décantation dans des temps raisonnables. Une étude sur ce sujet est

donc nécessaire. Dans des eaux usées urbaines moyennes, on estime qu'environ 66% de la DBO_5 est présente sous forme particulaire, soit 34 % en phase dissoute (Dégremont, 1978).

Paramètre	Valeur requise par la norme[17]	Station 3		Station 4		Station 7		Station 8		Station 10	
		Pluie	Temps sec	Pluie	Temps sec	Pluie	Temps sec	Pluie	Temps sec	Pluie	Temps sec
DBO_5 ($mg.l^{-1}$)	30	500	60	40	80	255	140	20	100	30	40
DCO ($mg.l^{-1}$)	125	500	196	219	133	255	162	315	181	96	101
Nitrates ($mg.l^{-1}$)	30	11	3,5	12,3	10,5	4,8	6,6	9,68	11	15,84	0
pH	5,5 – 8,5	7,25	7,2	7,17	8,9	6,96	7,7	10,4	10,3	7,32	7,4
MES ($mg.l^{-1}$)	35	284	41,3	318	20	452	131	253	113	323	60
Chrome ($mg.l^{-1}$)	0,1	<0,12	< 0,12	<0,12	< 0,12	<0,12	<0,12	<0,12	< 0,12	<0,12	< 0,12
Cuivre ($mg.l^{-1}$)	0,5	<2,2	1,37	<2,2	0,73	<2,2	0,45	< 2,2	0,9	< 2,2	0,6
Fe + Al ($mg.l^{-1}$)	5	1,29	3,82	1,32	2,49	1,7	8,21	0,79	1,25	0,95	5
Manganèse ($mg.l^{-1}$)	1	<0,12	0,11	<0,12	0	<0,12	0,44	<0,12	0	<0,12	0

Source : Palangié, 1998

En grisé les valeurs au-dessus de la norme OMS
Station 3 : Collecteur principal de Bamako à la confluence du Niger
Station 4 : Grand collecteur ouest de Bamako à la confluence du Niger
Station 7 : Grand collecteur de la zone industrielle à la confluence du Niger
Station 8 : Collecteur des usines textiles et pharmaceutiques à la confluence du Niger
Station 10 : Collecteur de la zone de maraîchage

Tableau 16 - Paramètres de pollution des eaux dans 5 stations de surveillance significatives entre Bamako et Koulikoro, comparaison aux normes de rejet sans traitement dans les eaux de surface

Par temps de pluie, les charges polluantes ont tendance à augmenter ou à se maintenir au cours de leur circulation dans les caniveaux puis dans les collecteurs jusqu'au rejet dans le fleuve Niger. En revanche, le comportement des charges polluantes par temps sec est beaucoup plus erratique du fait des caniveaux encombrés de sédiments et de plantes qui empêchent l'écoulement des eaux et qui réduisent ainsi de façon très significative l'arrivée des eaux polluées dans le fleuve Niger. En effet, l'égout à ciel ouvert joue alors le rôle d'une sorte de réacteur qui agit essentiellement sur les substances intervenant dans l'épuration biologique (DBO_5, DCO, nitrates et phosphates). Toutes les stations surveillées montrent une pollution biologique : présence de coliformes, de streptocoques fécaux et de germes en grande quantité ; cela aussi bien

17 Application au droit français des directives européennes en matière de rejet sans traitement d'eaux usées dans les eaux de surface.

par temps de pluie que par temps sec. Cependant, l'influence de la pluie et du ruissellement est aussi sensible pour la pollution biologique : les tests indiquent des présences de micro-organismes nettement plus marquées pour les prélèvements par temps de pluie. Ce fait atteste de la mauvaise protection des ouvrages d'aisance et de la pollution fréquente des sols par les excréments. De plus, par temps sec, les eaux usées sont moins diluées et les détergents qui s'y retrouvent en plus forte concentration que par temps de pluie ont une action nettement inhibitrice sur le développement des micro-organismes. Cependant, les normes de la CEE interdisent totalement la présence des coliformes totaux dans les eaux destinées à la consommation humaine. Ainsi, on peut conclure en affirmant que les eaux du fleuve Niger, couramment consommées directement par les populations riveraines, dépassent les normes de qualité pour la production d'eau destinée à la consommation humaine et cela, notamment, au niveau de la station de pompage de l'EDM pour la production de l'eau potable de la ville de Bamako. Enfin, les très fortes teneurs en germes totaux indiquent des risques importants de contamination par des germes pathogènes évidemment interdits dans l'eau destinée à la consommation humaine.

Enfin, on doit souligner une concentration significative en fer dans les toutes les eaux prélevées. Ces teneurs ne proviennent sûrement pas d'une activité anthropique de la ville de Bamako puisque sa concentration n'évolue quasiment pas entre l'amont et l'aval de la ville. Ce fer a donc probablement une origine géologique.

Des eaux polluées ponctuellement, un équilibre instable à haut risque

Ainsi, l'ensemble des études antérieures et nos mesures s'accordent pour souligner l'équilibre instable actuel, et donc fragile, du maintien de la qualité des eaux de surface malgré le fort débit des eaux de crue du fleuve Niger. Les grands projets d'industrialisation, le développement agricole dans la vallée du Niger et les rejets systématiques et sans traitement des effluents des agglomérations riveraines dans le fleuve constituent autant de risques majeurs d'une pollution significative et parfois irréversible. De l'avis du Plan Directeur d'Assainissement de Bamako (1993-2003, p. 117), l'importance du débit du Niger est suffisante pour assurer son auto-épuration. On considère généralement que les eaux usées peuvent être rejetées dans un cours d'eau sans traitement préalable si les conditions suivantes sont remplies :

- aucune installation pour laquelle une pollution pourrait s'avérer nuisible ne doit se situer à proximité en aval du point de rejet (par exemple une station de pompage) ;
- le débit des eaux usées ne doit pas dépasser le 1/500 du débit minimal du cours d'eau.

Lorsque le débit d'effluent se situe entre le 1/500 et le 1/100 du débit minimal du cours d'eau, les eaux usées doivent subir un traitement primaire (dégrillage, dessablage, décantation rapide en 4 heures…). Lorsque le débit des eaux usées est supérieur au 1/100 du débit minimal du cours d'eau, un traitement secondaire est nécessaire (lagunage, épuration biologique…). Dans le cas de Bamako, le débit minimal du Niger est de 62 $m^3.s^{-1}$ pour une période de récurrence de 10 ans. La capacité auto-épuratoire du fleuve permet donc le rejet de 0,124 $m^3.s^{-1}$ d'eaux usées sans traitement préalable, ce qui correspond à une population équivalente de 143 000 habitants (en se basant sur une consommation de 75 litres d'eau par personne et par jour, hypothèse haute des

prévisions à l'horizon 2005). La population reliée au réseau d'égouts est, en 1998, de 44 000 personnes (4 % de la population totale de Bamako) à laquelle il faut rajouter la population équivalente aux rejets générés par le secteur administratif (estimée à 53 350 personnes) et la population équivalente correspondant aux effluents industriels (environ 30 000 personnes). Avec une population équivalente totale de 127 350 personnes, on reste en dessous du seuil de rupture de l'auto-épuration du fleuve Niger, ce qui rend donc inutile l'installation d'une station d'épuration. La population équivalente devrait ne rejoindre ce seuil qu'après 2005 où elle est évaluée à 139 250 personnes ; ce qui constitue tout de même une échéance proche.

En fait, ce calcul est très incomplet : il ne prend en compte que la population reliée au réseau d'égouts qui est, en fait, extrêmement minoritaire et il ne considère pas, comme il a été établi dans l'étude du réseau d'évacuation des eaux pluviales de ce rapport, le fait que les caniveaux qui aboutissent au Niger servent également d'égout à ciel ouvert pour une très grande partie de la population de Bamako. La population équivalente annoncée est donc forcément très sous-évaluée. De plus, la charge équivalente pour les industries ne correspond qu'à la pollution de type biologique (DBO, MES) et occulte complètement l'impact des composés toxiques ou non biodégradables. Enfin, si la station de pompage d'EDM se trouve bien en amont du centre ville, l'usage des eaux du fleuve Niger pour la lessive, le bain, la vaisselle ou même la boisson par la population fait qu'il existe, en de très nombreux endroits en aval, des points de rejet où la pollution peut s'avérer nuisible.

Pollution généralisée de la nappe superficielle

Du fait du grand nombre de sources ponctuelles de pollution dans le district de Bamako, de l'absence quasi-complète de mesures d'atténuation, de la très faible profondeur de la nappe superficielle, de l'importante perméabilité du sol à certain endroits (en rive droite notamment ; les sols de la rive gauche apparaissant, pour la plupart, imperméables) et de l'abondance des puits non protégés et des ouvrages d'assainissement individuel mal conçus (Zallé et Maïga, 2002) qui ouvrent des communications directes entre la surface et les eaux souterraines, l'aquifère superficielle est totalement pollué. Plusieurs études (Alpha *et al.*, 1991 ; Iwaco, 1996) ont caractérisé la pollution qui l'affecte : forte concentration en nitrates, nitrites, phosphates et chlore pouvant provenir de sources diverses (détergents, engrais, matières organiques en décomposition), présence éventuelle de pesticides et pollution bactériologique très élevée (coliformes et streptocoques fécaux, germes totaux) provenant des puits d'infiltration trop profonds ou sous-dimensionnés, des fosses d'aisance non étanches et de l'apport de matières fécales par les eaux de ruissellement coulant par les puits généralement dépourvus de margelle.

L'eau de la nappe superficielle est donc, d'après les normes de potabilité de l'OMS, impropre à la consommation humaine. L'étude d'Iwaco de 1996 a, depuis, démontré que les concentrations en nitrates et nitrites avaient augmenté de façon très importante dans certains des puits prélevés en 1991. Elle tempère cependant les résultats en constatant que les prélèvements de 1991 ont tous été effectués dans d'anciens quartiers à haute densité de population où le problème de pollution de la nappe se pose logiquement avec une acuité maximale. Dans les zones maraîchères, notamment, la qualité des eaux de puits est bien meilleure avec des concentrations en nitrates, en nitrites et en phosphates souvent inférieures aux normes de potabilité. De plus, les puits

peuvent constituer des lieux de concentration locale des polluants du fait de leur communication directe avec les nuisances de la surface. En d'autres termes, l'eau des puits n'est pas forcément représentative de la qualité de l'ensemble de la nappe superficielle. Dans cette optique, une étude de la qualité des eaux de forage effectuée pour l'occasion est nécessaire. En revanche, les puits de la zone industrielle présentent parfois des niveaux de pollution similaires à ceux des graphiques et sont, en plus, largement contaminés par des métaux lourds et des toxiques (arsenic, chrome).

L'augmentation constatée ces dernières années de la pollution de la nappe couplée à l'explosion de la population et de l'extension urbaine de Bamako laisse présager, si aucune mesure n'est prise, une aggravation rapide du problème privant la majorité de la population de sa principale ressource en eau (66 % en 1998).

Menace sur la qualité des eaux de l'aquifère profond

L'aquifère des grès fracturés est en communication avec la nappe superficielle par l'intermédiaire de fissures et d'accidents majeurs qui restent ouverts jusqu'à une profondeur supérieure à 100 m. Pressenties comme source d'eau potable exploitable par forage, les eaux de l'aquifère des grès fracturés ont déjà fait l'objet d'une étude de prospection (Giorgi, 1995). La qualité constatée des eaux de l'aquifère fracturée est parfaite à l'exception de faibles teneurs en nitrates sans qu'il soit possible toutefois de savoir si elles sont le résultat de l'infiltration des eaux de la nappe superficielle ou d'une pollution locale introduite lors des forages. De toute manière, la bonne qualité des eaux prouve que les transferts existant entre les deux nappes sont suffisamment lents pour garantir l'épuration et/ou la filtration des eaux en provenance de la surface. Cette lenteur s'explique en partie par la forte pression qui règne dans l'aquifère des grès fracturés qui, en s'opposant à la gravité, freine la descente des eaux de la nappe superficielle.

Cependant, cet équilibre risque d'être brisé par l'exploitation par forage de la nappe profonde : l'ouverture de communications avec la surface va non seulement permettre un accès direct à la pollution si des mesures de protection des ouvrages ne sont pas prises (quoique le jaillissement naturel de l'eau interdise *a priori* un transfert par les conduits de la surface vers la nappe), mais, surtout, provoquer une perte de pression qui accélérera les transferts dans le sens nappe superficielle/aquifère des grès fracturés. À cet égard et encore plus si la pollution de la nappe superficielle s'aggrave, une pollution sérieuse de l'aquifère des grès fracturés est parfaitement possible.

La migration des polluants vers l'aquifère profond est un risque que Bamako ne peut pas prendre. Ce risque est d'autant plus réel que de nombreuses spéculations courent déjà concernant la possibilité d'alimenter la ville en eau potable à l'aide de forages profonds. Ce risque énorme de pollution possible de la nappe profonde est un argument supplémentaire et majeur en faveur d'une intervention rapide de mesures contre la pollution de la nappe superficielle et d'un traitement des eaux de surface dans l'axe démographique Bamako-Koulikoro. Enfin, on fera remarquer l'existence d'une faille importante au droit de la falaise de la colline de Bankoni mettant en connexion direct les eaux de la nappe profonde avec les eaux de ruissellement. Or, cette zone est aujourd'hui une zone de stockage de carcasses de voitures et de traitement de piles usagées qui font courir un risque énorme à la qualité future des eaux de la nappe profonde.

Synthèse sur la situation de Bamako et recommandations

On peut résumer la situation du district de Bamako en disant que la ville se trouve dans une impasse environnementale. Dans l'état actuel des choses et en grossissant à peine le trait, la croissance à la fois de la population, de l'espace urbain et de la consommation aboutiront immanquablement à une rupture caractérisée par une dégradation de l'environnement qui exposera les citadins à de gros risques pour leur santé et conduira à la destruction de l'ensemble des ressources en eau dont les différents compartiments communiquent entre eux (à l'exception du réservoir du plateau supérieur, qui se prête malheureusement mal au forage à cause d'une cuirasse latéritique épaisse). Notons que les effets secondaires pourraient être aussi la disparition des ressources halieutiques (du fait de la pollution du Niger) et des ressources agricoles intra-urbaines (du fait de la pollution des sols et des eaux d'irrigation). Une partie de ces impacts est déjà constatée et seule se pose la question de savoir combien de temps sera nécessaire pour que ce scénario catastrophe s'accomplisse complètement.

L'hydrogéologie de Bamako montre que la faible perméabilité des sols en rive gauche ne permet la pollution de la nappe superficielle que par le biais des puits et des ouvrages d'assainissement individuel. Une première mesure de préservation de la nappe superficielle à court terme serait donc d'imposer la protection des puits contre les eaux de ruissellement par la construction de margelles et de réadapter les très nombreux ouvrages d'assainissement insuffisants ou mal conçus, notamment :

- en augmentant la capacité des fosses sur-utilisées ;
- en s'assurant de l'étanchéité de tout ouvrage souterrain recevant des eaux usées domestiques et des eaux vannes ou en adaptant la profondeur et la position des ouvrages d'infiltration de manière à garantir une distance suffisante entre eux, la nappe et les puits ;
- en faisant respecter les lois d'urbanisme.

D'autres mesures à moyen terme doivent contribuer à interdire l'accès aux eaux polluées. On voit trop souvent des enfants se baigner dans des caniveaux d'évacuation des eaux pluviales servant d'égout à ciel ouvert ou des gens se baigner et faire leur lessive au niveau des points de rejet des égouts dans le Niger. Dans cette optique, les mesures suivantes apparaissent nécessaires :

- recouvrir de dalles amovibles les canaux d'évacuation des eaux pluviales (non seulement pour isoler les eaux polluées de la population mais aussi pour que l'absence de lumière empêche le développement des plantes qui les obstruent) et empêcher l'utilisation quasi-systématique des canaux comme décharge de déchets ménagers, de branchages… L'accès de l'eau aux canaux serait assuré par des ouïes latérales suffisamment larges, comme les bouches de caniveau des villes européennes, et le caractère amovible des dalles permettrait des curages dont la fréquence serait alors espacée ;
- grillager, sur quelques dizaines de mètres, les bords du Niger en amont et aval des points de rejets d'égouts dans le Niger qui semblent être, pour l'instant, les endroits de prédilection d'utilisation de ses eaux par les populations du fait de leur facile accessibilité en suivant les rives dégagées des cours d'eau. Cette mesure peut paraître extrémiste, mais elle pourrait n'être que provisoire en

attendant les traitements des rejets au fleuve et une sensibilisation suffisante de la population.

À plus long terme, le traitement des eaux deviendra impératif du fait de l'augmentation de la population et des déchets qui en résultent. Les ordures ménagères, notamment, devront faire l'objet d'une mise en décharge sûre ou, mieux, d'un recyclage et d'une destruction par incinération dans des unités spéciales. En matière de gestion des eaux, les mesures suffisantes semblent logiques :

- installer des stations d'épuration biologique avant les principaux points de rejet des égouts et des canaux d'évacuation des eaux pluviales dans le Niger. Même s'il est inadapté, le réseau d'évacuation des eaux pluviales doit être utilisé pour la circulation des eaux usées maintenant qu'il est là ;
- parallèlement et par la suite, séparer les réseaux d'évacuation des eaux usées des réseaux d'évacuation des eaux pluviales pour assurer la constance de la qualité et des volumes d'eaux usées à traiter ;
- parallèlement et par la suite, installer des petites structures de traitement biologique des eaux à l'échelle de quelques pâtés de maison pour s'affranchir d'un système centralisé d'évacuation des eaux complètement inadapté aux contraintes d'un développement urbain rapide et anarchique. Pour ce faire, la technique du lagunage à macrophytes (Kane et Morel, 1998), testée avec succès à Dakar et Niamey, semble bien adaptée aux conditions climatiques en permettant une épuration suffisante pour une faible surface par habitant raccordé. Les avantages de telles installations décentralisées seraient considérables : réutilisation in situ des eaux épurées et rejet ou infiltration d'une eau beaucoup plus saine dans le milieu extérieur.

Enfin, le plus urgent est de réglementer les rejets industriels en imposant un traitement/contrôle aux usines, notamment pour la centrale électrique de Dar Salam.

Conclusion

L'insuffisance, la mauvaise conception et le manque d'entretien des infrastructures d'assainissement à Bamako sont responsables d'une sérieuse pollution physico-chimique de la nappe superficielle et d'une pollution biologique généralisée des eaux de surface responsable de sérieux problèmes de santé publique. Pour l'instant, la qualité des eaux du Niger reste acceptable grâce à son important débit et malgré son rôle de récepteur de l'ensemble des eaux usées de la ville. La nappe aquifère profonde semble également préservée tant que des forages profonds ne sont pas réalisés. Mais la croissance très rapide de la population de l'agglomération de Bamako-Koulikoro et de la production de déchets qui en résulte risque d'aggraver à court ou moyen terme la situation jusqu'à la contamination de l'ensemble des ressources en eau, si aucune mesure n'est prise pour traiter les eaux usées et rejetées pour l'instant telles quelles dans l'environnement. Des solutions techniques viables pour le traitement des eaux polluées et pour la protection des ressources en eau existent et sont applicables dans le contexte malien, l'épuration biologique notamment. Les éléments les plus préoccupants dans ce contexte sont l'absence de volonté politique et/ou d'application des lois pour, dans un premier temps, protéger la ressource en eau et, dans un deuxième temps, développer les infrastructures nécessaires à une gestion correcte sur le long terme.

Les traitements les plus urgents concernent l'épuration des effluents pour réduire la DBO_5, la DCO et les MES, pour laquelle le traitement par épuration biologique est tout à fait indiqué. Les rejets industriels sont à contrôler efficacement et la population doit être éduquée. Enfin, plutôt que d'envisager d'exploiter la nappe profonde, il semble plus opportun d'améliorer en urgence les infrastructures de traitement des eaux de surface et de continuer à puiser dans ce réservoir inépuisable en quantité du fait de la présence du fleuve Niger.

En ce qui concerne le reste de la vallée du fleuve Niger, il n'existe encore aujourd'hui aucun grand risque de pollution des eaux du fait de la faible pression démographique. Mais, bien sûr, les conclusions faites pour l'axe Bamako-Koulikoro peuvent être répétées pour les villes de Mopti, Ségou, Diré et Tombouctou. Tout comme le montre notre suivi de la qualité des eaux dans la vallée du Bani et dans le delta intérieur, il existe régulièrement des problèmes de pollution ponctuelle toujours liée à un mauvais usage de la part de la population. Ainsi, en dehors des grandes villes, le problème de la pollution des eaux est plus un problème d'éducation sanitaire des populations qu'un problème technique d'accès à la ressource.

Analyse croisée des besoins et des impacts. Mise en évidence des problèmes

À la lecture du chapitre précédent, deux constats s'imposent : d'une part, les actions et les activités humaines qui agissent sur la circulation et la disponibilité de l'eau sont nombreuses, d'autre part, les activités humaines qui sont sensibles aux modifications de la circulation et de la disponibilité de l'eau sont également très nombreuses. On pourrait en déduire un peu rapidement que toutes les activités interagissent avec toutes les activités et que cela forme un système d'interaction très complexe et inextricable – ce qui serait une façon d'éluder la question. Pour éviter cela, nous proposons d'organiser l'analyse des interactions selon un canevas logique unique qui se fonde sur deux étapes :

- lister les effets (en termes de modifications environnementales sur l'hydrosystème) de chaque activité ou action humaine ;
- étudier les impacts de chaque type de modification environnementale sur les fonctions d'utilité et les usages de l'hydrosystème (à partir notamment de la connaissance de leurs besoins en qualité environnementale).

La notion de « modification environnementale » joue donc un rôle charnière qui permet de clarifier, en les pistant de façon précise, les voies empruntées par les interactions. Par ailleurs, la notion de « fonctions d'utilité et usages » remplace en sortie la notion « d'activités », car elle est plus large et ne préjuge pas de façon trop précise ce que fait l'homme des possibilités offertes par l'écosystème. Ainsi, « offrir des nappes phréatiques de qualité et régulièrement renouvelée » est une fonction d'utilité de l'hydrosystème qui ne préjuge pas de l'existence ou non de populations villageoises puisant dans les nappes, ni de ce qu'elles font de cette eau.

Ces clarifications sémantiques étant posées, toutes les informations contenues dans le chapitre précédent peuvent être re-situées dans un tableau unique à trois dimensions (figure 17) qui se lit de gauche à droite avec une chicane par le haut (flèche bleue).

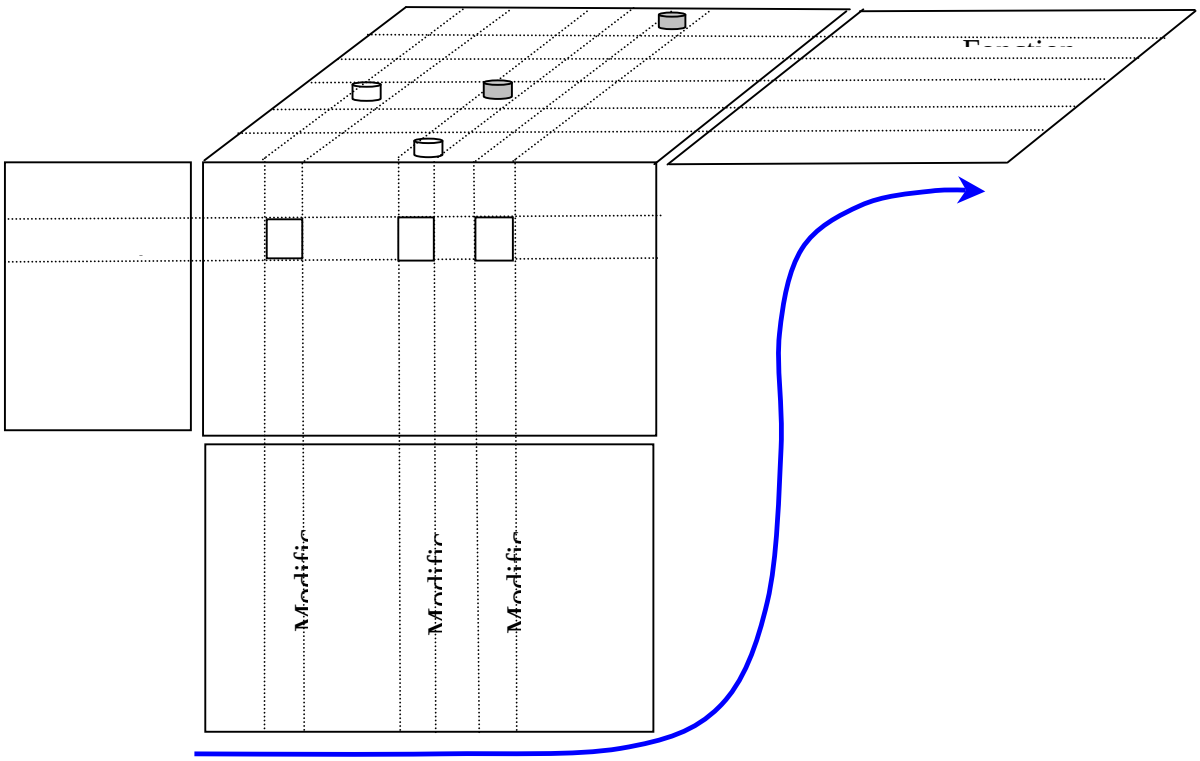


Figure 17 - Canevas logique d'analyse des interactions entre des activités humaines, un environnement et des usages

- Un signe + indique que l'activité X agit dans le sens de la modification environnementale i désignée en colonne ;
- Un signe – indique qu'elle agit en sens opposé (ou qu'elle tend à la compenser ou à l'atténuer).
- Une pastille « ⬭ » indique que la modification environnementale i favorise la fonction d'utilité ou l'usage indiqué en italique.
- Une pastille « ⬭ » indique que la modification environnementale i défavorise la fonction d'utilité ou l'usage indiqué en italique.

Dans le cas présenté, l'activité X a un impact final très favorable sur la fonction d'utilité/usage b, mais elle a un impact final défavorable sur les fonctions d'utilité/usage a et c. Pour que le schéma fonctionne, il faut bien sûr que les modifications environnementales soient orientées.

Les modifications environnementales peuvent être, elles-mêmes, classées en trois grandes catégories :

- les modifications du flux d'eau avec propagation à grande distance d'amont en aval, aussi bien en termes de changement quantitatif global qu'en termes de changement d'allure des variations temporelles : il s'agit des modifications de l'hydraulicité ;
- les modifications de la structure physique du bassin, en termes d'hydrographie ou de géomorphologie ;
- les modifications de la qualité de l'eau, en termes chimiques, biotiques et thermiques.

S'agissant de la question 1 de l'expertise (relative à la gestion et au partage des ressources en eau), on doit examiner particulièrement les modifications environnementales de type 1, bien qu'elles puissent avoir une communauté d'origine avec des modifications environnementales de type 2 et qu'elles puissent induire par ailleurs des modifications environnementales de type 3.

La représentation donnée dans la figure 17 est une représentation de ce que l'on pourrait qualifier les « interactions potentielles » entre activités et fonctions d'utilité/usages. C'est-à-dire qu'il s'agit d'une représentation à plat de toutes les interactions qui peuvent exister, de façon vraisemblable voire probable, autour d'un hydrosystème fluvial soudano-sahélien. Il faudrait cependant pouvoir mettre en relief les interactions qui posent, de façon avérée et dans le cas du Niger au Mali, les problèmes les plus aigus. Mais des éléments supplémentaires de quantification (qui n'ont pas encore été fournis dans les versions disponibles des analyses sectorielles des impacts et des besoins) sont en attente pour parvenir à cela.

Impact sur la faune et la flore

Nous envisagerons dans ce paragraphe l'impact des faibles crues sur les surfaces inondées du delta intérieur et leurs conséquences sur les productions végétales en différenciant les conséquences à court terme des conséquences à plus long terme qui se traduisent par des changements irréversibles de l'écosystème.

Les surfaces inondées dans le delta amont

Les paramètres de submersion rapportés aux échelles limnimétriques disponibles établissent une relation entre les profondeurs de submersion des différentes formations végétales et la hauteur de crue la plus fréquemment atteinte lors des trente années précédant l'étude. On a ainsi pu définir une « crue-climax » par analogie à la relation qui existe entre une formation végétale et un climat. Elle correspond à la cote de 6,60 m à l'échelle de Mopti et définit une cote de 0,0 m qui sert de référence aux profondeurs de submersion.

Ces données, introduites dans le SIG Delmasig, ont permis de réaliser un modèle des surfaces inondées en trois dimensions indexé sur l'échelle de crue de Mopti.

Les surfaces inondées dans le delta dépendent directement des hauteurs des crues. À Mopti, elles ont varié entre 731 cm (1953, 1954, 1955) et 440 cm (1984), ces deux extrêmes constituant probablement les valeurs centennales. Avant 1980, les crues demeurent élevées et régulières. La moyenne des hauteurs d'eau à Mopti entre 1944 et 1968 atteint 686 cm (674 cm entre 1944 et 1980) avec un écart type de 26 cm, ce qui justifie le choix de la valeur 660 cm comme hauteur de référence des crues « normales » conditionnant les niveaux des formations végétales ; cette valeur étant atteinte dans 82 % des cas.

À partir de 1980, l'hydrologie du fleuve se dégrade très fortement : la moyenne 1980-98 n'étant plus que de 553 cm, soit une perte moyenne de niveau de crue de plus d'un mètre par rapport à la situation antérieure.

Le tableau 17 indique les surfaces inondées ainsi que la régression des surfaces inondées par tranche de 10 cm en fonction des hauteurs d'eau enregistrées à l'échelle de Mopti. On constate que la surface inondée décroît de 7 % par tranche de 10 cm autour de la crue climax de 660 cm. À partir de 640 cm et jusque 500 cm, ce qui correspond à la très grande majorité des crues des trente dernières années, la perte de surface inondée se situe entre 4 et 5 % par tranche de 10 cm.

Hauteurs de crue à Mopti en cm	Surfaces inondées correspondantes (en km^2)	Surfaces inondées en % de la surface « climax » (660 cm à Mopti)	Pourcentage de la perte de surface inondée par tranche de 10 cm d'eau
660	19 279	100,0	
640	16 560	85,9	7,1
620	14 374	74,6	5,7
600	12 322	63,9	5,3
580	10 587	54,9	4,5
560	8 714	45,2	4,9
540	6 881	35,7	4,8
520	5 131	26,6	4,5
500	3 575	18,5	4,0
480	2 370	12,3	3,1
460	1 536	8,0	2,2
440	1 029	5,3	1,3
420	731	3,8	0,8
400	521	2,7	0,5
380	380	2,0	0,4
360	272	1,4	0,3
340	193	1,0	0,2
320	112	0,6	0,2
300	30	0,2	0,2
280	22	0,1	0,02

Tableau 17 - Surfaces inondées dans le delta amont en fonction des hauteurs d'eau à Mopti

On peut considérer qu'avant 1980 la surface inondée « normale » était d'un peu plus de 19 000 km^2 pour un volume d'eau stocké d'environ 20 milliards de m^3. Pour une crue de 6 m, la surface inondée n'est plus que de 12 300 km^2, soit une régression de

plus d'un tiers de la surface inondée. À 560 cm, à Mopti, la surface inondée n'est plus que d'un peu plus de 8 000 km^2 et la perte dépasse alors largement la moitié (54 %). Les surfaces inondées du delta amont, dont dépendent largement les ressources halieutiques et les ressources fourragères, sont très sensibles à de faibles variations de hauteur d'eau puisqu'une variation d'un mètre de hauteur (à partir de la valeur considérée comme « normale » avant la sécheresse des années quatre-vingt et quatre-vingt-dix) entraîne une réduction des surfaces inondées de plus de la moitié (figure 18).

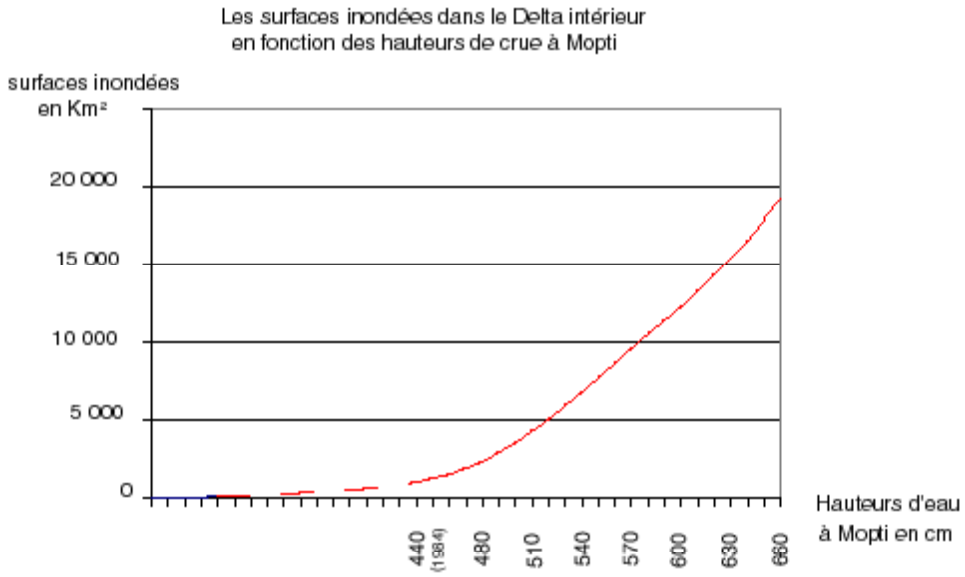


Figure 18 - Les surfaces inondées dans le delta en fonction des hauteurs de crue à Mopti

La réaction des formations végétales aux faibles crues

Essayer de déterminer les réactions possibles des formations végétales du delta intérieur à la série de crues très faibles qui prévalent dans les années quatre-vingt nous semble fondamental pour comprendre l'évolution possible du delta et sa capacité à soutenir longtemps des productions végétales et pastorales. En toute rigueur, il faudrait une seconde étude des formations végétales afin de comparer les données de l'étude CIPEA/ODEM avec les conditions actuelles afin de pouvoir proposer un bilan que seules des études diachroniques permettraient de formuler. Cette comparaison n'est pas possible, faute d'une étude actuelle des formations végétales. Rappelons qu'à ce jour, l'étude conduite par Pierre Hiernaux (1986) demeure la seule étude de référence sur la végétation du delta intérieur. Il est du reste permis de s'en étonner quand on sait l'importance des formations végétales et des productions primaires dans le maintien des écosystèmes et dans la vie quotidienne des populations. Deux séries de données nous permettent cependant d'esquisser un tableau de ce que pourraient être les réactions de la végétation du delta à une série de très faibles crues. Nous pouvons, en effet, nous appuyer sur une étude de P. Hiernaux et L. Diarra (1986), postérieure aux travaux CIPEA/ODEM, qui dresse, à partir d'observations systématiques conduites de septembre 1979 à septembre 1984, un bilan des réactions des formations végétales aux très faibles crues de la première moitié des années quatre-vingt. D'autre part, le projet Wetlands International publie des analyses d'images SPOT à différentes dates qui

permettent de disposer « d'instantanés » sur la présence ou l'absence de formations végétales dans la zone du Débo.

L'étude de P. Hiernaux et L. Diarra correspond à un ensemble de crues moyennes, mauvaises et très mauvaises (presque classées dans l'ordre chronologique) avec, en particulier, la crue de 1984, la plus faible du siècle :

1979	1980	1981	1982	1983	1984
645 cm	592 cm	628 cm	551 cm	502 cm	440 cm

Rappelons, afin de comprendre la suite, que les formations végétales – la dynamique des peuplements végétaux pour être plus précis – dépendent très étroitement de la crue avec, dans l'ordre, les paramètres suivants : la hauteur maximale, la durée de submersion et les vitesses et les dates de montée et de baisse des eaux.

La sensibilité des parcours aux fluctuations (à la dégradation des crues) apparaît très variable :

- la bourgoutière (B) est peu affectée dans sa structure comme dans sa production, la baisse considérable du niveau de submersion affectant peu la durée de la submersion ;
- la panicaie (P) et la pelouse à *Cynodon* (ZB) sont peu affectées par la faiblesse des crues car, situées dans la zone de battement des crues maximales, elles sont plus dépendantes de la pluie que de la crue. On note cependant un affaiblissement de la production, un éclaircissement du peuplement et un développement de quelques annuelles sahéliennes ;
- les andropogonaies (AG et AC) et la savane à *Hyparrhenia* – la vétiveraie moyenne (VSP) – sont modérément affectées dans leur production et leur structure car elles bénéficient d'un apport hydrique par remontée capillaire à partir d'un chenal voisin même s'il n'y a pas de submersion ;
- l'orizaie (O), les éragrostaies (EOR, ESP) et la vétiveraie haute (VH***)*** sont très affectées dans leur production comme dans leur structure par les mauvaises crues. L'état en 1984 de ces parcours est très alarmant : le peuplement de l'espèce dominante est décimé et remplacé par un peuplement très irrégulier dominé par des annuelles sahéliennes ;
- la vétiveraie basse (VB***)*** est un cas très particulier. En 1984, cette formation n'est recouverte que de quelques centimètres alors qu'elle se développe normalement dans une lame d'eau comprise entre 1,5 m et 2,80 m. La très faible submersion n'entraîne pas de bouleversement dans la composition floristique ni dans la production, mais elle se traduit par un changement radical dans la phénologie de l'espèce dominante. Avec des crues fortes, le vétiver se laisse noyer en début de crue et ne démarre son cycle végétal complet qu'en contre-saison, après le retrait des eaux. Avec l'affaiblissement des crues, le démarrage de la croissance s'est progressivement décalé jusqu'à ce qu'il ait lieu à l'instar d'une vétiveraie haute, en 1984, pendant la saison des pluies.

Ces quelques notations permettent de dresser le tableau 18.

Profondeur de submersion	Formation végétale	Sensibilité aux mauvaises crues
1,5 m à 2,80 m	B	Peu sensible
1,5 m à 2, 80 m	VB	Peu sensible mais change de phénologie
0 à 0,10 m	P et ZB	Peu sensible
	AG et VSP	Modérément sensible (situation à proximité d'un chenal)
0,6 m à 1,5 m	O - EOR	Très sensible - dégradation forte
0,1 à 0, 3 m	VH	Très sensible - dégradation forte

Tableau 18 - Sensibilité de quelques parcours du delta intérieur aux mauvaises crues

En conclusion, les formations végétales du delta présentent des sensibilités très variables aux mauvaises crues. Les formations profondes (B, VB) et les formations au contraire peu inondables (P, ZB) offrent, pour des raisons très différentes, de faibles sensibilités aux aléas des crues. Les parcours intermédiaires présentent, par contre, des sensibilités fortes sauf si les parcours se situent à courte distance d'un chenal.

Les observations effectuées par le projet conduit par Wetlands International pendant les années quatre-vingt-dix semblent aller dans le même sens. Des observations sont rapportées sur la régression de ligneux (*Acacia seyal et Acacia kirkii*) sans que les auteurs puissent déterminer si ce recul est lié à la sécheresse ou à la pression anthropique. Des observations faites à partir d'images satellites SPOT semblent montrer de fortes variations spatiales annuelles dans l'emprise des bourgoutières du Débo sans que l'on puisse conclure sur un recul irréversible de ces formations. Il convient, du reste, de remarquer que, dans le delta, des images SPOT ne permettent pas d'identifier des formations végétales. Tout au plus permettent-elles de déterminer la présence ou l'absence de formations végétales (présence d'eau libre dans ce cas) que seule l'expérience de terrain permet d'assimiler à une bourgoutière.

Les observations des images donnent les indications suivantes :

- image du 13 janvier 1985 : très peu de bourgou dans le Débo ;
- image du 16 janvier 1986 : bourgou abondant ;
- image du 19 janvier 1987 : bourgou très abondant.

Après les très faibles crues de 1996-99, des observations similaires sont effectuées entre 1999 et 2001 où la majorité des bourgoutières semblaient avoir disparu (l'étude ne se poursuit pas après 2001).

Ces observations montrent que la réapparition du bourgou, après une mauvaise (ou une série de mauvaises) année(s) est extrêmement rapide comme le montre l'exemple des années 1986 et 1987. Ceci semble conforter l'hypothèse d'une très forte résilience de ces formations inondées profondes aux très faibles crues. Il ne s'agit donc pas d'une disparition des formations végétales suite à une série de très faibles crues mais plutôt d'une année de production nulle ou très faible ; ceci pouvant s'expliquer par une montée trop brutale de l'eau noyant les jeunes plants ne produisant pas pendant la crue et créant ainsi des espaces d'eau libre pendant une année.

Il semblerait que les formations profondes du delta présentent, comme les formations les moins inondées, une grande résilience aux aléas hydrologiques. La même

observation ne semble pas s'appliquer aux formations des niveaux intermédiaires sauf pour celles qui se situent à courte distance d'un chenal. Il convient cependant d'être prudent quant aux conclusions que l'on peut en tirer sur la résistance des paysages végétaux du delta et sur leur aptitude à retrouver leur état antérieur avec le retour de bonnes crues.

Estimation des productions végétales sans changement durable de l'hydrologie

Les études CIPEA/ODEM menées dans les années quatre-vingt et reprises dans le SIG Delmasig ont permis de déterminer les productions végétales et fourragères en fonction d'hypothèses de crue. Les formations inondées se caractérisent par une forte production primaire, d'autant plus forte que les formations inondées présentent, tout au long de la saison sèche et à la différence des formations sahéliennes sèches qui constituent le fond des pâturages régionaux, des repousses abondantes après une première pâture d'entrée. Le tableau 19 indique les valeurs maximales, moyennes et minimales des différentes formations inondées.

Formations inondées	Production moyenne annuelle en kg de matières sèches/ha	Estimation de la capacité de charge en bovins/ha (scénario d'entretien)
B - BP	20 000	4 à 5
PAK	15 000	3
VB	12 000	2
VOR	10 000	1,8
MB	9 000	1,7
EOR - O – OP VSP - VH - P -	8 000	1,4
AC - ESP	5 000	0,6
AG - PAM	4 000	0,5
ZB	1 800	0,3

Tableau 19 - Productions fourragères et capacités de charge des pâturages inondés

Les productions herbacées des acacières (PAN, PAR, PAS) ne dépassent pas 1 000 kg de matières sèches à l'hectare et celles des formations sèches des buttes et des bordures du delta 1 800 kg, si l'on excepte la formation TA qui peut atteindre 3 000 Kg. Les capacités théoriques de charge des formations inondées, pour un scénario d'entretien, peuvent atteindre 4 à 5 bovins à l'hectare pendant 7 mois pour les bourgoutières (les pâturages les plus productifs du delta) ; ce qui en fait des pâturages à haute productivité. Rappelons que les pâturages sahéliens dépassent rarement une capacité de 0,1 à 0,2 têtes à l'hectare.

Les productions conjuguées aux surfaces occupées par les différentes formations conduisent à estimer la capacité totale de production fourragère du delta amont en fonction de trois scénarii (tableau 20).

Scénario 1 correspondant à une crue de 6,60 m à Mopti : on affecte à toutes les formations inondées leur production moyenne.

Scénario 2 correspondant à une crue de 6 m à Mopti : on affecte à toutes les formations inondées à 6 m leur production moyenne. Les formations de type inondées

qui ne sont pas atteintes par la crue de l'année (formations AC, AG, ESP, P, PAM, VH, VSP) sont affectées de leur production minimale.

Scénario 3 correspondant à une crue de 5,10 m à Mopti : on affecte à toutes les formations inondées à 5,10 m leur production moyenne. Les formations de type inondées qui ne sont pas atteintes par la crue de l'année sont affectées (formations AC, AG, EOR, ESP, P, PAM, O, VOR, VH, VSP) de leur production minimale.

Scénario	Productions fourragères (en millions de t de MS)	Pourcentage de pertes par rapport au scénario 1
Scénario 1 : crue de 6,60 m	15	
Scénario 2 : crue de 6 m	12,8	- 14 %
Scénario 3 : crue de 5,10 m	9	- 39 %

Tableau 20 - Productions fourragères du delta et charges théoriques

Pour une crue faible (5,10 m), les pertes de production fourragère avoisinent les 40 %. Il faut cependant remarquer que la perte de production fourragère est notablement plus faible que la diminution de la surface inondée qui, pour une hauteur de crue de 5,10 m, atteint environ 80 % de la surface inondée à 6,60 m. L'explication tient au fait que les formations végétales qui ne sont pas atteintes par la crue ont des productions qui ne sont pas nulles. Elles continuent en effet de produire grâce aux pluies et aux remontées capillaires de la nappe phréatique. (Rappelons qu'une formation comme la formation P, une panicaie, n'est pas inondée lorsque la crue ne dépasse pas, cette année-là, 5,10 m, mais que le niveau de la nappe n'est qu'à 1,2 m. La production de P chute alors de 5 000 à 3 000 kg de matière sèche ; ce qui est encore supérieur à une formation sèche sahélienne à la même latitude).

En conclusion, la variabilité des crues affecte la production fourragère du delta intérieur avec une diminution qui peut atteindre 40 % pour une crue faible par rapport à la crue climax de référence. En termes de capacité à nourrir un cheptel principalement bovin, on peut en déduire que la capacité de charge est amputée de la même valeur. Si on admet que le delta peut porter 1,5 million d'animaux lors d'une bonne année, la capacité se réduirait à 900 000 têtes lors d'une mauvaise année.

Quel serait l'impact d'un changement durable de l'hydrologie ?

Dans le paragraphe précédent, nous avons postulé que la forte variation des crues, constatée pendant une quinzaine d'années depuis 1980, se traduisait par une variation des productions fourragères sans remettre en cause la répartition des formations végétales. En d'autres termes, nous avons supposé que la nature et la répartition de la végétation dans le delta telles qu'elles étaient observées au début des années quatre-vingt, restaient inchangées. Rappelons que ces formations végétales traduisent un équilibre autour d'une crue « climax » de 6,60 m à Mopti, la variation des crues autour de cette valeur de référence étant relativement faible avant 1980. Les études menées par P. Hiernaux et L. Diarra jusqu'en 1985 montrent que les formations végétales inondées, notamment les plus profondes qui sont également les plus productives, présentaient une forte résilience à la variabilité des crues. On peut d'autre part formuler l'hypothèse que si des changements de nature et de répartition des

formations végétales se sont poursuivis après 1985, ces changements pourraient avoir été annulés par le retour récent de quelques bonnes crues (1994, 1998). En l'absence d'informations précises sur cette évolution, il nous a paru nécessaire d'effectuer une simulation sur les effets possibles de changements durables de l'hydrologie dans le delta. Deux séries de scénarii sont envisageables.

- Une dégradation durable de l'hydrologie du fleuve qui entraînerait une modification des hauteurs d'eau (et secondairement des durées de submersion) dans le delta. La séquence de faibles crues, constatée depuis les années quatre-vingt, ne serait plus, dans cette hypothèse, un accident climatique mais le témoignage d'un changement durable.
- Une modification de l'hydrologie du delta liée à l'implantation d'ouvrages hydrauliques sur le cours amont qui amputerait les crues d'une part significative.

Dans les deux hypothèses, ces changements se traduiraient par un nouvel équilibre « climax » qui se situerait à un niveau plus bas que le précédent.

Cette simulation s'appuie sur les travaux d'H.élène Prudhomme conduits à partir des données du SIG Delmasig. L'équilibre crue/formations végétales dépend principalement de deux paramètres : les hauteurs d'eau et la nature des sols. Un troisième paramètre, la durée de la submersion, n'a pas été pris en compte ; il est cependant fortement corrélé avec les hauteurs d'eau.

Dans cette simulation, l'auteur a postulé qu'une variation importante du régime hydrologique correspondant à l'établissement d'une nouvelle crue climax se traduirait par une nouvelle répartition des formations végétales en équilibre avec la répartition des sols et la valeur de la nouvelle crue climax.

La simulation s'appuie sur l'hypothèse d'une crue climax inférieure d'un mètre à la précédente. Il s'agit donc d'un changement très important du régime hydrologique. Pour autant, la valeur de 5,60 m n'a pas été prise au hasard : elle correspond à la hauteur moyenne des crues moins l'écart type pour la période 1980-98. Le mode de calcul est le même que celui guidant la détermination de la crue climax de référence (6,60 m) pour la période précédente (1944-68). Une hypothèse a cependant été formulée : celle qu'un changement hydrologique n'affecterait pas la nature et la répartition des sols du delta. Cela signifie, en d'autres termes, que nous considérons la morphologie et la pédologie des cuvettes du delta comme étant invariables sur une période de temps courte (une vingtaine d'années). La morphologie du delta est celle d'un bassin sédimentaire et l'on pourrait supposer qu'une modification de l'hydrologie se traduirait par une évolution de la sédimentation et donc de la morphologie. Il faut, pour examiner cette hypothèse, différencier les plaines d'inondation du lit mineur du Niger et du Bani. Dans le lit mineur, les remaniements entraînant une évolution rapide des bancs de sables sont très fréquents et ces bancs sont susceptibles de se déplacer d'une année sur l'autre. Dans les plaines d'inondation, la situation est fort différente : la sédimentation principalement argileuse et limoneuse est d'une extrême faiblesse. C. Picouët (1999) estime que l'apport sédimentaire total dans le delta varie, selon les années, entre 0,25 et 1,45 million de tonnes, l'apport maximal correspondant à des crues fortes. En rapportant la valeur maximale à la surface inondée pour une crue de 6,60 m, la quantité de sédiments apportés dans le delta et, *a fortiori*, dans les plaines d'inondation est de l'ordre de 80 g/an/m^2 soit une couche inférieure à 0,05 mm par an. Il faudrait un siècle pour que le

Niger et le Bani déposent 5 mm d'alluvions dans les plaines d'inondation. On peut donc considérer qu'à une échelle de temps humaine (quelques décennies) la morphologie du delta reste stable : ce qui justifie l'hypothèse de considérer la morphologie et les sols comme des invariants.

Dans la simulation, les nouvelles hauteurs d'eau correspondant à une crue de 5,60 m (soit un déficit d'un mètre par rapport à la situation antérieure) ont été croisées avec les formations superficielles donnant ainsi une nouvelle carte de la répartition des formations végétales. Il ressort de cette carte et du tableau 21 les indications suivantes.

- Les formations sèches du delta situées sur les bordures et sur les buttes exondées qui occupaient 330 000 ha passeraient à plus de 900 000 ha.
- Les formations inondées profondes, celles situées dans des tranches d'eau comprises entre 150 cm et 400 cm, subiraient une forte réduction. En particulier, les formations situées entre 150 cm et 280 cm (B, VD, PAM, OP) occuperaient une surface environ dix fois moins grande qu'actuellement. Alors que ces formations sont largement présentes dans tout le delta, elles ne subsisteraient de manière significative que dans trois zones : le nord-est du delta autour du lac Débo, de manière plus réduite au sud du delta le long du Niger ainsi qu'au sud de Mopti près de la confluence Bani-Niger.
- Par ailleurs, les formations les plus profondes (BP et PAK), celles dans une tranche d'eau comprise entre 280 cm et 400 cm, pourraient disparaître au profit de formations moins profondes. Outre la perte de production fourragère (les BP fournissent respectivement 20 000 kg et 15 0000 kg de MS à l'hectare soit largement plus que la moyenne du delta qui se situe aux alentours de 6 000 kg), il en résulterait une forte diminution de la biodiversité. En effet, ces associations sont les seules à inclure des espèces végétales comme A*cacia kirkii* qui forme des boisements où se reproduisent préférentiellement les oiseaux migrateurs paléarctiques. Rappelons que les forêts à *Acacia kirkii* sont protégées par la convention de Ramsar, signée en 1971 et entrée en application en 1975, qui a pour objet de favoriser la conservation et l'exploitation rationnelle des zones humides afin de promouvoir un développement durable.

Profondeur de submersion en cm	Principales formations végétales inondées concernées	Superficies occupées pour une crue climax de 6,60 m en hectares	Superficies occupées pour une crue climax de 5,60 m en hectares	Pourcentage de perte
400 à 280	BP - PAK	57 000	0	-100
280 à 150	B - OP - PAM - VB	434 000	38 000	-91
150 à 60	EOR - O - VOR	396 000	241 000	-39
60 à 30	AC - ESP - VSP	238 000	230 000	-3
30 à 10	P - VH	226 000	159 000	-30

Tableau 21 - Diminution des formations végétales inondées pour une perte de hauteur d'eau de 1 m

Dans ces conditions, la production fourragère ne serait plus que de 6 à 7 millions de tonnes par an au lieu des 15 millions de tonnes correspondant à une crue de 6,60 m. La réduction de la production et des capacités de charge serait de l'ordre de 55 à 60 %. Au lieu de pouvoir accueillir 1,5 million de têtes chaque année, le delta ne pourrait plus

en nourrir que 600 à 700 000. La perte, liée à la très forte réduction des « bourgoutières » (B et BP : les meilleurs pâturages du delta) ne serait pas seulement quantitative mais également qualitative. Ces formations végétales qui occupent actuellement, hors défrichement par les riziculteurs, 160 000 ha, verraient leur superficie tomber à 20 000 ha. On peut penser dans ces conditions que l'organisation de l'élevage, telle qu'elle existe encore actuellement, ne résisterait pas à ce changement. Enfin, il faut remarquer que la perte de production liée à une baisse de la crue « climax » d'un mètre est infiniment plus dommageable qu'une série de crues très faibles, la perte de production pour une crue de 5,10 m se situant à 40 % de la capacité de production à 6,60 m.

En conclusion, nous constatons que les surfaces inondées du delta intérieur apparaissent très sensibles à de faibles variations de hauteur de la crue puisque la perte de surface inondée est de 7 % par tranche de 10 cm autour de la crue « climax » à 6,60 m et se stabilise à 5 % par tranche de 10 cm entre 6,40 m et 5,10 m, valeurs séparant une bonne crue d'une crue très faible. Pour autant, la perte de production primaire des formations végétales dont dépend l'élevage (l'une des trois grandes activités économiques de la région) est moins sensible que ne le laisse supposer la variation des surfaces inondées. À 5,10 m (depuis 1944 les hauteurs de crue n'ont été égales ou inférieures à cette valeur que sept fois entre 1983 et 1993), la perte de surface inondée atteint 80 % alors que la production des pâturages chute d'environ 40 %.

Par contre, les productions fourragères apparaissent beaucoup plus sensibles à une modification non réversible de l'hydrologie, qu'elle soit liée à un changement climatique ou à l'installation de barrages importants qui entraînerait l'établissement d'un nouvel équilibre « climax » plus bas que le précédent. Une rupture d'équilibre d'un mètre se traduit en effet par une perte définitive de 55 à 60 % de la capacité de production végétale mais également par la quasi-disparition des meilleurs pâturages et des formations végétales les plus profondes dont certaines sont actuellement protégées.

Pêche

Modifications/perturbations environnementales d'origine anthropique agissant sur la ressource poisson ou sur la pêche. Sources et impacts

Les modifications environnementales sont envisagées en référence à la situation existante du fleuve Niger dans sa partie moyenne ou bien en référence à son évolution « potentielle » (notamment en cas de nouveaux aménagements) dans un avenir proche. On utilisera également des connaissances acquises sur d'autres fleuves tropicaux comparables.

Les sources (ou les origines) des modifications sont les activités ou les actions humaines qui provoquent, par effet délibéré ou par effet secondaire et de façon directe ou indirecte, les modifications décrites. Les modifications peuvent être mineures pour l'instant mais potentiellement importantes à l'avenir.

Les impacts sont les effets induits par les modifications environnementales sur les fonctions d'utilité de l'hydrosystème, en l'occurrence ici la production de protéines animales (les poissons) exploitables à faibles coûts. Les impacts ont d'autant plus

d'incidence qu'ils touchent les points de sensibilité de la ressource et de la pêche (*cf.* « Aspects concernant la pêche »).

Modifications/perturbations du cycle hydraulique propagées suivant l'axe amont-aval. Impacts sur la pêche. Origines

On traite ici des modifications qui affectent, sur une vaste échelle et dans la dimension longitudinale, le cycle hydraulique par modification de la quantité ou du régime des apports en eau. Précisons que, du point de vue halieutique, le cycle de l'eau peut être considéré comme affecté en un point donné si l'allure du cycle annuel de la présence, du niveau ou de la qualité de l'eau en ce point est modifié. Le courant a peu d'importance.

Les modifications du cycle hydraulique peuvent prendre différentes formes, qui sont parfois liées mais qui ne sont pas équivalentes dans leurs impacts :

- une perte de puissance générale de crue (débit x durée) diminuant l'extension et la durée de l'inondation dans les plaines adjacentes du fleuve, ou bien (1bis), de façon plus particulière, une perte de cote maximale (au moment du pic), tombant au-dessus de certaines cotes bien précises qui sont nécessaires pour alimenter des chenaux alimentant certaines parties de l'hydrosystème (ex. : lacs du nord-est, lacs de Tanda/Kabara) ;
- un décalage calendaire, par exemple un retard de l'onde de crue ou bien, au contraire, une avance de la date d'arrivée de l'onde de crue ;
- une modification du régime en partie basse du cycle (mi-février à début juin) qui peut être encore davantage affaiblie ou bien ré-haussée ou encore agitée de perturbations ;
- une déstructuration complète du cycle hydraulique annuelle, c'est-à-dire une suppression/transformation du pattern de variation annuel avec, par exemple, le passage à un régime « haché » de crues multiples et brèves (*flash flood*).

Modifications de type 1 (perte de puissance générale de crue) et 1bis (perte de cote maximale)

Les modifications de type (1) ont, potentiellement, un impact élevé sur les poissons dans la mesure où elles miment les phénomènes de mauvaise année hydroclimatique (dont les effets sur la ressource halieutique sont parfaitement décrits et connus : *cf.* figures 12 et 13). On s'interroge cependant sur le fait de savoir si, compte tenu du volume modeste des retenues existantes (une seule : Sélingué) sur la partie amont du bassin, la puissance de la crue dans la partie malienne moyenne et aval (delta et boucle) du fleuve est, dans l'état actuel des choses, réellement affectée.

Selon M. Kuper *et al.* (2002), le barrage de Sélingué n'affaiblirait pas de façon importante l'onde de crue traversant le Mali du fait de son volume assez modeste (2,1 km^3) au regard du débit naturel très élevé disponible au moment de sa phase de remplissage (août). Toutefois, selon les calculs de ces auteurs, un effet retard (de un à

trois jours) sur les dates de montée de l'eau serait induit et il y aurait également un certain écrêtement du pic de crue, de l'ordre de 400 à 450 $m^3.s^{-1}$ en moins, à Ké-Macina[18]. Cette modification environnementale n'est cependant pas négligeable car elle doit induire une perte de cote de 30 cm environ à Mopti, soit une perte de surface inondée de l'ordre de 2 500 à 3 000 km^2 dans le delta - d'après les abaques de D. Orange *et al.* (2002), F. Mariko (2004) et J. Marie (dans ce volume). La perte en production halieutique lors de la campagne de pêche suivante se chiffrerait alors à 15 000 t (en comptant 50 à 60 kg/ha). Avec un calcul hydrologique assez différent, R. Laë (1994) estimait la perte de production halieutique attribuable au barrage de Sélingué à 5 000 t/an. Dans les deux cas, cela n'est pas négligeable puisque cela correspondrait à une perte de 12 % de la production annuelle deltaïque, soit 12 % de 40 000 t au début des années 1990 (pour Laë) et 12 % de 120 000 t actuellement[19].

Avec l'hypothèse de création de la retenue de Fomi dont le volume de remplissage sera triple de celui de Sélingué, il est quasi-certain que l'affaiblissement de l'onde de crue traversant le Mali deviendra très important et préjudiciable à la production halieutique.

Les modifications de type (1bis), même si elles sont liées par nature et par leur origine à celles du type 1, doivent donner lieu à une analyse particulière, dans la mesure où la notion de seuil prend alors une importance déterminante. On sait, en effet, que la dépendance des lacs, aussi bien ceux de la rive gauche (Tanda, Kabara, Faguibine) que ceux de la rive droite (Aougoundou, Niangaye), vis-à-vis de la puissance de la crue n'est pas aussi linéaire ni aussi étroitement couplée dans le temps que celle des plaines inondables adjacentes au fleuve. En effet, situés en contrebas du fleuve mais à bonne distance de celui-ci, les lacs sont approvisionnés par des chenaux dont l'alimentation est gouvernée par des seuils. Lors de la décrue, les lacs ne se re-déversent pas dans le fleuve et gardent donc l'eau reçue. De plus, ils ont des formes de cuvette, ce qui fait qu'ils peuvent rester en eau jusqu'à deux ou trois ans après un seul remplissage en perdant de la profondeur par évaporation mais en conservant l'essentiel de leur surface en eau (paramètre le plus déterminant pour la production halieutique). C'est pourquoi, la condition de productivité halieutique de ces lacs s'exprime de façon différente de celle des plaines inondables puisqu'il leur suffirait de bénéficier d'une crue satisfaisante (qui franchirait le seuil nécessaire à leur alimentation) tous les deux ou trois ans pour rester pleinement productifs. Corollairement, ils sont peu affectés par la survenue d'une seule mauvaise crue isolée. La détermination du seuil d'intensité de crue nécessaire à leur remplissage peut se faire à partir de l'examen de l'historique. Par exemple, en ce qui concerne le lac Aougoundou, on sait qu'aucun apport significatif au lac ne s'est produit entre 1981 (6,28 m à Mopti) et 1994 (6,42 m à Mopti). Le lac a donc été à sec depuis fin 1983 jusqu'à novembre 1994 et une végétation ligneuse abondante (*Prosopis sp.)* a ainsi pu le coloniser. Comme la cote la plus haute atteinte à Mopti entre ces deux dates a été de 5,71 m (en 1988), on peut en déduire que la cote à Mopti nécessaire au remplissage du lac Aougoundou se situe quelque part entre 5,71 m et 6,28 m. Une gestion de l'eau

18 Sans faire de simulation complexe, il est bon de rappeler que remplir 2 milliards de m3 (le volume de Sélingué) en 6 semaines nécessite de prélever 514 m3.s-1.
19 Il faut rappeler cependant que 3 000 t de poisson sont pêchées annuellement dans le lac de retenue du barrage lui-même.

qui permettrait d'assurer le franchissement de ce seuil une année sur deux mettrait ce lac en condition permanente de quasi-pleine productivité halieutique. Par contre, si la crue reste chaque année juste en dessous de ce seuil, la production du lac devient nulle (et non pas seulement faible) puisqu'il va alors s'assécher complètement. En d'autres termes, pour la pêche dans un lac de ce type, une succession de crues assez faibles (ex. : 5,60 m à Mopti) est beaucoup moins intéressante qu'une alternance régulière de crues très faibles (ex. : 5,20 m à Mopti) et de crues moyennes (ex. : 6 m à Mopti).

Les modifications de type 2 : décalage (retard) calendaire de la crue

Ces modifications ont les mêmes origines que les précédentes, à savoir la nécessité d'un remplissage des grandes retenues au moment de la crue, en dehors des causes naturelles (retard de l'hivernage). Cependant, dans la mesure où les retenues existantes aujourd'hui sont relativement modestes et rapidement remplies, la montée de crue se poursuit au-delà du moment de leur remplissage de façon presque naturelle. L'effet de décalage est donc pour l'instant quasi-négligeable, mais on rappelle aussi que ce décalage doit rester faible car il est important pour les poissons que le pic de crue se produise avant la saison froide (avant fin novembre, et même un peu avant si possible). Si de nouveaux grands barrages étaient installés sur le Niger amont, il est envisageable que l'effet de retard calendaire puisse atteindre deux ou trois semaines et que cela entraîne des impacts gênants sur la partie avale du delta et dans la boucle, en faisant coïncider l'onde de crue avec la pleine saison froide (décembre-janvier). Cela reste toutefois à vérifier par calcul et par simulation hydraulique. Dans certaines zones (la boucle du Niger jusqu'à Ansongo), il a été émis l'hypothèse que la perte de couvert végétal pouvait provoquer une arrivée plus précoce de l'onde de crue liée aux pluies locales d'hivernage. Les incidences sur la vie des poissons ne sont pas bien connues.

Les modifications de la partie basse (étiage) du cycle hydraulique annuel

Les modifications de type (3), à savoir les modifications de la partie basse (étiage) du cycle hydraulique annuel qui s'étend dans le delta approximativement entre fin février et mi-juin, peuvent être de plusieurs types :

- un re-haussement du niveau de débit et de cote « de base » de l'étiage ;
- un affaiblissement du niveau de débit et de cote « de base » de l'étiage ;
- de brusques sautes de débit et de niveau d'eau, atteignant parfois 10 cm de montée en 24 heures.

La première catégorie de ces modifications est un effet de la libération progressive de l'eau des grandes retenues amont (par turbinage et pour la production régulière d'électricité) durant toute la durée de l'étiage. Elle est avérée dans le delta : les étiages dans le delta sont aujourd'hui plus soutenus qu'avant la création de Sélingué, de l'ordre de 50 cm à 1 m de cote en plus. Les impacts de ce soutien sont bénéfiques à la vie des poissons qui traversent alors une période particulièrement difficile : peu d'eau, peu d'oxygène et forte vulnérabilité aux engins de pêche. Il est clair qu'en augmentant les chances de survie des poissons à l'étiage, ce phénomène, comme le faisait déjà remarqué R. Laë (1994), amoindrit considérablement les risques d'une « surexploitation vraie » (ou surexploitation « de recrutement », c'est-à-dire passant par une atteinte à la capacité de reconstitution annuelle des populations par suite d'une déplétion excessive des effectifs de reproducteurs).

La seconde catégorie peut être provoquée par des prélèvements destinés à l'irrigation des cultures de contre-saison. Il s'agit des prélèvements par les barrages-seuils pour l'irrigation gravitaire des grands périmètres et, aussi, des pompages pour les petits périmètres irrigués. L'impact est forcément négatif pour la ressource poisson, mais, pour l'instant, il est complètement masqué par l'impact positif du phénomène décrit juste avant. Il semble, en effet, que les apports des quantités turbinées en étiage compensent et dépassent ces prélèvements ; ce qui a pour conséquence que les cotes d'étiage des années 1990 restent généralement supérieures à celles des années antérieures à la mise en eau du barrage de Sélingué. Mais, comme les prélèvements pour l'irrigation des cultures de contre-saison sont en augmentation régulière, il est à craindre que la balance s'inverse prochainement[20].

La troisième catégorie de ces modifications est provoquée par les lachures brutales mais de durée limitée (quelques jours à quinze jours) qui se produisent au niveau des grands barrages amont. Ces lachures sont liées à des incidents techniques (cas de mai 1999) ou à des décisions de gestion délibérées (par exemple : faire monter la cote jusqu'à un seuil d'intérêt agricole ; émettre une onde de crue « visible » pour satisfaire les autorités d'un pays en aval souffrant d'un manque d'eau). Les impacts de ces sautes de régime sont momentanément négatifs pour l'exploitation halieutique en gênant l'activité (perte de nasses emportées par le courant, perte de temps pour reconstruire les barrages de nasses sur les bras du fleuve) et en faisant chuter les captures pour quelques jours (les poissons se dispersent et deviennent imprévisibles à l'occasion de ces sautes de régime). Mais l'impact sur la survie des poissons est plutôt positif pour les mêmes raisons.

La déstructuration complète du cycle naturel hydraulique

Les modifications de type (4) peuvent aboutir à une déstructuration complète du cycle naturel hydraulique. Cela peut se produire, par exemple, avec la mise en place de crues artificielles courtes mais assez fortes (*flash floods*) qui seraient d'une puissance comparable ou supérieure à la crue naturelle (laquelle serait, en contrepartie, très amoindrie voire annulée par le remplissage des barrages). Mais, des modifications d'une telle ampleur ne sont pas encore d'actualité dans le fleuve Niger au Mali. Elles pourraient cependant le devenir à l'avenir, notamment en aval de Tossaye, si tous les ouvrages amont « en projet » sont réalisés (Fomi et Tossaye, en plus de Sélingué déjà existant et sans oublier Markala qui prélève sur l'étiage). La part de dynamique naturelle dans le cycle de l'eau deviendrait alors faible ou nulle. On sait que les crues artificielles courtes ne conviennent pas, en général et sauf aménagements particuliers, à la reproduction des poissons (Welcomme, 1999). S'il advenait que le régime hydraulique du fleuve devienne complètement artificiel et contrôlé, il faudrait alors beaucoup peser pour que les aspects « ressource poissons » et « pêche » qui nécessitent une inondation importante soient pris en considération dans la gestion de l'eau. Il existe toutefois des exemples où cela a pu être réalisé avec un certain succès (delta du Diawling).

20 Si les prélèvements de l'Office du Niger sont théoriquement connus et planifiables (donc limitables si les parties s'accordent), une étude sur les prélèvements plus ou moins anarchiques effectués par les motopompes (au nombre de une par tranche de deux ou trois kilomètres en moyenne dans le delta) serait utile pour conclure sur ce point.

Modifications/perturbations environnementales affectant la connectivité et la morphologie de l'hydrosystème, impacts sur la pêche. Origines

Modifications se caractérisant par l'introduction de discontinuité dans l'espace aquatique

Il existe deux sortes de modifications possibles, affectant toutes deux la mobilité des poissons :

1/ Les ruptures de connectivité dans le sens longitudinal

Ces ruptures, qui sont dues à la construction de grands barrages ou de grands seuils, gênent les migrations amont/aval à grande distance d'un certain nombre d'espèces qui a besoin d'effectuer de tels mouvements pour se reproduire plus efficacement. Il s'agit notamment des *characidae* (*Alestes*, *Bricynus*, *Hydrocyons*) et des *Distichodus*, espèces à comportement pélagique et grégaire. L'abondance de ces espèces migratrices diminue alors comme cela s'est produit récemment sur le lac de Sélingué avec la construction d'un seuil hydroagricole en amont sur le Sankarani, en Guinée. Il est important de préciser que, pour un poisson migrateur, un seuil hydroagricole avec 1,50 m de chute est aussi gênant qu'un barrage avec une digue de 10 m que l'eau traverse par un déversoir bouillonnant et par des turbines. Car, dans les deux cas, l'obstacle est total, du moins dans le sens aval vers amont[21]. Le seul palliatif à de tels obstacles est les échelles à poissons que l'on sait aujourd'hui rendre efficaces en les construisant de façon beaucoup moins pentue et avec des bassins intermédiaires de repos (les anciennes échelles très pentues, telles que celles qui équipent Markala, ne présentent quasiment aucune efficacité : seuls des saumons pourraient les escalader !). Mais ces nouveaux dispositifs efficaces coûtent cher et les grands barrages construits récemment n'en sont pas équipés (ex. : Sélingué).

2/ Les ruptures de connectivité occasionnées par l'aménagement des plaines et par la chenalisation

Bien que moins spectaculaire et moins connu que le problème précédent, le phénomène de multiplication des infrastructures (petites digues, petits ouvrages à vannes) que l'on construit aujourd'hui un peu partout, notamment pour retarder la submersion des périmètres et des casiers (type zone ORM), a un impact vraisemblablement très important sur la vie des espèces et sur la production halieutique. En effet, presque toutes les espèces ont besoin d'accéder aux plaines pour se reproduire, pour se nourrir et pour grandir. Or, beaucoup d'espèces n'osent pas franchir les passages étroits et bouillonnants que représentent les vannes et les déversoirs et elles abandonnent, de ce fait, la fréquentation des plaines inondables ainsi aménagées. Seules quelques espèces, telles que *Tilapia zillii*, sont aptes à exploiter de telles plaines pour la croissance de leurs juvéniles. Pour prévenir les dégâts qu'ils peuvent commettre dans les cultures, les riziculteurs installent des obstacles (des filets très fins) sur les petits chenaux internes à la plaine de façon à les empêcher d'accéder aux champs. Avec de

21 Dans l'autre sens, ce n'est pas mieux d'un point de vue bio-écologique même si des phénomènes halieutiques remarquables apparaissent parfois : à Sélingué et à Markala, des petits poissons pélagiques de type Pellonula sp. sont entraînés en masse à travers les déversoirs et cela donne lieu à des pêches miraculeuses (bien que prohibées) juste en aval (Morand *et al*., 2002a et 2002b).

telles infrastructures et de telles pratiques, il est à peu près certain que la riziculture en submersion contrôlée est en passe de devenir un facteur nuisible à la productivité halieutique, surtout si son emprise sur le delta s'étend. Car, s'il est connu que la productivité halieutique est conditionnée par l'extension des surfaces de plaines inondées, encore faut-il que ces plaines puissent être effectivement fréquentées et exploitées par les poissons !

Les travaux éventuels de chenalisation (pour faciliter la navigation ou pour protéger des zones urbanisées) pourraient avoir, à terme, les mêmes effets négatifs, mais ils sont restés jusqu'à ce jour très restreints.

Même si l'aménagement des plaines, tel qu'il se pratique aujourd'hui, a un impact globalement négatif pour les poissons, il existe certaines formes particulières d'aménagement qui pourraient, au contraire, augmenter la production halieutique locale ou, en tous cas, favoriser la capture du poisson. Il s'agit, par exemple, des systèmes de batardeaux qui permettent, à la décrue, de retenir l'eau un peu plus longtemps (quelques semaines de plus) dans les rizières ou dans de petites mares, conservant ainsi les poissons en phase de grossissement jusqu'à ce que l'on décide de la vidange et de leur capture qui est alors aisée (en notant que les poissons auront pu acquérir alors une taille plus intéressante que s'ils avaient été capturés à la période habituelle de retrait de l'eau). De tels aménagements légers, qui nécessitent peu d'investissements mais une adaptation très fine au terrain et une attention soutenue de la part des villageois, ne sont malheureusement pas ceux qui sont promus et soutenus actuellement par les offices de développement. De plus, il faudrait mener quelques études sur l'optimisation de leur fonctionnement et sur leur impact éventuel, car les connaissances manquent à leur sujet, du moins en Afrique (elles sont par contre nombreuses en Asie, avec le développement du modèle de production combinée *fish and rice*).

Modifications de l'hydrosystème dans le sens de son extension : création de nouveau cours d'eau ou de nouveaux plans d'eau

Avec la création de grandes infrastructures hydroélectriques et hydroagricoles (grands barrages, grands périmètres irrigués) apparaissent de nouveaux plans d'eau ou de nouveaux cours d'eau dont l'intérêt halieutique est loin d'être nul.

C'est ainsi que le lac de Sélingué produit quelques 3 000 t de poisson par an (données ODRS, Office du développement rural de Sélingué), soit 80 à 100 kg/ha en eau (aux hautes eaux), ce qui est conforme aux « normes » connues. À noter que le lac de Sélingué bénéficie lui-même, de par son mode de gestion, d'une fluctuation saisonnière régulière de sa cote et de sa surface qui produit un effet *flood pulse* sur les plaines riveraines, ce qui, sans doute, favorise sa productivité en poissons.

Les grands chenaux d'amenée et de drainage de l'Office du Niger (mais aussi des périmètres plus petits comme Sotuba) sont également peuplés de poissons et font l'objet d'une pêche de subsistance ou professionnelle (à visée commerciale). Certaines espèces (*Heterotis niloticus*) y ont trouvé refuge, car elles y trouvent aujourd'hui un meilleur habitat que dans le delta.

Modifications de l'hydrosystème dans le sens de sa réduction : comblement, atterrissement. Origines et impacts

Il est connu que tous les plans d'eau continentaux ont tendance à se combler par l'effet de la sédimentation et (éventuellement) par l'effet de la colonisation végétale. Ce phénomène est normalement compensé (au moins en partie) par la violence annuelle de la chasse d'eau, au moment de la crue. Cependant, plusieurs phénomènes peuvent perturber cet équilibre et jouer en faveur du comblement. Il s'agit de :

- l'agriculture de rives (par exemple les cultures de décrue) qui favorise une érosion locale et qui fait mécaniquement descendre de la terre, jour après jour, dans le plan d'eau adjacent (ex. : la quasi-disparition du Lac de Bâm au Burkina Faso). Pour lutter contre ce risque, les plans d'eau artificiels comme Sélingué ont été cernés d'un périmètre ou zone de servitude dans lequel les cultures sont (théoriquement) interdites ;
- la régression de la couverture végétale dans le bassin versant qui favorise le ravinement et l'érosion, entraînant à chaque orage des quantités croissantes de terre vers le fond des cours d'eau. Toutes les activités à l'origine de la régression de la couverture végétale (brûlis, surpâturage, coupe du bois, agriculture intensive) contribuent à ce processus ;
- la désertification qui charge le vent en sable et favorise sans doute le « bouchage » (éolien cette fois) des chenaux naturels dans le nord du delta et dans la boucle avec, pour conséquence, l'isolement de plus en plus permanent des cuvettes lacustres éloignées qui restent donc à sec.

Tous ces mécanismes sont assez proches et jouent en défaveur des poissons sur le court terme (augmentation de la turbidité) comme sur le long terme (réduction des espaces aquatiques).

Modifications/perturbations environnementales affectant la qualité de l'eau : impacts sur la pêche et origines

Modifications de la qualité de l'eau dans le sens d'un enrichissement en éléments nutritifs

Le fleuve Niger n'est pas naturellement riche en éléments nutritifs. Une grande partie des sels nutritifs qui sont présents dans l'eau du delta et qui sont nécessaires au développement de l'assimilation chlorophyllienne et des chaînes trophiques autotrophes (basée sur le phytoplancton ou sur les macrophytes, *cf.* R. Arfi, 2002) provient d'un recyclage sur place de la matière organique, notamment à partir des détritus végétaux et des fèces du bétail (Orange *et al.*, 2002). C'est pourquoi, tout apport supplémentaire par l'agriculture (si usage d'engrais) ou par les déchets urbains pourrait théoriquement améliorer la productivité des eaux. Cependant, il faut constater que la productivité en poisson du delta, même sans ces apports, est déjà conforme aux meilleures normes, puisqu'elle peut dépasser les 100 kg/ha dans les zones favorables (Batamani, d'après les données de l'observatoire de la pêche et la thèse - en cours - d'A. Kodio) et qu'elle atteint 50 kg/ha en moyenne régionale. Cela provient sans doute du fait qu'une bonne part de la production est basée sur des voies hétérotrophes (par ex. : consommation de déchets organiques par des petits invertébrés racleurs qui deviennent eux-mêmes des proies pour les poissons). Il n'est donc pas certain qu'un enrichissement supplémentaire soit souhaitable. Pour l'instant, cet enrichissement reste d'ailleurs modéré et très local

(si l'on considère le fleuve *stricto sensu*) car l'usage des engrais agricoles reste peu répandu.

Dans certaines zones limitées comme les chenaux et les drains des périmètres, l'effet d'enrichissement par les engrais et/ou la matière organique est, par contre, très sensible avec des excès conduisant à l'eutrophisation et au développement de plantes nuisibles (jacinthe d'eau). Il en va de même aux abords des très grandes villes (Bamako) où le fleuve reçoit des quantités importantes d'eaux usées. L'impact sur les poissons et sur la pêche est alors très négatif, mais cela reste un impact local.

Modifications de la qualité de l'eau par apport de substances toxiques

L'agriculture intensive utilise des substances toxiques pour lutter contre les insectes, les nématodes ou les plantes indésirables. C'est pourquoi les chenaux des grands périmètres sont non seulement eutrophes mais très pollués (présence de substances toxiques). De ce fait, il n'est pas certain que le poisson issu de ces milieux puisse être considéré comme un produit de consommation recommandable, surtout en ce qui concerne le poisson pêché dans les drains « perdus » (*falas* s'écoulant au nord de l'Office du Niger) qui sont, par effet d'évaporation, des lieux de concentration accrue en pesticides.

L'impact de la culture du maïs et du coton (et des engrais ou pesticides liés) qui tend à se développer dans la zone amont de l'impluvium devrait être mieux étudié. Il a en effet été observé localement (au lac de Sélingué) des mortalités massives de poissons, en plein hivernage, ce qui peut inciter à mettre en cause des possibles apports brutaux d'eau de drainage en provenance de ces cultures.

Les industries de traitement des produits agricoles (ex. traitement de la canne, de l'arachide), les industries textiles (usage de colorants) et les industries chimiques (piles, médicaments) sont, toutes, présentes au Mali. Elles apportent également au fleuve des substances toxiques.

Il en va de même des déchets urbains, des produits pétroliers usagés (huiles de vidange) et des pièces automobiles usagées (batteries, filtres à huile) qui ne font pas l'objet d'une effort systématique de récupération et retraitement. Là aussi, l'apport au fleuve n'est pas négligeable, au moins à un niveau local.

Cependant, les études à couverture large montrent que le fleuve Niger au Mali est encore un fleuve globalement propre et qui reste favorable à la vie des poissons et à la pêche.

Possibilités de régulation du volume d'eau disponible : aménagements du fleuve, existants ou à créer

Position du problème

Le fleuve Niger est un très long fleuve (près de 4 200 km de long) avec un régime très contrasté. En effet, le débit du fleuve à Mopti peut passer de plus de 3 000 $m^3.s^{-1}$ à moins de 30 $m^3.s^{-1}$. Cette très forte irrégularité dans le rythme annuel et interannuel du fleuve rend compte de toute une série de difficultés dans son exploitation (navigation, pêche, irrigation,...). Au-delà de Mopti – si l'on excepte le Yamé qui dévale du plateau de Bandiagara – et jusqu'à Niamey, le fleuve ne reçoit que très peu d'affluents actifs. De surcroît, les apports de ces affluents (Gorouol, Dargol, Sirba) sont trop faibles pour modifier sensiblement le régime du fleuve. Dans cette partie de son cours, à l'instar du Nil, le Niger moyen perd la moitié de son eau dans sa « traversée du désert ».

La crue « malienne » arrive à Niamey en janvier ou en février (il s'agit des pluies tombées dans la haute vallée pendant l'hivernage précédent et qui ont longuement cheminé, traversant notamment le delta intérieur). Les étiages à Niamey ont lieu normalement fin mai/début juin. Ces étiages peuvent être très bas, voire se traduire par un quasi-arrêt des écoulements. Ils ont été inférieurs à 20 $m^3.s^{-1}$ en 1943, 1944, 1945, 1947, 1948 et 1950. En 1975-76, les débits ont chuté à 3 $m^3.s^{-1}$ provoquant un quasi-arrêt de l'écoulement.

Des activités comme la pêche ou l'irrigation des cultures dépendent, dans cette partie de la vallée comme ailleurs, des ressources en eau du fleuve et de la distribution de ces ressources dans le cycle annuel. Rappelons enfin que l'alimentation en eau de la ville de Niamey dépend du fleuve à près de 80 %.

Le Niger, un grand fleuve très peu aménagé

Le fleuve, dans son cours supérieur et son cours moyen, est actuellement peu aménagé. En effet, la majorité des grands aménagements actuellement en service se situe au Nigeria et au Cameroun, sur le cours inférieur du fleuve et sur le Bénoué. Cependant, plusieurs projets importants sont en cours d'étude. Ils pourraient modifier très sensiblement le régime du fleuve et avoir des impacts importants sur les utilisateurs de l'aval, à commencer par le delta intérieur du Niger.

Plusieurs types d'aménagements hydrauliques existent pour la régulation et l'exploitation des eaux du fleuve Niger et de ses affluents :

- les digues (des périmètres irrigués, de protection des agglomérations, de régulation des eaux pluviales, etc.) ;
- les barrages de retenue ou de dérivation d'eau ;
- les canaux de dérivation des eaux ;
- les canaux d'irrigation et de drainage ;

- les canaux de navigation et les ouvrages de rehaussement du plan d'eau (écluses, seuils).

Les aménagements hydrauliques existants

Les plus importants ouvrages hydrauliques existants (tableau 22) sont tous situés dans la partie malienne du bassin versant du Niger supérieur. Il s'agit de l'aménagement de Sélingué (Sankarani) et l'aménagement de Markala (Niger). L'aménagement de Sotuba (Niger) ne constitue pas une retenue importante. On peut dire qu'en dehors du prélèvement pour l'irrigation, l'aménagement de Sotuba ne modifie pas le régime à l'aval du fleuve.

Nom	Cours d'eau	Prélèvement	Capacité nominale
Markala	Niger	2,6 km^3/an	5,7 km^3/an
Sotuba	Niger	0,21 km^3/an	0,22 km^3/an
Sélingué	Sankarani	0,023 km^3/an	0,1 km^3/an

Tableau 22 - Prélèvements dans les aménagements hydrauliques du bassin versant du Niger supérieur

L'ouvrage hydraulique de Sélingué

Depuis 1982, les débits du fleuve Niger sont contrôlés par le barrage de Sélingué situé sur le Sankarani et d'une capacité de 2 milliards de m^3.

Le barrage de Sélingué, en service depuis l'étiage de 1981 est implanté sur le Sankarani à environ 60 km du confluent avec le Niger, soit à 150 km de Bamako. Il est constitué par une digue en terre en deux tronçons d'une longueur totale de 1 600 m qui encadrent l'ouvrage central composé de :

- un déversoir en huit volets déversants de 13 m x 5 m chacun et une vanne secteur centrale de 14 m x 11 m. Ce déversoir est dimensionné pour évacuer la crue millénaire estimée à 3 500 $m^3. s^{-1}$;
- une centrale hydroélectrique équipée de quatre turbines Kaplan de 11,9 MW chacune ;
- une prise d'irrigation de 2 m x 3 m installée à l'extrémité rive droite du barrage. Elle permet de desservir un périmètre de 1 500 ha destiné aux populations déplacées par le barrage.

La zone de retenue s'étend sur deux vallées fluviales de 65 km de longueur chacune. Lorsque la retenue est à son niveau maximal de 348,5 m, son volume s'élève à 2,630 milliards de m^3 et sa surface à 430 km^2.

Impacts du barrage de Sélingué sur les débits à l'aval

Sur le plan hydraulique et énergétique, les régimes hydrologiques du Sankarani et du Niger ont été fondamentalement modifiés. Les impacts positifs sont très importants : un productible électrique théorique de 200 millions de Kwh par an (177,5 millions atteints en 1993), un grand réservoir d'eau (environ 2 milliards de m^3) utilisable pour le développement agricole, le relèvement du niveau des étiages et l'amélioration de la recharge des nappes phréatiques autour du lac.

Le remplissage de la retenue perturbe les crues du Sankarani et, partant de là, ceux du Niger. Par contre, le volume stocké est redistribué en aval de février à juin. Ces débits turbinés vont même en augmentant pour répondre à la demande d'électricité (principale fonction du barrage) qui augmente avec la température mais aussi pour compenser la perte de charge due à la vidange du réservoir. Cet aspect du fonctionnement du barrage constitue un soutien important pour l'aval en période d'étiage. Alors que l'étendue de la surface du réservoir (qui fait croître les pertes par infiltration et évapotranspiration) joue sur les volumes annuels.

L'aménagement de Markala

Le barrage de Markala est un ouvrage au fil de l'eau en service depuis 1947. Il est situé sur le Niger à environ 250 km en aval de Bamako. Il est formé d'une digue en terre de 1 813 m de longueur et d'un barrage à hausses mobiles à plusieurs positions de 816 m de longueur, créant une retenue aux basses eaux et s'effaçant complètement sur le radier pendant les moyennes et hautes eaux. En basses eaux, le plan d'eau est maintenu entre les cotes 300,00 et 300,54 m pour pouvoir irriguer par gravité certaines zones de culture de canne à sucre dominant en altitude le reste des périmètres.

Le réseau de canaux à partir de la retenue est constitué par :

- le canal adducteur long de 135 km, se partageant entre le canal du Sahel, le canal du Macina et le canal Costes-Ongoïba qui alimentent les périmètres irrigués (70 000 ha) de l'Office du Niger (65 000 ha en riz et en maraîchage et 5 000 ha en canne à sucre) ;
- le canal à fond plat où peuvent transiter jusqu'à 100 $m^3.s^{-1}$ vers les plaines de Dioro ;
- la prise de navigation de Sansanding débouchant légèrement en amont du village de Sansanding après le passage de l'écluse de Tio sur le Niger.

Le prélèvement annuel d'eau de l'Office du Niger, estimé à près de 2,6 milliards de m^3, est petit par rapport à l'apport moyen annuel de 46 milliards de m^3 sur la période 1907-2002. Cependant, les prélèvements pendant l'étiage atteignent 50 % de l'apport du fleuve.

Les ouvrages de Sélingué et de Markala fonctionnent de façon indépendante du point de vue gestion bien que le barrage de Markala profite de la régulation assurée par Sélingué. Une concertation est en cours pour une exploitation optimale de ces deux ouvrages, notamment dans le cadre de la commission « Gestion des Eaux » de la retenue de Sélingué.

Les aménagements hydroagricoles

Au Mali, le fleuve Niger et ses affluents sont largement utilisés pour l'agriculture. Depuis quelques années, l'agriculture a connu un développement important. De nombreux périmètres irrigués existent le long du fleuve ou sur le bassin, dont les plus importants (tant en surface que pour l'économie malienne).

Le potentiel de terres irrigables est estimé à 500 000 ha dont 230 000 sont aménagés et 170 000 réellement exploités. Les besoins en eau pour l'irrigation sont

estimés à 4,5 milliards de m^3 actuellement. 98 % de ces besoins sont couverts par les eaux de surface.

On distingue les grands périmètres et les petits périmètres (tableau 23) :

1/ Les grands périmètres

Parmi ce type de périmètres, on distingue :

- les périmètres à maîtrise totale, comme l'Office du Niger où deux cycles culturaux sont possibles (environ 70 000 ha) ;
- les périmètres à submersion contrôlée, comme l'Office Riz Ségou et l'Office Riz Mopti (environ 70 000 ha).

2/ Les petits périmètres

Parmi ce type de périmètres, on distingue :

- les périmètres gravitaires à l'aval de petits barrages ou à partir d'eau non pérenne dans les bas-fonds (environ 5 000 ha) ;
- les périmètres irrigués par pompage d'eau de forage (environ 2 000 ha).

En résumé on retiendra qu'il y a :

- 170 000 ha de superficies irriguées à partir des eaux de surface pérennes ;
- 5 000 ha à partir des eaux de surface non pérennes ;
- 2 000 ha à partir des eaux souterraines.

Nom	Superficie (ha)	Cultures	Besoins en eau
Opération Haute Vallée du Niger (OHVN)	25 000	Tabac, riz, coton, cultures sèches	-
Projet de Réhabilitation du périmètre de Baguinda (PRB)	3 000	Riz, maïs, mil, sorgho, arachides	10 $m^3.s^{-1}$ pendant la campagne
Office du Riz de Ségou (ORS)	15 000 - 29 000	Riz	5 - 6 litres/s/ha
Office Riz Mopti	39 080	Riz, maïs, mil, sorgho, arachides	
Office du Niger	70 000	Riz, canne à sucre, maraîchage	2,5 milliards m^3/an
Office pour le Développement Rural de Sélingué	1 500	Riz, maraîchage, maïs, tabac	Prise d'eau de 3 $m^3.s^{-1}$

Tableau 23 - Caractéristiques des zones irriguées à partir du fleuve Niger

Les aménagements en projet et les simulations de barrages

Plusieurs ouvrages sont en projet sur le territoire de la République du Mali ou sur le cours amont du fleuve Niger, en Guinée. Ces ouvrages sont susceptibles de modifier le régime du fleuve et d'avoir, de ce fait, une influence sur le régime des crues et sur les surfaces inondées dans le delta intérieur. Pour le barrage de Fomi et de Kenié, il n'a pas été possible d'effectuer des simulations d'ouvrage, faute de données pour Kenié et, pour Fomi, parce que le modèle utilisé ne prend pas directement en compte la partie guinéenne.

L'évaluation de l'impact des aménagements en projet sur le régime du fleuve, tant sur le soutien des étiages que sur la crue du fleuve, s'appuie sur un stage de fin d'études de Q. Six, élève ingénieur. Réalisé dans le cadre de l'expertise collégiale entre mars et septembre 2003 à la Sogreah, ce stage avait pour objet une expertise du « modèle mathématique du fleuve Niger » fonctionnant sur le logiciel Carima.

Dans les années quatre-vingt, la Sogreah a travaillé au Mali afin d'élaborer, en partenariat avec l'IGN et l'IRD (ex-Orstom), un modèle de simulation des écoulements en surface libre du fleuve Niger. Ce modèle appelé « modèle mathématique du fleuve Niger » fonctionne sur le logiciel Carima, nom sous lequel le modèle est souvent désigné. Il s'étend de Sélingué au Mali à Malanville à la frontière séparant le Niger du Nigeria et a été élaboré dans le but d'intégrer les aménagements du fleuve. Pour une raison que nous ignorons, le modèle a été installé au siège de l'Agence de Bassin du Niger, l'ABN, à Niamey mais aucune réplique du modèle n'a été installée au Mali alors que le modèle couvre l'intégralité du parcours du fleuve en territoire malien.

Le travail du stagiaire consistait à vérifier la validation du modèle puis à réaliser la simulation des ouvrages en projet au Mali.

Trois projets de barrages (Tossaye, Talo et Djenné) ont donc été pris en compte. Sélingué, dont la mise en eau coïncide avec la création du modèle n'a pas été simulé. Les conditions de fonctionnement de Sélingué sont intégrées au modèle sous forme de conditions d'entrée. Il serait sans doute intéressant de modéliser l'impact de Sélingué sur la hauteur des crues dans le delta intérieur.

Les projets n'ayant pu être simulés

Le barrage de Fomi en Guinée

Le barrage de Fomi est un ambitieux projet guinéen situé sur la rivière Niandan, affluent du fleuve Niger. Les objectifs de Fomi sont multiples et doivent :

- à court terme, fournir de l'électricité à bon marché pour la haute Guinée, la Guinée forestière et le réseau national ;
- à moyen terme, écrêter la crue du fleuve Niger et soutenir l'étiage au profit de l'agriculture, de la pêche, de l'alimentation en eau potable et de la navigation à l'amont du delta intérieur du Niger.

Avec une capacité du réservoir de 6,16 milliards de m^3, l'influence de Fomi a été évaluée de l'aval du barrage jusqu'à Koulikoro par analogie à l'influence de l'exploitation de Sélingué sur le régime d'écoulement du fleuve Niger. Cette analogie fait ressortir un apport important en étiage de 150 $m^3.s^{-1}$ et un impact réduit en crue.

L'aménagement de Kénié

L'aménagement comprend un seuil déversant, un ouvrage de restitution des débits, un chenal d'amenée à l'usine, un chenal aval de fuite et de restitution et une usine hydroélectrique. C'est un aménagement au fil de l'eau du type Sotuba qui n'aura pas de retenue d'eau et qui exploitera la régulation obtenue grâce à Sélingué et la dénivelée des rapides pour produire de l'électricité (175,5 GWh/an en moyenne avec une puissance installée de 56 MW).

Les simulations d'ouvrages

Le projet de Tossaye

Situé entre Tombouctou et Gao, le projet de Tossaye est un projet d'aménagement qui prévoit un barrage couplé à une microcentrale hydroélectrique. Son objectif est la production d'électricité et le développement des activités agricoles dans la boucle du Niger. Tossaye est le projet de barrage le plus important de la République du Mali.

L'étude de faisabilité et d'impact du barrage de Tossaye classe les fonctions principales de l'aménagement comme suit :

- contrainte de soutien d'étiage à l'aval, en garantissant à l'aval le débit minimal de 75 $m^3.s^{-1}$ à la frontière de la République du Niger située à 360 km ;
- sécurisation des ressources en eau à l'amont par régulation et recharge des nappes avec une capacité de 3,15 milliards de m^3/an ;
- aménagements nouveaux de 139 000 ha de terres agricoles ;
- continuité du transport fluvial et routier ;
- production d'énergie hydroélectrique de 90 GWh.

Ne disposant pas de données sur le mode de gestion prévu, la simulation dans le logiciel Carima s'est appuyée sur les cotes mensuelles du réservoir de Tossaye obtenues par un modèle de la société Coyne & Bellier qui a réalisé une étude d'impact.

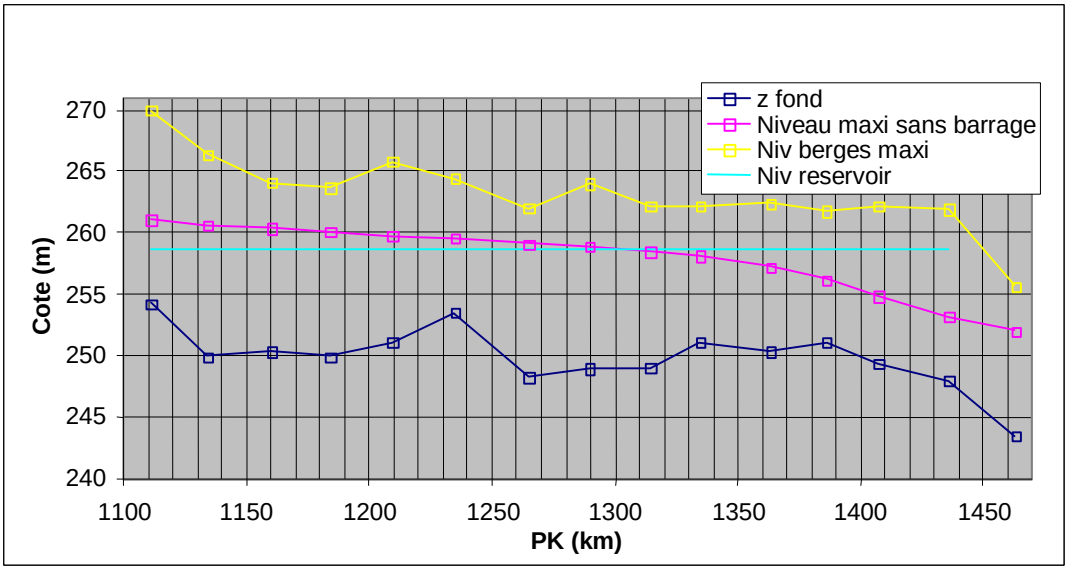


Figure 19 - Profil en long du fleuve Niger de Korioumé à Bourem

Implanté au Point Kilométrique (PK) 1 436 pour une cote de fond de 249,95 m, la courbe « Niv. réservoir » représente le profil de la cote maximale prévue pour le réservoir (258,75 m). Elle atteint largement Korioumé. Deux questions se posent : les effets du barrage en amont, en particulier sur le delta, et l'impact du barrage sur les écoulements en aval.

En amont, on constate que le lac de retenue aurait une longueur d'environ 140 km. D'autre part, la courbe de remous affecte les écoulements jusqu'en aval de Korioumé. L'hydrogramme et le limnigramme de Diré sont affectés comme le montrent les figures 20 et 21.

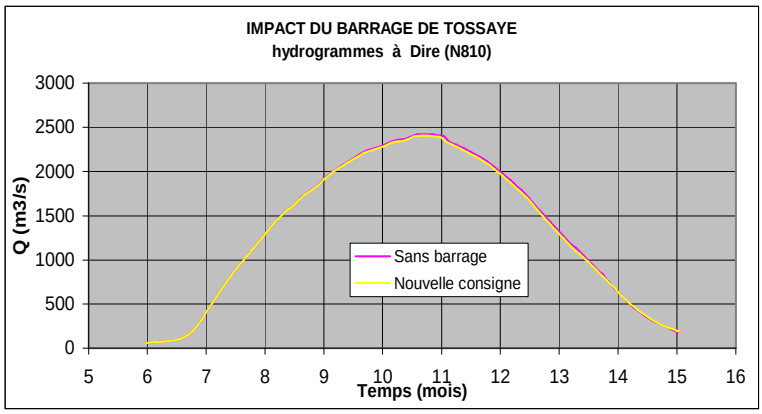


Figure 20
Hydrogrammes à Diré

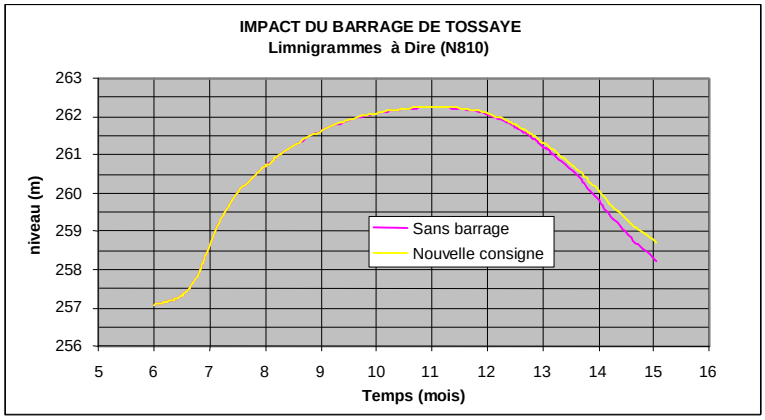


Figure 21
Limnigrammes à Diré

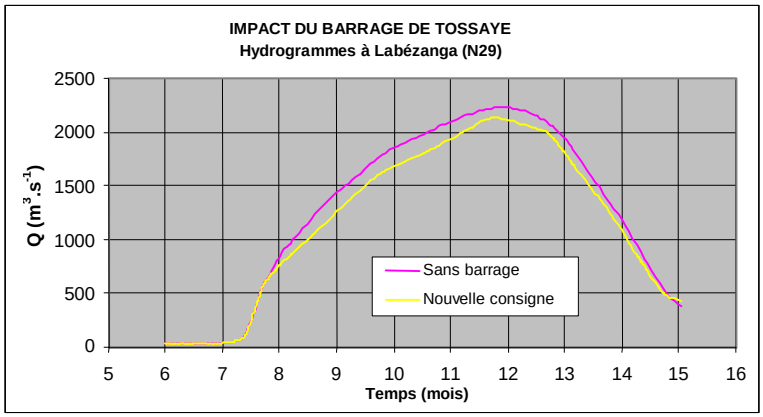


Figure 22
Hydrogrammes à Labézanga

L'influence du barrage de Tossaye à Diré est nette. Le barrage diminue les débits, augmente les niveaux et prolonge la crue. Il pourrait donc avoir une influence sur la durée de submersion dans le delta intérieur en freinant la décrue.

D'autre part, le barrage modifie la crue en aval comme le montrent les hydrogrammes de Labézanga (figure 22) avec et sans barrage. La crue est plus faible,

mais le barrage permettrait de garantir un débit de 100 $m^3.s^{-1}$ à Niamey pendant toute la saison sèche.

Carima ne peut cependant modéliser fidèlement la vallée ennoyée par le lac de barrage. En effet, en l'absence de casier, le lit majeur est décrit par les sections en travers des points principaux. Or, celles-ci sont trop peu nombreuses pour que l'on puisse considérer que la géométrie du fleuve est totalement respectée. Rappelons que c'est cette géométrie qui conditionne les volumes retenus. Or, les impacts en amont et en aval dépendent de ces volumes et de la topologie du modèle. En résumé, le modèle semble capable d'effectuer ce genre de simulation moyennant une étude topographique supplémentaire des zones inondées. La précision de cette topographie conditionnant la validité des impacts obtenus par la simulation, il apparaît nécessaire d'effectuer une étude topographique supplémentaire.

Le projet de Talo

Le projet de barrage de Talo a entraîné des polémiques au Mali en raison des impacts supposés sur l'aval, sur le delta intérieur du Niger et, plus particulièrement, sur les plaines de Djenné qui débutent juste en aval. Le projet d'aménagement consiste en un barrage-seuil implanté sur le Bani au droit de Talo. L'objectif de ce projet est le développement des activités agricoles en permettant l'alimentation en eau de périmètres irrigués (24 000 ha). Il n'est pas prévu de production électrique. Sur le site de Talo, le Bani coule dans deux chenaux séparés par une île (figure 23) : un déversoir fermera le chenal le moins profond du côté nord (niveau minimal du lit : 270,50 m) et une digue fermera le chenal sud plus profond (niveau minimal du lit en dessous de 268,00 m).

Caractéristiques géométriques de l'ouvrage :

- la crête du déversoir est à 274,35 m ;
- la longueur nette déversante est de 268 m ;
- la hauteur de la digue principale se situe à 280 m.

Gestion prévue :

- le remplissage du réservoir de Talo ne commence que quand le débit entrant à Douna est supérieur à 50 $m^3.s^{-1}$;
- pendant le remplissage du réservoir, l'ouvrage de restitution doit permettre de délivrer en aval 75 % du débit entrant à Douna ;
- le débit maximal que les vannes pourront restituer est de 150 $m^3.s^{-1}$;
- l'ouvrage de restitution sera fermé dès que le seuil déverse ;
- l'ouvrage de restitution sera ouvert pour soutenir le débit d'étiage et garantir un débit minimal de 5 à 10 $m^3.s^{-1}$;
- le volume stocké au moment du déversement est estimé à 152 Millions de m^3.

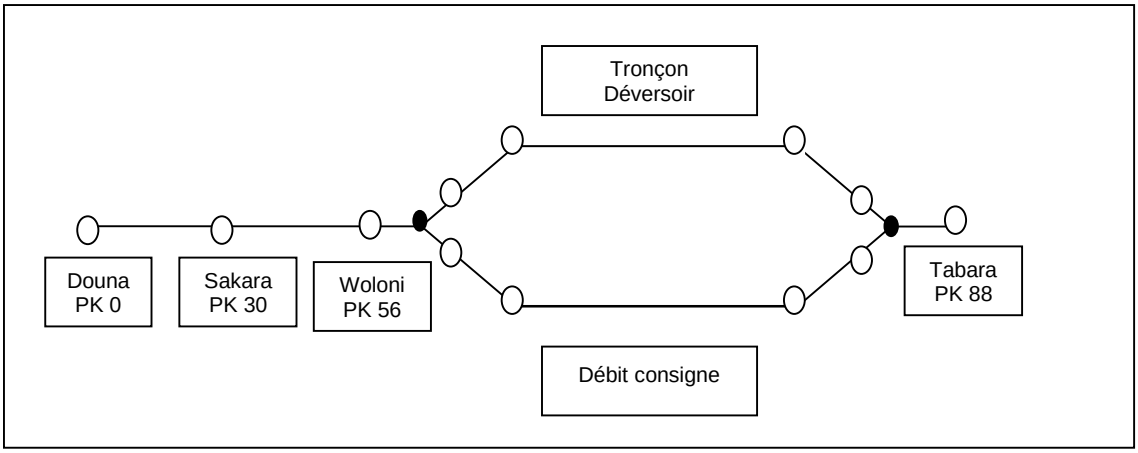


Figure 23 - Schéma d'implantation du projet de Talo

Le déversoir a été modélisé en définissant sa hauteur de crête (274,35 m) et sa longueur déversante (268 m), puis la gestion des vannes a été simulée par une consigne de débit recherchée par ajustements successifs (figure 24).

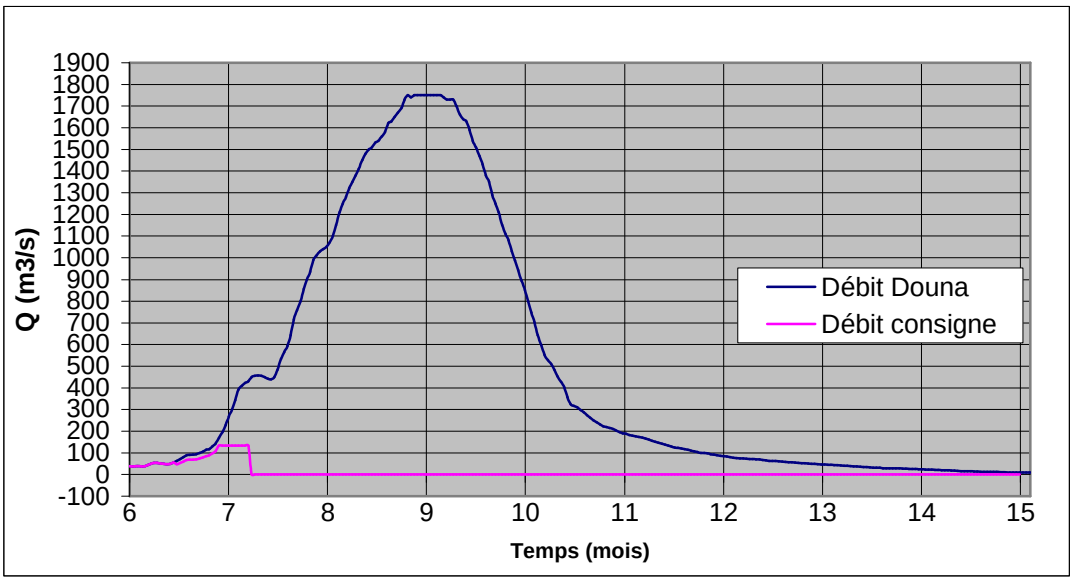


Figure 24 - Débit de consigne modélisant le fonctionnement des vannes du barrage de Talo

Cet hydrogramme consigne respecte les caractéristiques suivantes de l'ouvrage :

- il est identique à celui de Douna tant qu'il est inférieur à 50 $m^3.s^{-1}$;
- ensuite, les vannes laissent passer 75 % du débit de Douna jusqu'au maximum d'ouverture des vannes correspondant à 150 $m^3.s^{-1}$;
- Le débit retenu rempli le réservoir du barrage jusqu'au déversement (tth) où les vannes se ferment.

Le barrage étant de type déversoir, la crête du déversoir sera submergée lors du fonctionnement après remplissage du réservoir. La simulation de la lame d'eau déversante montre qu'elle atteindrait la cote de 277 m. Les effets du barrage sur

l'amont seraient alors les suivants : la lame d'eau dépasserait les niveaux des berges droite et gauche en deux endroits au droit de Ségara et au droit de Woloni. Ces conditions ont été intégrées à la simulation en créant deux surfaces inondables sous forme de « poches d'eau » qui représentent 150 km^2 à la cote 280 m. La simulation montre clairement que ces surfaces inondables ont une réelle influence (voir la courbe, figure 25, avec et sans poche d'eau). Cependant, la précision des données topographiques disponibles ne permettait pas une grande précision dans la définition des surfaces inondables. Il serait donc souhaitable de pouvoir disposer de données topographiques plus précises afin de modéliser avec plus de précision les surfaces inondées en amont. Enfin, il faut remarquer que la courbe de remous remonte jusque Douna.

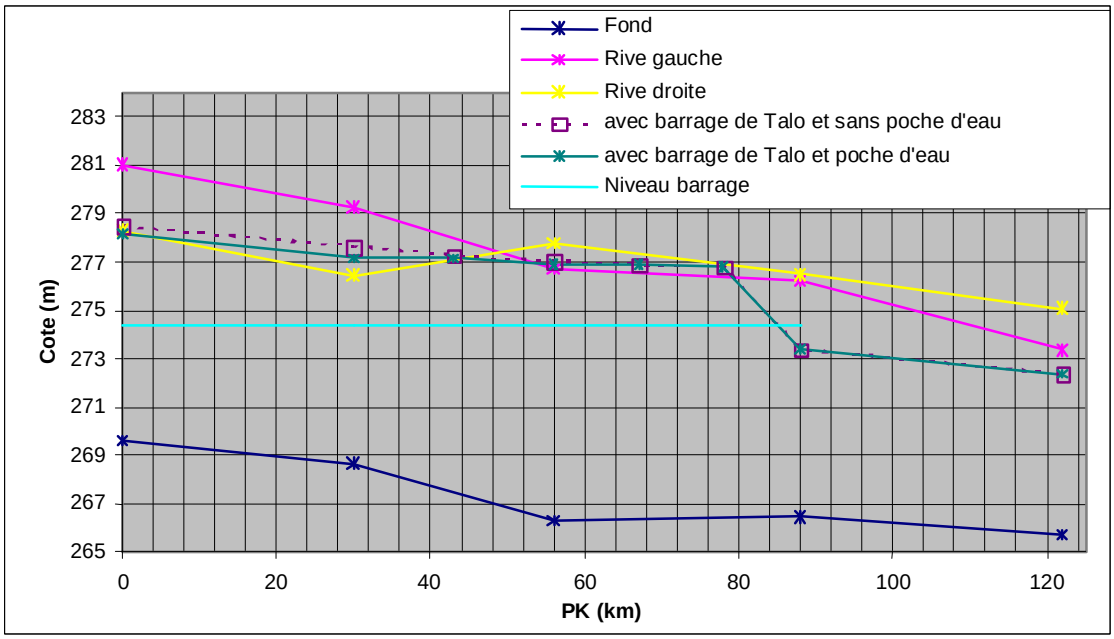


Figure 25 - Profil en long du Bani en amont de Talo

Les effets sur l'aval, notamment sur le delta intérieur du Niger, dont les surfaces inondées présentent une grande sensibilité à de faibles variations de hauteurs de crue, ont été déterminés en calculant les hydrogrammes - avec et sans barrage - pour Djenné et pour Mopti.

L'impact à Djenné est représenté par les figures 26 et 27, celui à Mopti par les figures 28 et 29.

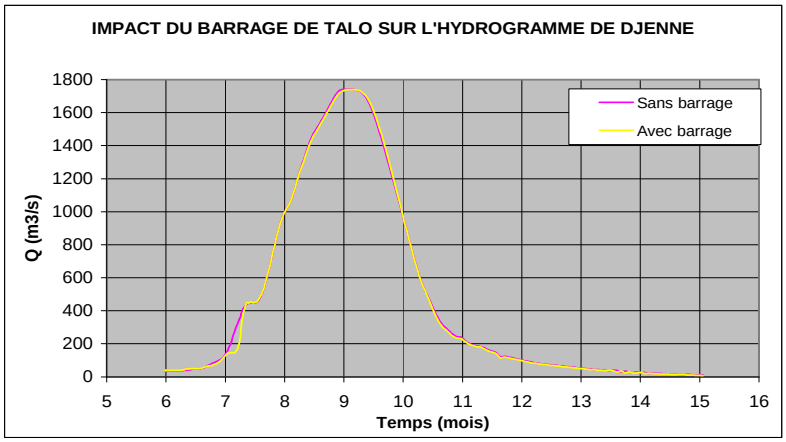


Figure 26
Impact du barrage sur l'hydrogramme de Djenné

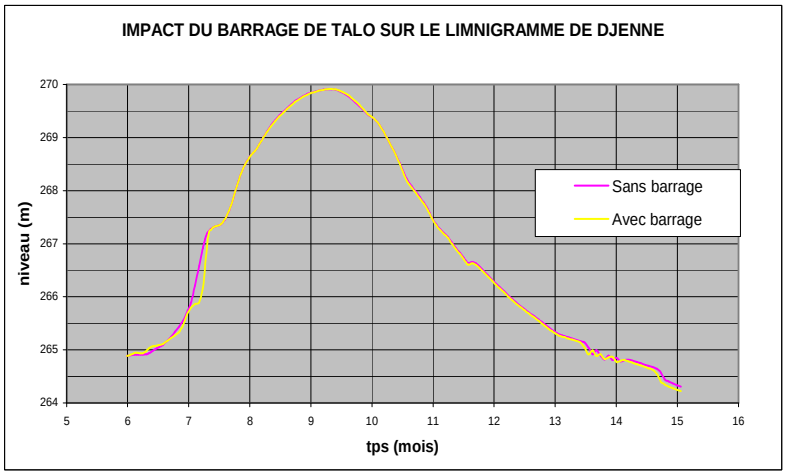


Figure 27
Impact du barrage de Talo sur le limnigramme de Djenné

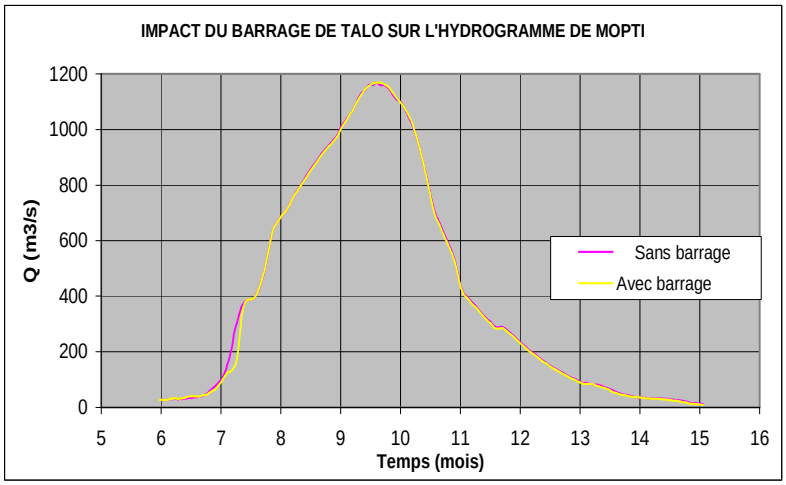


Figure 28
Impact du barrage de Talo sur l'hydrogramme de Mopti

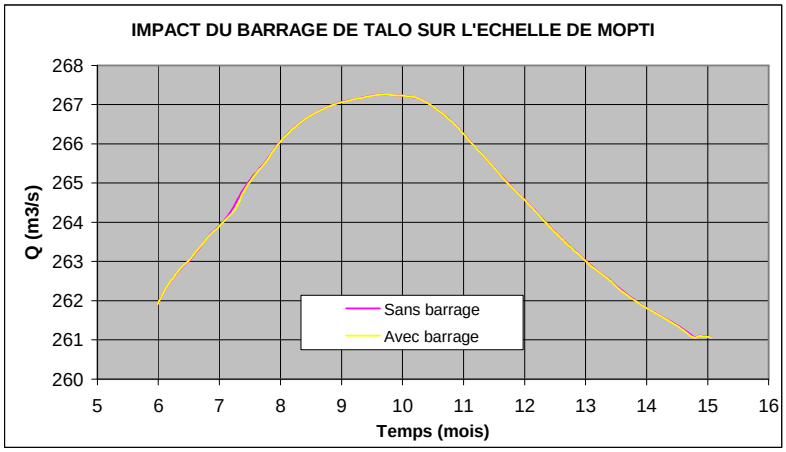


Figure 29
Impact du barrage de Talo sur l'echelle de Mopti

Les effets du barrage de Talo à Mopti sont les mêmes qu'à Djenné avec des impacts plus faibles. Dans les deux cas, on remarque que l'implantation du barrage de Talo entraîne un léger retard en début de crue (mois 7/8). On discerne aussi l'amorce d'un soutien d'étiage en fin de simulation (mois 14/15). Le retard en début de crue à Djenné ne dépasse pas une semaine. À Mopti, l'effet sur le Bani est du même ordre de grandeur en remarquant que le calendrier de la crue à Mopti dépend surtout du Niger et non du Bani : un léger retard du Bani étant, par ailleurs, généralement favorable à un meilleur étalement de l'onde de crue qui présente alors un aspect en plateau qui accroît la durée de submersion maximale. En revanche, Talo ne semble pas avoir d'impact mesurable en termes de hauteurs de crue, ce qui était prévisible compte tenu de la nature de l'ouvrage prévu – un déversoir – et de sa taille, somme toute, modeste.

En conclusion, l'attention s'était focalisée sur les impacts négatifs possibles de Talo sur Djenné. La simulation montre que ce ne sera très vraisemblablement pas le cas si l'on excepte un retard d'environ une semaine sur le calendrier de la crue. Par contre, la simulation laisse apparaître des surfaces inondées potentiellement importantes en amont du barrage. Il semble très souhaitable que des études topographiques plus fines soient menées afin de déterminer avec précision l'importance de ces zones inondables et les cotes atteintes par l'eau. Ces deux zones inondables pourraient recevoir des périmètres irrigués par gravité. Encore faut-il remarquer que les superficies modélisées par Carima sont de l'ordre de 150 km^2, soit 15 000 ha, surface sensiblement inférieure aux 24 000 ha du projet.

Le projet de Djenné

En l'absence de données géographiques précises sur la localisation du barrage, l'hypothèse d'une implantation à Tako, à 12 km en amont de Djenné, a été retenue.

Les données ayant servi à la modélisation sont les suivantes (figure 30) :

- un débit minimal de 5 $m^3.s^{-1}$;
- un remplissage jusqu'à la cote 268,65 m du 1er juillet au 20 août ;
- un remplissage jusqu'à la cote 271,15 m du 20 au 25 août ;
- un maintien à la cote 271,15 m du 25 août au 1er décembre ;
- une vidange jusqu'à la cote 268,68 m le 15 janvier ;

- une vidange jusqu'à la cote 266,70 m le 15 mars ;
- un volume de retenue de 400 millions de m^3 à la cote 271,15 m le 25 août ;
- une submersion de 85 000 ha.

Les surfaces inondées n'étant pas prises en compte dans le modèle CARIMA, Quentin Six a construit, au droit de Tako, un casier contenant 281 Mm^3 et inondant 85 000 ha dès le 25 août.

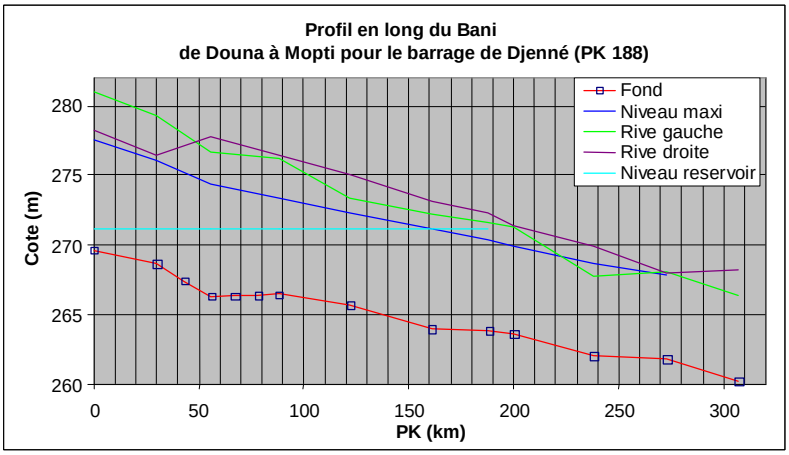


Figure 30
Profil en long du Bani de Douna à Mopti pour le barrage de Djenné

La courbe « Niveau réservoir » représente le profil de la cote maximale prévue pour le réservoir (271,15 m). Elle atteint largement Douna. Ainsi, la courbe de remous du barrage va affecter directement la condition limite à Douna. Par conséquent, il faut repousser plus en amont cette condition limite du Bani.

On remarque qu'au droit de Sofara (PK 238), le niveau maximal du Bani est supérieur à la rive gauche. Il y a donc débordement. Celui-ci est pris en compte par le casier bidimensionnel Kali, placé au droit de Sofara.

Impacts du barrage sur le Bani :

L'hydrogramme de Tako (avec le casier) se trouve déformé par le barrage comme le montre la figure 31.

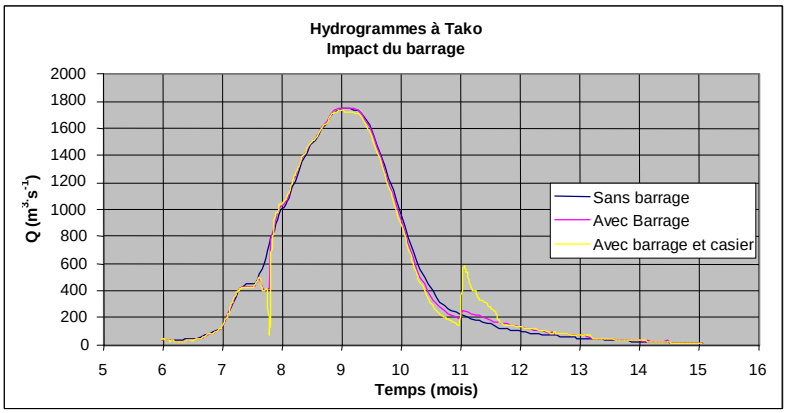


Figure 31
Hydrogramme à Tako Impact du barrage

Les brusques écarts de débit illustrent la rapidité de remplissage du casier. En effet, le casier qui a été modélisé semble se remplir rapidement et brusquement. Rien ne dit cependant que, dans la réalité, ce soit le cas. Il serait nécessaire de disposer de données topographiques fines afin de modéliser plus précisément le casier. D'autre part, il apparaissait important de modéliser l'hydrogramme de Mopti (figure 32) afin d'évaluer l'influence du barrage sur les crues dans le delta intérieur.

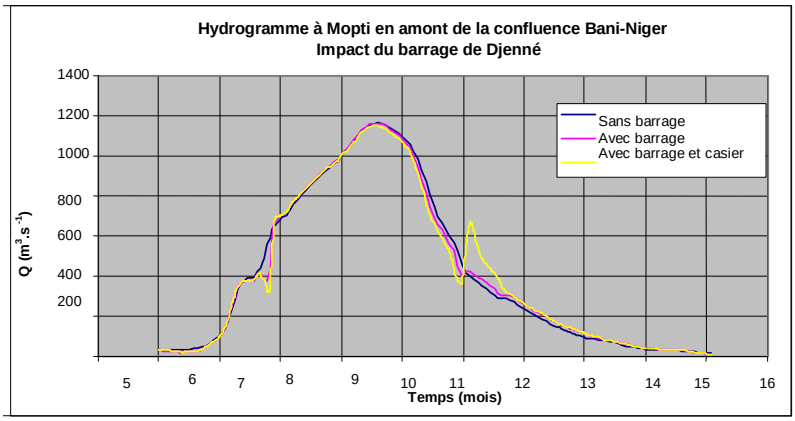


Figure 32
Hydrogramme à Mopti
Impact du barrage de Djenné

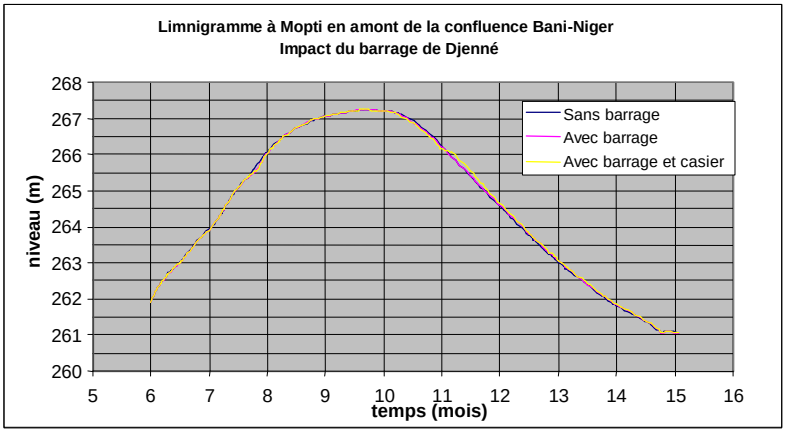


Figure 33
Limnigramme à Mopti
Impact du barrage de Djenné

L'hydrogramme du Bani à Mopti présente les mêmes déformations que celui de Tako : à savoir une variation brusque du régime liée à la rapidité du remplissage du casier puis un soutien également marqué (mois 11) lors de la vidange.

Compte tenu de l'importance du flux du Niger à Mopti par rapport à celui du Bani, le limnigramme de Mopti après la confluence avec le Niger ne présente plus les mêmes déformations comme le montre la figure 33. On décèle un léger décalage du limnigramme lors du remplissage (mois7/8) et de la vidange (mois 11/12) sans influence notable sur les hauteurs de crue conditionnant les surfaces inondées dans le reste du delta.

Options techniques pour une meilleure gestion partagée de l'eau répondant aux différents besoins

La gestion actuelle des ressources en eau du fleuve Niger

La gestion actuelle des ressources en eau du fleuve Niger en République du Mali relève d'une large gamme d'institutions techniques gouvernementales, para-étatiques, et non gouvernementales. Généralement toutes ces institutions ont des préoccupations sectorielles.

Ces institutions et ces acteurs peuvent être classés dans les catégories ci-après :

Institutions en charge de l'inventaire et de la connaissance scientifique des ressources en eau

- les services publics chargés de l'hydrologie et de l'hydrométéorologie comme la Direction Nationale de l'Hydraulique et la Direction Nationale de la Météorologie,
- les institutions de recherche comme l'Institut d'Économie Rurale, le Centre National de la Recherche Scientifique, l'Institut de Recherche pour le Développement.

Institutions en charge de l'exploitation directe des ressources en eau

- les services publics chargés de l'irrigation comme la Direction Nationale de l'Aménagement et de l'Equipement Rural, les offices de développement rural ;
- les services publics chargés de l'énergie comme la Direction Nationale de l'Energie, l'Energie du Mali ;
- les services publics chargés de la navigation comme la Compagnie Malienne de Navigation ;:
- les services publics chargés de l'approvisionnement en eau potable comme le service eau de l'Energie du Mali ;
- les associations de professionnels du transport fluvial ;
- les associations de professionnels de l'industrie et du commerce ;
- les associations de professionnels de l'agriculture ;
- les ONG de développement socio-économique.

Institutions en charge de l'exploitation des produits aquatiques (faune et flore)

- les services chargés de la pêche, de l'élevage et des eaux et forêts comme l'Opération Pêche, la Direction Nationale de Conservation de la Nature, la Direction Nationale de l'Appui au Monde Rural ;
- les associations de professionnels de la pêche et de l'élevage.

Institutions en charge des problèmes de santé et d'environnement

- les organismes chargés du contrôle de la qualité de l'eau : laboratoire national de la santé, laboratoire de la qualité des eaux de la DNH ;

- les services publics chargés de l'assainissement comme la Direction Nationale de l'Assainissement et du Contrôle des Pollutions et des Nuisances et les services municipaux de voirie.

Autres institutions intervenant dans le secteur de l'eau au MALI

En plus des départements ministériels de l'État et des structures déconcentrées d'assistance et de conseil (services techniques de l'État), d'autres institutions interviennent dans la gestion des ressources en eau. On peut citer :

1/ Les collectivités territoriales, avec :

- Le conseil communal qui est maître d'ouvrage, responsable de la politique de l'eau et de l'assainissement au niveau local ;
- Le conseil de cercle qui approuve les projets communautaires avec l'appui des services techniques ;
- L'assemblée régionale qui veille sur la cohérence des projets élaborés avec les programmes nationaux.

2/ Les populations, à travers les communautés villageoises, les comités de gestion de points d'eau, les associations d'usagers, etc.

3/ Les structures d'exécution des travaux (secteur privé) : bureaux d'étude, GIE, entreprises de travaux, etc.

4/ Les partenaires au développement (Bailleurs de fonds, ONG, etc.).

5/ Le comité interministériel de coordination du secteur de l'eau et de l'assainissement.

Les objectifs visés et les usages faits de l'eau n'étant pas toujours conciliables, il a été créé, par décret n° 95-447/PM-RM du 27 décembre 1995, un comité interministériel de coordination du secteur de l'eau et de l'assainissement dont les attributions sont :

- suivre la mise en œuvre de la politique du Gouvernement en matière d'eau et d'assainissement ;
- donner un avis sur les textes législatifs et réglementaires relatifs au secteur Eau et Assainissement ;
- donner un avis technique sur les conventions, protocoles et accords internationaux relatifs au secteur ;
- dresser annuellement le bilan des actions entreprises ;
- suggérer les mesures correctives et ajuster les stratégies et les objectifs à court, moyen et long termes ;
- proposer les mesures de nature administrative, institutionnelle et financière pouvant assurer une plus grande efficacité et un meilleur impact des actions entreprises ;

- s'assurer de la cohérence des programmes et des financements des différentes composantes entre elles et de leur cohérence avec les plans de développement nationaux.

Ce comité a deux commissions de travail regroupant les structures techniques des départements concernés :

- une commission « Gestion des Eaux »
- une commission « Environnement-Santé »

La commission « Gestion des Eaux » a été active notamment pour le suivi des crues 2001 et pilote actuellement les activités du volet gestion intégrée des ressources en eau du Programme National d'Infrastructures Rurales (PNIR) financé par la Banque Mondiale.

Institutions crées par ou en vertu du Code de l'eau

Le Mali a promulgué la loi portant création du Code de l'Eau (Loi n° 02-006 du 31 janvier 2002). Ce code jette les bases d'une nouvelle réglementation du secteur de l'eau et légitime les structures en charge de la gestion des ressources en eau. Il préconise la mise en place d'un fond de développement du service public de l'eau et crée un conseil national, des conseils régionaux et locaux et des comités de bassin chargés d'émettre des avis et de faire des propositions sur la gestion des ressources en eau et sur les projets d'aménagement.

Le Code de l'Eau, dans sa définition des organes consultatifs intervenant dans la gestion des ressources en eau (titre III), a découpé le territoire national en grandes unités hydrographiques naturelles dénommées bassins, sous-bassins hydrographiques ou systèmes aquifères.

Pour la gestion de ces unités hydrographiques, le Code de l'Eau a créé dans son article 67-titre II, auprès de l'administration chargée de l'eau et des autorités des collectivités territoriales, les institutions suivantes :

- un conseil national de l'eau (1) ;
- des conseils régionaux et locaux de l'eau (2) ;
- des comités de bassin ou de sous-bassin (3).

La composition et les modalités de fonctionnement du conseil national et des conseils régionaux de l'eau seront fixées par des décrets pris en conseil des ministres.

La dénomination et la délimitation des bassins, sous-bassins hydrographiques ou systèmes aquifères seront fixées par voie réglementaire.

1/ Le conseil national de l'eau

Le conseil national de l'eau a pour mission d'émettre un avis :

- sur les projets de plan directeur de l'eau et sur les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux ainsi que sur les modifications y afférentes ;
- sur les projets d'aménagement et de répartition des eaux ayant un caractère national ainsi que sur les grands aménagements régionaux ;
- sur toutes les questions relatives à l'eau.

2/ Les conseils régionaux et locaux de l'eau

Les conseils régionaux et locaux de l'eau ont pour mission d'émettre un avis sur toute question relative à l'eau soumise par l'administration chargée de l'eau.

À cet effet, ils peuvent :

- formuler des propositions relatives à la gestion des ressources en eau du bassin, du sous-bassin hydrographique ou des systèmes aquifères ;
- formuler des propositions de solutions à tous conflits d'usage de l'eau ;
- proposer la révision du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux et d'en assurer le suivi et l'évaluation au niveau régional et local.

3/ Les comités de bassin et de sous-bassin

Les comités de bassin ou de sous-bassin ont pour mission de garantir une gestion concertée des ressources à l'échelle du bassin et du sous-bassin. À cet effet, ils peuvent :

- formuler des propositions relatives à la gestion des ressources du bassin, du sous-bassin hydrographique ou des systèmes aquifères ;
- proposer la révision du plan d'aménagement et de gestion des eaux des bassins et sous bassins hydrographiques ou des systèmes aquifères.

Il faut noter la confirmation de la création du Bassin du Niger supérieur par l'arrêté interministériel n°02-1878/MMEE/MATCL-SG du 4 septembre 2002. En application du Code de l'Eau, l'arrêté interministériel n° 02-2578/MME-MAEP-ME-SG du 30 décembre 2002 fixe les attributions, la composition et les modalités de fonctionnement de la commission « Gestion des Eaux » de la retenue de Sélingué. Cet arrêté remet donc en selle les attributions du comité technique de coordination et de gestion des eaux de Sélingué qui a surtout fonctionné durant les années de sécheresse (1982 à 1990).

La mise en œuvre du Code de l'Eau nécessite la préparation des décrets d'application nécessaires à sa mise en vigueur ainsi que la création des institutions nécessaires. Des avancées en termes de textes d'application ont été effectuées concernant les modalités de gestion du fond de l'eau, la composition, l'organisation et les modalités de fonctionnement du conseil national de l'eau, des conseils régionaux et locaux de l'eau et les conditions d'obtention des autorisations et des concessions. Cependant, il reste beaucoup à faire à propos notamment pour les comités de bassin, le seuil des prélèvements d'eaux, les mesures de prévention de la pollution, les conditions d'élaboration et de mise en œuvre du plan de prévision et d'annonce des crues et de prévention des inondations.

4/ L'Agence du Bassin du Fleuve Niger, ou ABFN

Le Mali a procédé à la création de l'Agence du Bassin du Fleuve Niger ou ABFN (ordonnance n° 02-049/P-RM du 29 mars 2002) qui a pour mission la sauvegarde du fleuve Niger, de ses affluents et de leurs bassins versants sur le territoire de la République du Mali et la gestion intégrée de ses ressources. Le décret n° 02-289/P-RM du 30 mai 2002 fixe l'organisation et les modalités de fonctionnement de l'Agence du Bassin du Fleuve Niger. Placée sous la tutelle du ministère de l'environnement, l'ABFN a, pour organes d'administration et de gestion, un conseil d'administration et une direction générale.

L'ABFN, lors de la première réunion de son conseil d'administration tenue le 17 février 2003, a adopté un programme de travail comprenant la mise en œuvre du dispositif institutionnel, la mise en place de l'observatoire, la mise en place des autres fonctions techniques, la préparation de la politique des redevances, l'étude et la mise en place des antennes régionales, l'étude et la mise en place du comité de bassin et les relations extérieures.

Les impacts des options actuelles et en projet

Le secteur de la gestion des ressources en eau au Mali est donc caractérisé par une politique sectorielle dont le résultat est la multiplicité des acteurs et la fragmentation des activités. En conséquence, il existe dans le secteur un très grand nombre d'institutions (d'où la dispersion des efforts) avec des résultats mitigés tant dans la gestion des ressources en eau que dans la réalisation des ouvrages et des aménagements.

Malgré les programmes mis en place, la stratégie n'a pas toujours été orientée vers une gestion intégrée des ressources en eau, de sorte que l'on assiste, d'une part, à une aggravation des conflits d'intérêts entre les différents utilisateurs de l'eau et, d'autre part, à des menaces sérieuses sur les disponibilités de l'eau tant au niveau des nappes souterraines que des ressources superficielles (sans oublier les dégâts dus aux pollutions humaines et naturelles, faute d'entretien).

La situation ainsi décrite met en évidence la nécessité institutionnelle de mettre en place des structures adéquates en vue d'une planification efficace et d'une gestion concertée des ressources en eau. L'absence de réformes dans le secteur aura pour conséquence l'aggravation des conflits, la poursuite d'une gestion sectorielle et une hypothèque certaine d'une partie importante du patrimoine national pour les générations futures.

On constate ainsi une utilisation sans concertation des ressources en eau du fleuve et de ses affluents par divers acteurs du développement ; s'y ajoute le manque de synergie entre les différentes institutions responsables de la protection et de la gestion des ressources au niveau du pays. Il y a donc une insuffisance de coordination et de coopération dans la gestion des ressources des bassins fluviaux au Mali.

On a relevé également des chevauchements de compétence, une pléthore de lois et de règlements qui, la plupart du temps, entraînent des duplications d'efforts et de ressources, voire des conflits. De nombreux textes législatifs et réglementaires

existent, mais ils sont parfois incohérents ou même contradictoires dans certaines dispositions et leur mise en œuvre pose problèmes.

Suggestions

Relecture des textes juridiques

Il conviendra donc d'examiner les textes juridiques en vue de :

- clarifier certaines dispositions pour mettre en cohérence les différents textes législatifs et pour permettre une meilleure synergie entre les intervenants ;
- déterminer les limites et les compétences de l'ABFN par rapport aux statuts des services techniques, notamment de la Direction Nationale de l'Hydraulique et de la Direction Nationale de l'Assainissement et du Contrôle des Pollutions et des Nuisances, sur l'application du Code de l'Eau concernant notamment les comités de bassins, les redevances sur les préleveurs et les pollueurs d'eau.

Vis-à-vis des problèmes de crues

Prévention et gestion des risques d'inondation

Cette fonction devra d'abord contribuer à améliorer le système actuel de prévision et d'annonce de crues. Au titre de la prévention des risques, l'accent sera mis sur l'entretien des berges et du lit des cours d'eau, sur la préparation de plan d'exposition aux risques et sur la préservation du capital sol et des écosystèmes (soutien d'étiage). En outre, il sera procédé à l'organisation efficace de secours d'urgence en cas de crise pour manifester concrètement la solidarité entre les acteurs du fleuve. Les modèles de fonctionnement hydrologique du fleuve et les systèmes d'information géographique trouveront là un usage bien justifié.

Vis-à-vis des problèmes à l'étiage

Les cadres de concertation des acteurs que sont les comités de bassin doivent fonctionner afin d'harmoniser les programmes d'activité, promouvoir la gestion coordonnée des grands ouvrages hydrauliques et faciliter la médiation dans les conflits entre les usagers.

En plus des aspects mentionnés dans le point précédent, une stratégie de mitigation des effets de la sécheresse devra être mise en place. Aussi, la définition de scénarios alternatifs d'utilisation des ressources en eau apparaît comme un impératif. Cette définition doit se faire en concertation avec tous les usagers (préparée par les comités de bassin) sous la facilitation des ministères en charge de l'eau, de l'agriculture et de l'environnement. Les modèles de fonctionnement hydrologique du fleuve et les systèmes d'information géographique pourront aussi révéler une efficacité certaine dans ces prises de décision.

Vis-à-vis des autres problèmes

Observatoire des ressources naturelles et socioéconomiques du bassin

Il faudra s'investir pour centraliser et disséminer les informations nécessaires à une gestion durable. Cette fonction consistera à appuyer les efforts en cours des

institutions spécialisées de suivi et de recherche et à encourager les études portant sur les ressources naturelles en général et celles en eau en particulier.

Information et formation des acteurs

Un programme de formation continue visant à l'amélioration des compétences des professionnels de l'eau et de l'environnement devra être développé. Aussi, un programme d'information, d'éducation et de communication touchant l'ensemble des acteurs devra être mis en œuvre à l'intention des usagers des ressources en eau.

Cadre de préparation de la stratégie financière du bassin

L'État, à travers une institution nationale (l'Agence nationale du fleuve Niger ou le ministère en charge de l'eau), devra étudier les mécanismes financiers de mobilisation de ressources internes dédiées au développement de la connaissance et de la gestion des ressources en eau à partir de l'application progressive des principes préleveur/payeur et pollueur/payeur. Cependant, à court et moyen terme, l'État et les partenaires au développement devront avancer les moyens financiers nécessaires à la mise en place et au fonctionnement de l'Agence.

Les autres considérations suivantes doivent être prises en compte pour une meilleure gestion des ressources du fleuve Niger :

- l'évaluation des ressources en eau doit reposer sur un système de collecte et de traitement efficace faisant appel aux techniques modernes de mesure, de transmission, de stockage, de représentation, de modélisation et de diffusion des informations ;
- la prévention des inondations doit faire appel à la mise en place de dispositifs d'alerte précoce et au traitement des bassins versants par des mesures anti-érosives et de reforestation ;
- la planification des eaux et l'aménagement du territoire doivent être étroitement coordonnés ; les adéquations entre ressources et besoins en eau doivent être recherchées à l'échelle des bassins versants et des grands systèmes aquifères ;
- l'impact des projets hydrauliques devra être appréhendé puis contrôlé avec la mise en place d'indicateurs d'impact régulièrement suivis ;
- la maîtrise des écoulements de surface et le renforcement des nappes phréatiques par l'infiltration doivent être menés à l'échelle des bassins ;
- la protection qualitative des ressources en eau doit principalement reposer sur des mesures préventives et incitatives ;
- la prévention des maladies hydriques s'appuiera sur l'éducation sanitaire et sur la promotion de technologies.

Instruments pour la mise en œuvre des options : description des outils et des données utilisées

Une meilleure gestion des ressources en eau suppose, entre autres mesures, de :

- contribuer à améliorer le système actuel de suivi hydrologique au niveau national par la modernisation de ses équipements de collecte, de traitement et d'analyse des données ;
- réglementer les prélèvements en crue et prévoir des lâchers minimaux de soutien d'étiage en les associant notamment aux autorisations ou aux concessions d'ouvrages ;
- gérer de façon concertée les retenues d'eau existantes ;
- poursuivre la maîtrise de l'eau au moyen d'ouvrages hydrauliques adéquats pouvant fonctionner aussi bien en période de sécheresse qu'en cas d'inondations.

Dispositif de régulation : capteurs, commandes d'ouvrages

Le suivi et l'évaluation (qualitative et quantitative) du potentiel hydraulique disponible du fleuve Niger est effectué par la Direction Nationale de l'Hydraulique.

Pour les eaux de surface, ce suivi est effectué par la lecture d'échelles limnimétriques (permettant de mesurer la variation de la hauteur d'eau), les plates-formes de collecte de données par satellite (PCD) et les équipes de terrain (jaugeage de crues et de décrues). Pour les eaux souterraines, ce suivi est effectué par l'inventaire des points d'eau (puits et forages) avec leurs caractéristiques, les mesures périodiques de niveau d'eau dans les piézomètres installés et les limnigraphes (appareils mesurant de façon automatique la hauteur d'eau) installés sur certains forages.

Le suivi de la qualité des eaux consiste en des analyses physico-chimiques, bactériologiques et de sédimentologie sur les échantillons prélevés dans les eaux de consommation et dans les eaux de surface. Le suivi est régulièrement mené sur le réseau d'adduction d'eau de Bamako et de Kati. Toutes les autres analyses sont effectuées ponctuellement et sur demande.

Les résultats du suivi font l'objet de traitement avec les étapes suivantes :

- le dépouillement et la saisie sur support informatique sous forme de fichiers ;
- l'analyse des données grâce aux programmes informatiques conçus à cet effet ;
- l'édition des données sous forme de documents mis à la disposition des utilisateurs et des décideurs (annuaires hydrologiques, notes sur la crue, bulletins hydrologiques, annuaires des puits et de forages, répertoire de mesures piézométriques, graphiques de fluctuations piézométriques, etc.).

Les réseaux hydrométriques (68 stations de surveillance des eaux de surface) et piézométriques (60 sites de surveillance des eaux souterraines) souffrent de manque de

moyens de fonctionnement. Le réseau de suivi de la qualité de l'eau est embryonnaire (20 sites de suivi sur le haut Niger et 11 sur le delta intérieur).

Toutes les stations disposent d'une batterie d'échelles limnimétriques comme équipement de base. Vingt-quatre stations sont équipées de plates-formes de télétransmission (PCD comprenant un limnigraphe à pression pour les stations du bassin Niger installées par le Projet Hydroniger. Actuellement, à cause de leur vétusté, la plupart des plates-formes à télétransmission ne fonctionne plus correctement.

Le projet Gestion hydroécologique du Niger supérieur (Ghenis) a installé en juin et juillet 2001 sur le cours principal et ses affluents huit stations automatiques Météosat dont 6 ont été placées dans les anciens sites du projet Hydroniger. Ces stations permettent de mesurer, en plus du niveau d'eau, les matières solides dissoutes (conductivité) ou en suspension (turbidité), l'oxygène dissous et la température de l'eau.

Les autres instruments scientifiques sont insuffisants : équipements de mesure de débit, équipements spécialisés de laboratoire pour l'analyse de la pollution (métaux lourds et polluants organiques). Le modèle mathématique du fleuve Niger élaboré sous les auspices de l'Agence de Bassin du Niger n'est pas disponible au niveau national.

Bien qu'ayant une densité plus faible par rapport aux normes internationales, le réseau hydrométrique installé sur les grands fleuves est assez suffisant pour faire une évaluation quantitative des écoulements au niveau des grands bassins.

Par contre, les petits bassins versants ne sont pas équipés dans le cadre du réseau national. Il est indispensable de développer le suivi régulier des petits cours d'eau, des lacs et des bas fonds qui sont les plus concernés par les aménagements hydroagricoles en mettant plus de moyens financiers et logistiques à la disposition de la DNH.

La densité du réseau hydrométrique (nombre de stations/10 000 km^2) sur l'ensemble des zones du territoire où se produisent des écoulements est faible par rapport aux normes OMM/UNESCO pour la zone aride non sédimentaire (stations de niveau : 1,4 contre 2,4 ; stations de débit fluvial : 0,76 contre 2 ; stations de débit solide : 0,01 contre 0,4), les données de niveaux d'eau de toutes les stations du réseau étant fournies avec plus ou moins de lacunes selon les stations, les débits concernant 50 % des stations du réseau.

La qualité des données change selon les périodes en fonction des moyens mis à la disposition des brigades hydrologiques des directions régionales. Plus le suivi est intense (réfection fréquente des stations, paiement régulier des observateurs, mesures fréquentes des débits) plus les données sont de bonne qualité.

Ces carences du suivi de la ressource sont reconnues comme étant un des principaux obstacles à une saine gestion de l'eau.

La gestion rationnelle des ressources en eau et la planification de leur exploitation passe impérativement par une amélioration constante de la connaissance de cette ressource, tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

Le suivi continu de l'évolution des ressources en eau en fonction des entrées et des sorties naturelles ou provoquées constitue une obligation fondamentale et une responsabilité formelle de l'État. À cet effet, les réseaux de surveillance doivent être améliorés par la mise en œuvre des mesures suivantes :

- l'adoption du système de gestion par zones géographiques ;
- l'optimisation du nombre, de la répartition spatiale et du coût d'entretien des réseaux d'observation hydrologique, hydrogéologique, météorologique et de la qualité des eaux ;
- la décentralisation du suivi et de l'exploitation des réseaux d'observation des ressources en eau ;
- le renforcement des capacités des services chargés de l'inventaire des ressources en eau.

Dans ce but, les actions suivantes seront progressivement mises en œuvre :

- le traitement plus efficace des données, la conduite d'études pour une bonne connaissance quantitative, qualitative et spatiale des ressources en eau afin de pouvoir les mobiliser et les exploiter de façon efficiente ;
- l'élaboration d'un système permettant de définir des objectifs et de comparer la situation par rapport à ces objectifs à l'aide de mesures régulières et d'études menées sur la ressource ;
- la mise en place d'outils d'aide à la décision, tels que des modèles intégrés des ressources naturelles et des activités socio-économiques, permettant de :

    1. mieux définir les scénarios de développement ;
    2. mieux évaluer et concilier les besoins, les ressources et les contraintes de gestion ;
    3. mieux planifier la construction et la gestion des ouvrages et des aménagements hydrauliques ou les actions de gestion de la qualité des eaux ;
    4. pérenniser l'utilisation de l'outil informatique (SIG) pour la planification des ressources en eau (en synergie avec l'aménagement du territoire) ;
    5. réaliser la délimitation d'unités de gestion des eaux ;
    6. et définir les ressources à allouer aux différents secteurs utilisateurs.

Petits modèles prévisionnels de type opérationnel

Estimation par bilan hydrologique

Le débit d'apport journalier de la retenue de Sélingué a été estimé par bilan hydrologique à partir de l'équation (Soumaguel, 1995) :

$$Qa = Qs+Qst+Qe+Qi$$

Qa = débit journalier entrant dans le barrage en $m^3.s^{-1}$ par le bassin versant ;

Qs = débit journalier sortant du barrage en $m^3.s^{-1}$ pris égal au débit journalier observé à la station de Sélingué aval ;

Qst = débit journalier stocké dans le barrage en $m^3.s^{-1}$ = $\Delta V/\Delta T$;

ΔV = différence entre les volumes du jour (j) et (j-1) en mètres cubes (m^3), le volume étant déterminé par la courbe hauteur/volume à partir du niveau moyen journalier amont relevé ;

ΔT = un jour exprimé en secondes (s) ;

Qe = débit journalier évaporé ($m^3.s^{-1}$) estimé à partir d'un abaque ;

Qi = débit journalier prélevé dans la retenue pour l'irrigation (données relevées au niveau du périmètre).

Au pas de temps journalier, le calcul des apports naturels à Sélingué par cette méthode n'est pas suffisamment précis. Il conduit d'ailleurs très souvent à des valeurs négatives en basses et moyennes eaux qui montrent la nécessité d'un lissage. Les sources d'erreur proviennent essentiellement de l'estimation de la surface et du volume stocké dans la retenue à partir d'un seul relevé d'échelle dont la lecture au cm près est très délicate et encore plus hasardeuse en période de vent.

Par contre, au pas de temps mensuel, l'erreur relative sur le terme « variation du volume de la retenue » devient beaucoup plus faible et la méthode, malgré les insuffisances décrites ci-dessus, donne des résultats cohérents et très acceptables.

Le modèle « PROPAG »

Propag est un logiciel développé par l'Orstom (Lamagat *et al.*, 1993). Il s'agit d'un modèle basé sur l'analyse des temps de propagation des ondes de crues entre deux sections d'un cours d'eau qui permet la reconstitution ou l'extension des données hydrométriques sur les grands fleuves.

Les biefs peuvent avoir une longueur et une forme quelconque. Il convient cependant, pour que la modélisation soit correcte, que les paramètres physiques qui régissent l'écoulement dans ce bief aient des valeurs constantes ou quasi-constantes.

Lorsqu'il n'y a pas d'apports relativement importants autres que les précipitations, l'analyse est menée à partir d'échantillons de hauteurs d'eau à la station amont et à la station aval. Par contre, si les apports sont conséquents, l'analyse ne peut être menée que sur les débits. Cette analyse est effectuée par un logiciel qui opère sur la base de données et qui fournit en sortie deux fichiers :

- le fichier des temps de propagation en fonction de la cote H ou du débit Q à la station amont ;
- le fichier de correspondance en régime permanent des variables amont (H ou Q) et des variables aval.

Ces deux fichiers régissent la fonction de transfert des entrées vers les sorties en supposant que les éventuels apports intermédiaires des échantillons analysés sont représentatifs du régime hydrologique.

Lorsqu'il n'y a quasiment pas d'apports sur le bief et que les pertes par évaporation ne sont fonction que de la surface et donc de la cote du plan d'eau, la fonction de transfert, aux mesures d'observations près, fournit un excellent transfert de l'onde de crue entre les stations amont et aval, quelle que soit la valeur de la variable d'entrée.

Ce modèle a été mis au point au cours d'études entreprises par l'ORSTOM sur le delta du Niger à la fin des années 1970, puis développé en association avec l'Université de l'État du Colorado et, ensuite, avec l'Université de Stanford en Californie. Il a été utilisé avec efficacité sur plusieurs grands fleuves (Niger, Sénégal, Gambie, Nil, Mississipi).

Ce modèle a été utilisé aussi pour reconstituer les données manquantes de hauteurs journalières à Sélingué à partir des hauteurs observées à Mandiana (Guinée) dans le cadre de la mise à jour de l'hydrologie pour la réhabilitation du barrage de Sélingué réalisée en mars 1996 par le GIE Orstom-EDF.

Pour le Sankarani, le calage du modèle a été réalisé entre hauteurs, à Sélingué et à Mandiana, à l'aide des échantillons de hauteurs moyennes observées aux deux stations durant la période 1968-72. L'extension des hauteurs moyennes journalières ayant été réalisée à Sélingué, on dispose d'une période étendue de 1954 à 1988.

La régression linéaire multiple

On sait que le maximum de crue naturelle à Koulikoro est fonction de la pointe de crue du Sankarani à Sélingué et de celle du Niger à Banankoro mais aussi du temps de propagation jusqu'à Koulikoro.

Pour se faire une bonne idée sur cette influence sur les crues, Soumaguel (1995) a tenté une reconstitution de l'hydrogramme de crue en aval qui aurait dû être observé si le barrage de Sélingué n'existait pas. Les résultats de ce travail ont ensuite été utilisés pour faire une analyse comparative entre les valeurs naturelles reconstituées et les débits observés.

À Koulikoro, la régression des débits naturels a été effectuée avec ceux de Sélingué et Banankoro avec un retard de deux jours. C'est-à-dire que le débit au jour (j) à Koulikoro Q_{Kj} était lié au débit de Banankoro au jour (j-2) $Q_{B_{j-2}}$ et à celui de Sélingué au jour (j-2) $Q_{S_{j-2}}$. Cette relation est exprimée par l'équation ci-après :

$$Q_{K_j} = aQ_{B_{j-2}} + bQ_{S_{j-2}} + c$$

dans laquelle a, b, c sont des paramètres à déterminer. Pour leur estimation, nous avons tenté une régression multiple entre les trois termes variables de l'équation : il s'agit de Q_{K_j}, de $Q_{B_{j-2}}$ et de$Q_{S_{j-2}}$. Le calage est fait sur 9 ans, de 1971 à 1979, à partir des

débits moyens journaliers de juillet à décembre. La régression a donné, avec un coefficient de corrélation $r = 0.9995$, les valeurs suivantes $a = 0.948$, $b = 1.171$ et $c = 17.94$.

En définitive, nous avons trouvé l'équation suivante :

$$Q_{K_j} = 0.948 \times Q_{B_{j-2}} + 1.171 \times Q_{S_{j-2}} + 17.94$$

La moyenne des valeurs algébriques des écarts entre le débit calculé et le débit observé est de 0,40 % et celle des valeurs absolues donne 2,26 %.

Les hydrogrammes moyens (1971-79) de crue observés et calculés sont comparés sur la figure 34 :

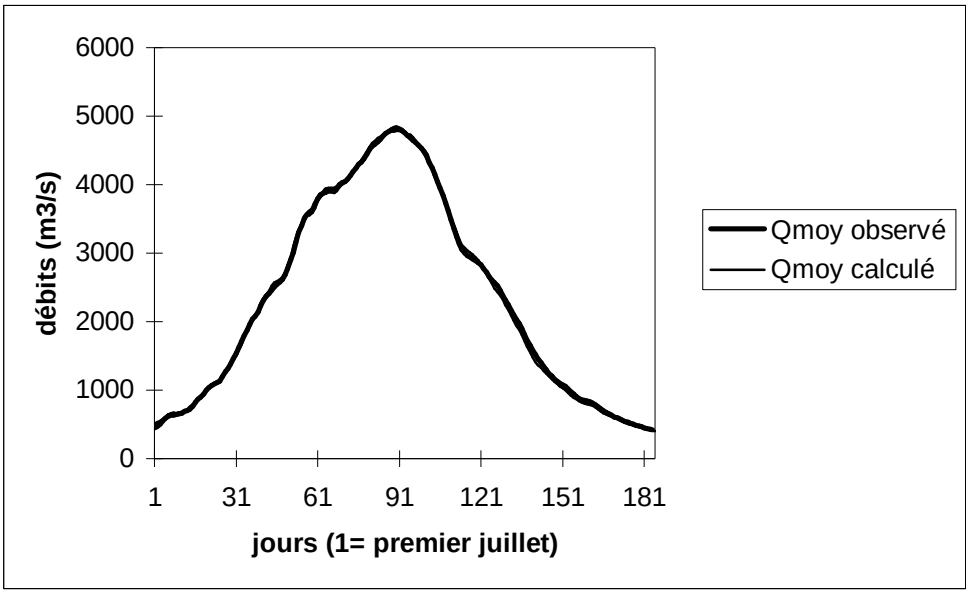


Figure 34 - Hydrogrammes comparés du Niger à Koulikoro (moyenne 1971-79)

Le modèle calibré a été ensuite testé sur les années 1968, 1969, 1970 et 1980.

La comparaison entre les valeurs numériques calculées et observées permet de conclure que le modèle, ainsi calé et vérifié, donne de bons résultats d'une façon générale. Cependant, on remarquera que les maxima des années très humides sont sous-estimés, par exemple ceux des années 1970 et 1968.

 © IRD éditions, 2007

CHAPITRE 2

Variables et régulation de l'eau

Jean-François BÉLIÈRES,
Mamadou Kabirou N'DIAYE, Hamady N'DJIM,

Une fois le choix fait d'une utilisation agricole de l'eau (aménagement hydroagricole), quelles sont les principales variables à prendre en considération pour s'assurer d'un fonctionnement durable de l'aménagement qui profite au plus grand nombre et qui valorise au mieux les ressources mobilisées ?

Les variables sont de deux types : techniques et socio-économiques. Mais il faut, au préalable, évoquer les raisons qui prévalent au choix de l'option du développement de l'irrigation.

Objectifs de développement au Mali et aménagements hydroagricoles

L'objectif de développement au Mali est de faire reculer la pauvreté en améliorant les conditions de vie de la population. Pour atteindre cet objectif, le gouvernement a placé la maîtrise de l'eau au centre de ses priorités de développement agricole et cela, pour de nombreuses raisons dont les deux principales sont les fortes potentialités existantes et les nombreuses contraintes de l'agriculture pluviale dans la zone sahélienne.

Les analyses démographiques indiquent une augmentation importante de la population dans les 20 prochaines années (CSLP, 2002). L'évolution de la population, au-delà de l'augmentation du nombre, se traduira par un changement important de structure dû à l'urbanisation. La population des villes ne représente actuellement que 26,6 % de la population totale ; dans 30 ans, elle en représentera 46,7 %, ce qui veut dire que la moitié de la population vivant en zone rurale devra produire pour se nourrir elle-même et pour nourrir l'autre moitié.

Alors que les besoins vont croissant, les aléas climatiques réduisent la productivité de l'agriculture pluviale et, en particulier, la productivité céréalière. La part du riz – produit en grande partie dans les systèmes irrigués – progresse dans l'offre nationale en céréales comme l'indique la figure 1. Le développement de la production rizicole est une des stratégies pour faire face aux besoins alimentaires croissants.

L'économie du Mali repose essentiellement sur le secteur rural et les progrès enregistrés dans ce secteur ont été importants depuis la dévaluation. Ainsi, durant la période 1994-98, le secteur a contribué en moyenne pour 45 % au PIB entre 1994 et 1998 avec un taux de croissance moyen de 3,6 % par an (Kébé *et al.*, 2003). Cette augmentation était due essentiellement :

- aux céréales (et plus particulièrement au riz). La production de céréales sèches a dépassé les 2 millions de tonnes en 1999 et le riz paddy a dépassé les 900 000 t en 2001-02 (figure 1) ;
- à la production de coton qui a plus que doublé depuis 1994 pour atteindre environ 625 000 t en 2003 ;
- et aux produits d'élevage dont l'activité a fortement bénéficié du regain de compétitivité sur les marchés des pays côtiers suite à la dévaluation du Franc CFA et de la reconstitution du cheptel après les années de sècheresse.

Entre 1994 et 1998, la contribution globale des cultures vivrières à la valeur ajoutée du secteur agricole a été, en moyenne, de 52 % et le seul taux de croissance du riz a atteint 12,7 % en moyenne. Le coton a eu, quant à lui, un impact de 1,1 % sur la croissance du secteur avec une contribution à la valeur ajoutée agricole d'environ 30 % et un taux de croissance moyen de 9 %. Par contre, les autres sous-secteurs ont eu un impact relativement faible. Bien que les produits forestiers aient enregistré un taux de croissance de 3,5 %, proche de la croissance du secteur, leur contribution à la valeur ajoutée du secteur a été de 8,5 %, soit 2 fois celle de l'élevage.

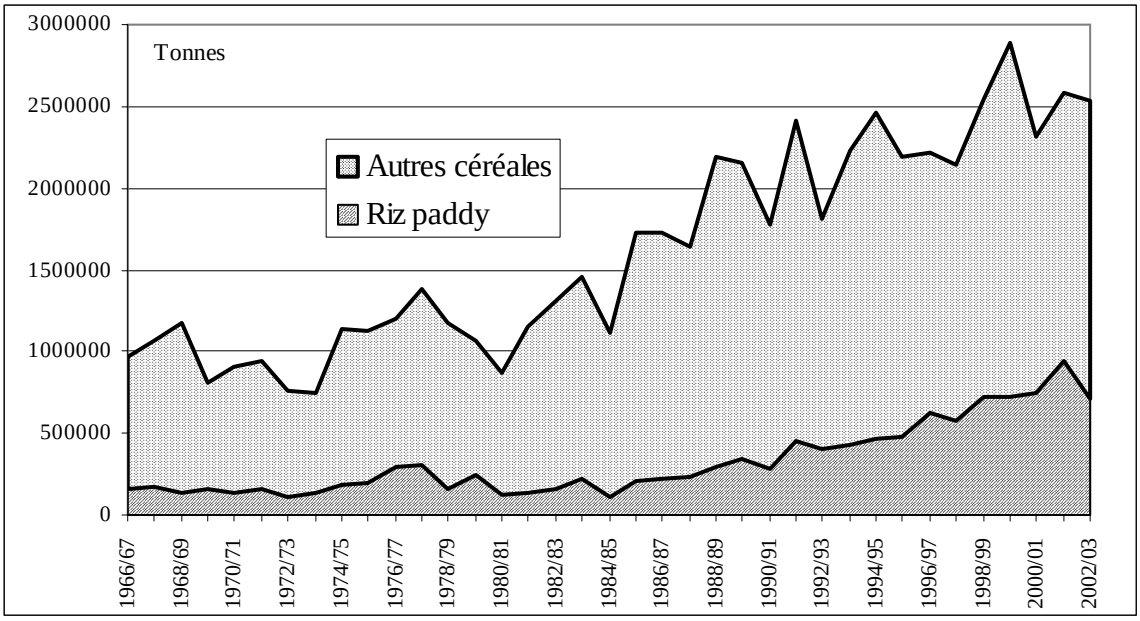


Figure 1 - Évolution de la production céréalière et du paddy au Mali

Les résultats de l'année 2001 montrent bien cette forte dépendance aux aléas climatiques et aux prix sur le marché mondial. Les conditions climatiques ont été particulièrement défavorables durant la campagne 2000/01, entraînant une baisse de la production céréalière de l'ordre de 20 %. À l'exception du riz dont la production a augmenté de 2 %, toutes les autres céréales ont connu des baisses importantes (jusqu'à 65 % en ce qui concerne le maïs). Cette contre-performance de l'agriculture vivrière s'est accompagnée d'un effondrement de la production du secteur cotonnier aux prises à la chute continue du prix du coton sur les marchés internationaux depuis 1995 et à d'importants problèmes d'ordre structurel. Heureusement, cette année-là, l'ouverture de nouvelles mines d'or a permis d'éviter une chute trop forte de la croissance qui a été de l'ordre de 1,5 % .

L'agriculture, l'élevage, la pêche et l'exploitation forestière occupent près de 80 % de la population active. Tout cela démontre surtout le rôle primordial que joue le secteur rural dans l'économie du Mali. Toutefois, cette production qui est largement autoconsommée évolue en dent de scie car elle est fortement dépendante des aléas climatiques et de l'application généralisée des techniques extensives de production.

Pour arriver à son objectif de satisfaire les besoins de la population et d'assurer un développement durable, le Mali a mis la maîtrise de l'eau comme une priorité dans sa stratégie de développement : pour cela, une stratégie de développement de l'irrigation a été développée à partir des potentialités existantes (MDRE, 1999).

La mise en œuvre de cette stratégie s'est traduite par un programme de développement des infrastructures hydroagricoles de 50 000 hectares supplémentaires en maîtrise totale et de 14 000 ha dans les autres systèmes (bas-fonds et submersion) d'ici 2007. L'objectif est d'augmenter les terres sous irrigation à l'Office du Niger de 120 000 ha dans 20 ans ; ce qui amènera les terres irriguées de cette zone à 200 000 ha.

Caractérisation et répartition des aménagements hydroagricoles et des cultures en systèmes irrigués

Description physique du système d'irrigation

Au Mali, l'irrigation est une pratique agricole très ancienne. Des recherches archéologiques ont montré que, depuis la nuit des temps, le paysan cherchait à conduire l'eau pour produire du riz dans les plaines de la vallée du fleuve Niger. C'était alors la pratique de la submersion naturelle. Le trait marquant de l'irrigation au Mali est son extrême concentration dans la vallée du fleuve Niger et au bord du fleuve Sénégal à cause de la grande disponible des terres inondables et rizicultivables.

Au plan des aménagements hydrauliques, trois barrages existent sur le fleuve Niger et ses affluents au Mali :

- le barrage de Markala, à 280 km à l'aval de Bamako, qui permet d'alimenter le réseau hydraulique de l'Office du Niger ;
- le barrage des Aigrettes à Sotuba (Bamako) qui alimente une petite centrale hydroélectrique et le périmètre irrigué de Baguinéda ;
- et le barrage de Sélingué, construit sur un affluent du Niger, le Sankarani, à 140 km au sud-est de Bamako, qui alimente une centrale hydroélectrique et qui permet la régulation du débit d'étiage et l'irrigation du périmètre irrigué aval de 1 000 ha.

D'autres aménagements sont en projet de construction (seuils et barrage) sur les affluents et sur le Niger :

- le seuil de Talo sur le Bani, principal affluent du Niger, prévu pour permettre la mise en valeur d'environ 20 000 ha de polyculture dont, principalement, du riz en submersion contrôlée dans les cercles de San et de Bla. Financé par la Banque Africaine de Développement, ce projet se heurte depuis quelques années à la réticence des populations situées en aval relativement aux risques et aux impacts sur leur sécurité de production ;
- le seuil de Djenné sur le Bani, pour l'équipement de quelques 80 000 ha de polders du Pondori destinés à la riziculture et à l'élevage dans le cercle de Djenné (Mopti) ;
- le barrage de Tossaye, prévu à 280 km en aval de Tombouctou au droit de Bourem, dans la région de Gao. Son étude de faisabilité a révélé la possibilité d'alimenter une usine hydroélectrique et de développer l'irrigation sur quelques 70 à 80 000 ha.

Dans le cadre du programme sous-régional de l'OMVS, le barrage de Manantali a été érigé sur le Bafing, principal bras du fleuve Sénégal, pour la régularisation de son cours en vue de la production d'électricité, du développement de l'agriculture irriguée et de la navigation de Kayes à Saint-Louis.

L'irrigation au Mali est principalement de surface et existe sous trois formes :

- la submersion naturelle, de loin la plus répandue : elle est pratiquée en crue pour le riz et en décrue pour les autres céréales (sorgho, mil, maïs, etc.) et le maraîchage (gombo, patate, haricot/niébé, etc.) ;
- l'irrigation de submersion contrôlée qui est une amélioration du système traditionnel avec la réalisation de digues de protection contre les crues, d'ouvrages d'admission et de vidange équipés de grilles contre les poissons rhizophages et de canaux de conduite de l'eau. Ce type d'aménagement s'était bien établi et développé dans les années 1970, mais il s'est avéré inadapté avec la baisse prononcée des crues annuelles depuis les années 1980 à nos jours ;
- l'irrigation en maîtrise totale de l'eau qui est généralement pratiquée dans la zone de l'Office du Niger et dans le cadre des PI (périmètres irrigués) avec pompage.

Au Mali, on distingue plusieurs types d'aménagement hydroagricole en fonction des caractéristiques suivantes :

- l'origine de l'eau ;
- le niveau de maîtrise de l'eau ;
- le degré d'intensification ;
- les spéculations pratiquées.

C'est ainsi que l'on distingue les types d'aménagements liés directement au fleuve :

- la submersion naturelle ;
- la submersion contrôlée ;
- l'irrigation gravitaire en maîtrise totale de l'eau ;
- l'irrigation en maîtrise totale de l'eau par pompage.

Et ceux dont l'exploitation irriguée n'est pas liée au fleuve :

- l'irrigation en aménagement des bas-fonds ;
- les micro-barrages ;
- les digues de retenue.

On classe également les périmètres irrigués par leur taille :

- les grands aménagements (ON, SUKALA, OPIB, ODRS) ;
- les périmètres moyens (Daye/Hondobomo, Hamadja) ;
- les PPIV (Petits périmètres irrigués villageois : riz, blé, maraîchage).
-

Irrigation liée au fleuve

La submersion naturelle

Ce système est le plus ancien et il est largement le plus répandu avec près de 60 % des superficies inondables. Il consiste à cultiver le riz dans les plaines riveraines inondables par les crues du Niger et du Bani. La hauteur et le rythme d'inondation sont fonction de la crue et de la topographie du terrain.

Les zones concernées au Mali sont : le delta intérieur du Niger (Mopti), des plaines dans la région de Ségou et les plaines de Tombouctou et de Gao. La riziculture est généralement exposée aux caprices de la crue, à l'attaque des poissons rhizophages, et à l'inondation précoce des plants de riz. La culture céréalière de décrue (sorgho, maïs, maraîchage) y est également pratiquée dans les grandes cuvettes inondables du nord du Mali, notamment dans la zone lacustre (mares et lacs de Faguibine, Goubo, Fati, Télé, Takadji, Oro, Danga, etc.).

La submersion contrôlée

Ce type d'aménagement a été développé dans les années 1970 pour pallier aux contraintes de la submersion naturelle (prévention contre les inondations et le retrait précoce des crues, contre les poissons rhizophages et contre les crues exceptionnellement élevées) et pour permettre un meilleur contrôle de la hauteur de l'eau dans la plaine. Il représente environ 60 % des superficies aménagées pour la riziculture.

Ces aménagements ont été réalisés sur financement public et sont gérés par des organismes publics ayant une autonomie de gestion :

- Office Riz Mopti : 34 000 ha ;
- Office Riz Ségou : 34 676 ha ;
- Tombouctou : dans les mares aménagées ;
- Gao : dans les plaines aménagées dans le cadre du projet Action Riz Sorgho.

Un aménagement de submersion contrôlé est composé :

- d'une digue de ceinture pour la protection du périmètre contre la crue ;
- d'un ouvrage d'admission d'eau pour le contrôle du remplissage et de la vidange de la plaine (contrôle de la hauteur et de la vitesse de remplissage) ;
- d'un canal principal et de canaux secondaires reliant les points bas dans le but de permettre le remplissage et la vidange de la plaine.

Bien que très apprécié lors de sa réalisation dans les années 1970, ce type d'aménagement s'est avéré insuffisant et limité face à la baisse continuelle du niveau des crues.

L'irrigation gravitaire en maîtrise totale de l'eau

Ce système d'irrigation caractérise les aménagements qui bénéficient d'un plan en amont garanti et où l'écoulement de l'eau se fait de façon gravitaire. Ce sont les

« grands » aménagements de l'Office du Niger, du périmètre de Baguinéda et de Sélingué.

Le caractère « maîtrise de l'eau » se justifie par le plan d'eau amont garanti et la maîtrise dans la conduite de l'eau vers les parcelles, le planage ou le compartimentage complétant la maîtrise de l'eau à la parcelle.

Dans cette catégorie d'aménagement, l'irrigation se fait par dérivation de l'eau à l'aide d'un barrage installé sur le cours d'eau. Les canaux sont généralement en terre.

Ce type d'aménagement en maîtrise totale, qui exige des parcelles planées pour un meilleur contrôle de la hauteur d'eau dans la parcelle, comprend :

- un réseau de canaux d'irrigation (principaux, secondaires et tertiaires) ;
- un réseau de canaux de drainage (principaux, secondaires et tertiaires) ;
- des ouvrages d'admission et de vidange ;
- un réseau de pistes et de digues pour le déplacement dans la plaine et pour maintenir le plan d'eau dans la plaine.

Bien que représentant la troisième catégorie par l'étendue des plaines (un peu moins de 100 000 ha), cette catégorie procure près de 80 % de la production nationale de riz en année moyenne.

L'irrigation en maîtrise totale de l'eau par pompage

L'irrigation par pompage s'est développée depuis le début des années 1980 avec la réduction des crues et de la pluviométrie. Conçus et mis en œuvre pour pallier à la famine en dotant les populations d'un moyen de production sécurisé, les PIV se sont vite confrontés aux réalités du terrain qui sont, entre autres :

- leur taille était trop petite pour pouvoir toucher la majorité des villages ;
- le coût d'un aménagement fiable était trop élevé ;
- ce type d'aménagement exige une gestion et une discipline rigoureuse de respect des techniques de production afin de garantir le financement du fonds de roulement, le renouvellement des équipements et pour obtenir un bon rendement.

Ce type d'aménagement se compose généralement :

- de la station de pompage constituée de l'équipement de pompage et des accessoires, de la prise d'eau et de l'abri ;
- du bassin de dissipation généralement construit en parpaing ;
- du canal principal, revêtu ou non ;
- du réseau de canaux secondaires et tertiaires, revêtus ou non ;
- des ouvrages de répartition de l'eau (modulés, équipés de vannes ou de batardeaux) ;
- du réseau de drainage (collecteur, secondaire et parcellaire).

Ici également, l'écoulement de l'eau dans les canaux se fait de façon gravitaire sous l'impulsion de la pompe.

Les zones de développement de l'irrigation rizicole par pompage sont : Mopti, Gao et Tombouctou. À Kayes, c'est l'irrigation par pompage des périmètres maraîchers qui s'est considérablement développée.

Pendant qu'à Mopti, Gao et Tombouctou se développait l'exploitation communautaire, à Kayes, l'exploitation se fait à travers l'association de professionnels et d'exploitants privés.

Dans cette catégorie d'aménagement, on distingue deux types de périmètres irrigués avec pompage selon la taille :

- les périmètres moyens : périmètres de Korioumé, Daye/Hondobomo, Hamadja (Région de Tombouctou) ;
- les petits périmètres.

La répartition des périmètres par la taille a été fixée, dans le cadre de la présente étude, comme suit :

- grand périmètre : superficie supérieure à 1 000 ha (cette catégorie n'existe pas encore par pompage au Mali) ;
- périmètre moyen : superficie de 100 à 1 000 ha ;
- petit périmètre : superficie inférieure à 100 ha.

Au Mali, ces deux dernières catégories se distinguent par :

- la taille de l'équipement de pompage et de la station de pompage en fonction du débit ;
- la vis d'Archimède (dans une grande station de pompage) ou la pompe thermique fixe ou mobile selon les cas (avec un aménagement sommaire pour la pose de l'équipement).

Irrigation non liée au fleuve

L'irrigation en aménagement de bas-fonds

Les aménagements de bas-fonds sont localisés dans le sud du pays où la pluviométrie est suffisamment élevée pour permettre un remplissage des cuvettes.

Ces aménagements sont destinés à la diversification des cultures : riz, maïs et maraîchage.

Ce système d'aménagement consiste à contrôler l'eau de surface et partiellement souterraine par la réalisation d'une digue de fermeture perpendiculaire au sens de l'écoulement. La digue (ou le barrage) est posée sur un remblai d'argile compacté dans une tranchée de profondeur variable. Un pertuis équipé d'une (ou plusieurs) vanne et placé au milieu de la digue permet le contrôle de la vidange.

Le but est de favoriser au maximum l'infiltration des eaux dans la plaine et de retarder le ruissellement et l'assèchement afin de sécuriser la production.

L'exploitation agricole pouvant se faire en amont ou en aval de l'ouvrage de retenue (digue ou barrage).

Ce type d'aménagement est réalisé dans une zone où l'activité agricole se faisait mais où elle était limitée par la non-maîtrise de l'eau.

Les micro-barrages

Ils sont généralement réalisés dans le cadre des aménagements de bas-fonds pour la régulation de l'eau pour l'agriculture, l'élevage ou la ré-alimentation de la nappe phréatique.

Ils sont de hauteur moyenne, dépassant rarement 2 m et réalisés en béton ou en maçonnerie de moellons.

Ils permettent de retenir de l'eau en amont et de ralentir l'écoulement.

À la différence de l'aménagement de bas-fonds, le micro-barrage peut être réalisé même là où le bas-fond agricole n'est pas apparent.

Les digues de retenue

Bien qu'identiques aux aménagements de bas-fonds et aux micro-barrages parce que destinées à maîtriser les eaux de surface, les digues de retenue sont réalisées dans les grandes étendues de terre où la pente est faible pour des bassins versants très importants et à faible capacité d'infiltration.

L'aménagement consiste à réaliser une digue en terre de faible hauteur perpendiculairement au sens de l'écoulement sur la base d'une courbe de niveau topographique. L'eau retenue crée une humidité suffisante pour la culture du riz pluvial.

Dans certains cas, la digue permet d'augmenter la capacité de retenue d'eau lorsqu'elle est réalisée sur des sites où le niveau de la nappe affleure le sol (oasis).

Ces types d'aménagement ont été réalisés dans la région de Kidal et de Douentza-Mopti (où d'importantes potentialités restent à exploiter).

Importance et localisation des différents systèmes d'irrigation

Dans le cadre de la réalisation d'études récentes sur les aménagements hydroagricoles (conduites par Programme national d'infrastructures rurales - PNIR), il est apparu qu'il n'existe pas d'inventaire complet proprement dit des aménagements hydroagricoles au Mali (tableaux 1 et 2).

Région	Maitrise totale	Submersion contrôlée	Superficies totales aménagées	Superficies totales exploitées
Kayes	796	301	1 097	495
Koulikoro	5 165	10 728	15 893	1 627
Sikasso	1 044	5 679	6 732	2 687
Ségou	68 118	36 679	104 797	N.D.
Mopti	1 556	35 103	36 659	17 937
Tombouctou	6 015	48 812	54 827	12 741
Gao	890	13 571	14 461	N.D.
Total	83 584	150 883	234 467	170 000 (estimation)

Source : DNGR, 1994

Tableau 1 - Superficies aménagées (en hectares) par région et par type d'aménagement (1994)

Désignation	Superficie (ha) 1998	Potentiel de production (T paddy)	Rendement (T paddy/ ha), moyenne1995-98
Par Région			
Kayes	2 100	4 686	2,23
Koulikoro	11 436	15 771	1,379
Sikasso	36 220	61 084	1,686
Ségou	86 357	272 881	3,159
Mopti	94 140	78 391	0,832
Tombouctou	30 697	61 201	1,99
Gao	13 671	7 985	0,584
TOTAL	274 621	501 999	1,82
Par saison			
Hivernage	270 383	485 457	1,79
Contre saison	4 238	16 542	3,90
Par type de système de production			
Maîtrise totale gravité	59 090	250 550	4,24
Maîtrise totale Grand pompage	11 462	44 863	3,84
Maîtrise totale Petit pompage	1 428	6 965	4,87
Submersion contrôlée	159 709	140 336	0,87
Mares et lacs aménagés	4 569	9 138	2,00
Bas fonds aménagés et riz pluvial	38 363	50 947	1,32

Source : étude FED/GFA-AGRAR, 1998

Tableau 2 - Superficies d'irrigation aménagées et exploitées

Comme indiqué précédemment, les statistiques disponibles sur les superficies aménagées au Mali selon les types d'aménagement sont rares et l'on note des divergences entre les sources. Le tableau 3, ci-dessous, présente les données du rapport de recueil de statistiques de la CPS/MDRE en 2001 et concernent l'année 1999.

Région	Maîtrise totale	Submersion contrôlée	Bas-fonds	Petits barrages	Autres	Total
Kayes	796	150	147	76	110	1 279
Koulikoro	8 875	10 181	928	0	122	20 106
Sikasso	1 044	7 847	839	3	0	9 733
Ségou	68 118	36 884	48	0	64	105 114
Mopti	1 556	52 580	0	564	1 839	56 539
Tombouctou	7 765	48 815	0	0	350	56 930
Gao	890	13 571	0	0	0	14 461
Total	89 044	170 028	1 962	643	2 485	264 162

Source : CPS, 2001a et adaptations

Tableau 3 - Superficies aménagées (en ha) par type et par région

Il est difficile de trouver une estimation fiable de la superficie irriguée. En février 2002, à un atelier sous-régional sur les programmes rizicoles, la Communication du Mali a présenté les chiffres suivants (tableau 4) tirés des rapports opérationnels de la DNAMR (Direction Nationale de l'Appui au Monde Rural) : presque sans exception, le riz est cultivé sur les superficies irriguées en hivernage (ARD, 2002).

Système d'Irrigation	Superficie (ha)	Production (T)	Rendement (kg/ha)
Maîtrise totale	75 461	363 007	4 811
Maîtrise partielle	45 202	60 801	1 345
Bas-fonds	82 319	107 865	1 310
Total	202 982	531 673	

Source : MDRE (Adama Coulibaly, citée dans ARD, 2002)

Tableau 4 - Production rizicole par systèmes d'irrigation pour 1999-2000

Un chiffre global d'environ 200 000 ha semble raisonnable. L'équipe d'experts chargée de l'étude (ARD, 2002) a obtenu les chiffres qui figurent dans le tableau 5 suivant. Des estimations fiables pour les bas-fonds aménagés dans la région de Kayes et pour la zone OHVN n'étaient pas disponibles et n'ont pas été incluses dans ce tableau. Par conséquent, le total réel est un peu plus élevé. La répartition entre maîtrise totale et bas-fonds n'est pas la même dans le tableau 5 que dans le tableau 4, probablement parce que la distinction entre les deux systèmes est souvent floue (ARD, 2002).

Système	Superficie (ha)
Maîtrise totale	
Office du Niger (casier)	54 400
Office du Niger (hors casier)	5 200
Office du Niger (Sukala)	4 000
Baguinéda	3 000
Sélingué	800
Projet VRES, Mopti	1 300
PIV Tombouctou	2 000
Projet Paccem, Diré	3 000
Total maîtrise totale	73 700
Contrôle partiel	
Office Riz Ségou	34 100
Office Riz Mopti	33 800
Projet DAD, Djenné	49 000
Total contrôle partiel	116 900
Bas-fonds	
Bas-fonds, zone CMDT	8 100
Total global	198 700

Source : ARD, 2002

Tableau 5 - Estimation de la superficie irriguée en 2002

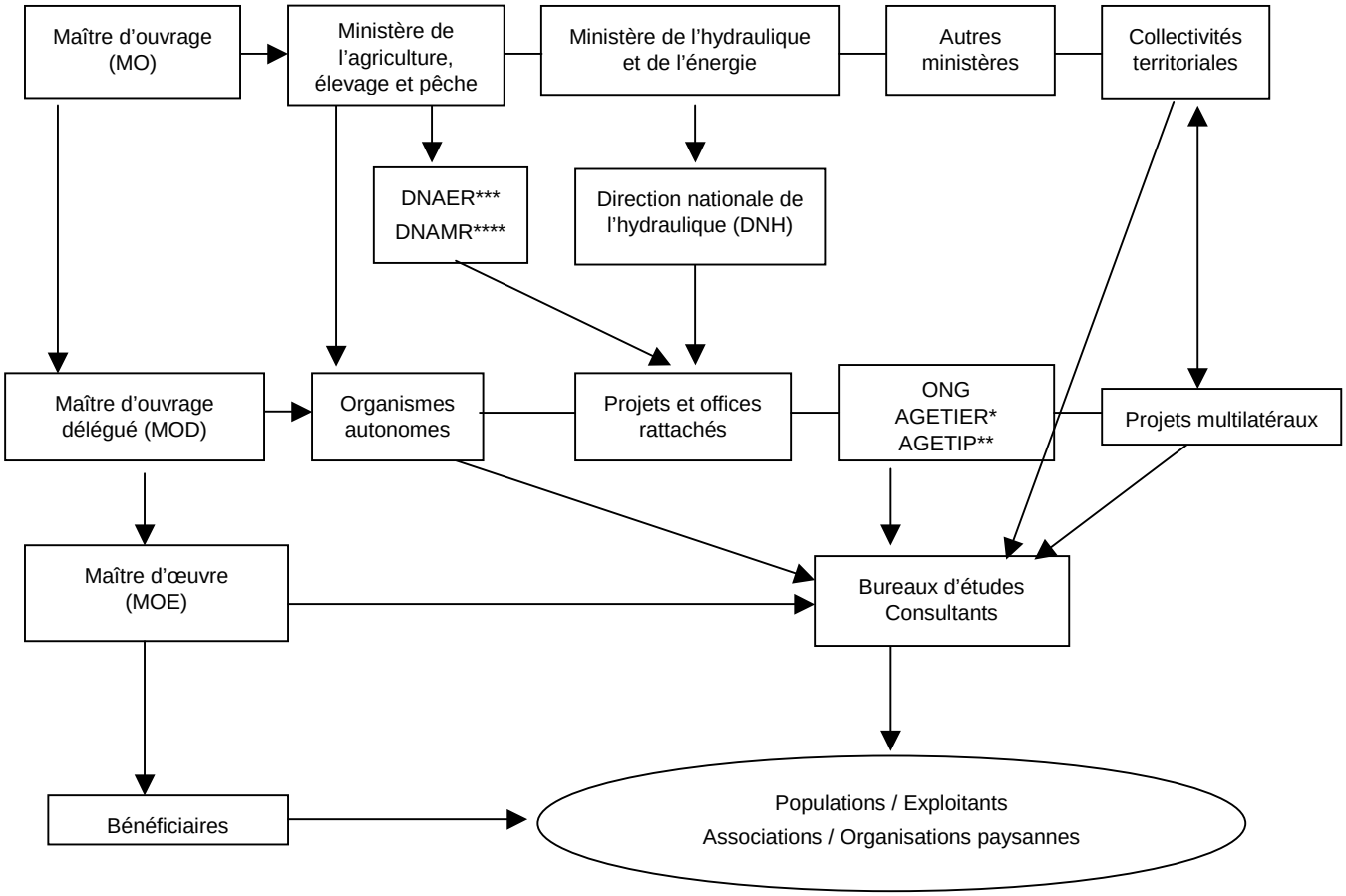
Chaque structure disposant d'un inventaire sommaire de sa zone d'intervention, certaines régions (comme Tombouctou) tentent de finaliser un inventaire exhaustif des périmètres irrigués existants dans la région. La DNAER (Direction nationale d'aménagement et de l'équipement rural) dispose d'une base de données sur les aménagements hydroagricoles au Mali, mais son utilisation reste limitée en raison de l'insuffisante coordination des interventions et de la faiblesse de la concertation et de la communication au niveau national, régional et local (voir ci-dessous).

Contexte institutionnel (figure 2)

Le développement de l'irrigation reste confronté à de multiples contraintes d'ordre institutionnel malgré la volonté politique exprimée dans ce sens à travers l'accent mis sur les axes stratégiques, à savoir :

- la sécurité alimentaire et la sécurisation de la production ;
- l'amélioration du revenu des producteurs ;
- la responsabilisation plus accrue des producteurs ;
- le soutien à l'initiative privée.

La tutelle de l'irrigation est aujourd'hui principalement assurée par le Ministère de l'Agriculture. D'autres départements ministériels sont également impliqués comme le Ministère chargé de l'Hydraulique et de l'Énergie et le Ministère de l'Environnement.



* AGETIER : Agence d'exécution des travaux d'infrastructures et d'équipements ruraux

** AGETIP : Agence pour l'Exécution de Travaux d'Intérêt Public contre le sous-emploi

*** DNAER : Direction nationale d'aménagement et de l'équipement rural

**** DNAMR : Direction nationale de l'appui au monde rural

Figure 2 - Schéma institutionnel d'intervention dans le secteur de l'irrigation

Les différents intervenants dans le secteur de l'irrigation au Mali

Dans le secteur de l'irrigation, on dénombre de nombreux intervenants aussi bien du secteur public que du secteur privé :

Secteur public et parapublic

Jusqu'à une date récente, c'était les services publics qui avaient en charge la promotion de l'irrigation, la réalisation des études, le contrôle des travaux et l'encadrement de la mise en valeur à travers les structures parapubliques suivantes :

1- Les offices :

- Office de développement rural de Sélingué ;
- Office du périmètre irrigué de Baguinéda ;
- Office Riz Ségou ;
- Office Riz Mopti.

2- Les organismes de développement :

- Office du Niger ;
- CMDT (Compagnie Malienne de Développement du Textile).

3- Les projets de développement :

- Projet Maninkoura/ODRS ;
- Projet de Développement Intégré de Manantali (PDIAM) ;
- Projet Moyen Bani ;
- Projet d'aménagement des plaines de Daye/Hondoubomo et d'Hamadja ;
- Projet de développement de la Région de Mopti ;
- PAPIV-Gao ;
- PRODECA-Ansongo/Gao.

Les ONG et le secteur privé

Avec la politique de désengagement de l'État, de nombreuses missions des structures publiques ont été transférées au secteur privé et à la société civile. C'est ainsi que les ONG et le privé interviennent comme suit (tableau 6) :

1- Le privé :

- les bureaux d'études et les consultants organisés au sein de l'OICM (Ordre des Ingénieurs Conseils du Mali) et la FENACOM (Fédération Nationale des Consultants) ;
- les entreprises de réalisation des travaux, étrangères et/ou de droit malien ;
- les fournisseurs d'équipements (groupes de motopompes, équipements hydrauliques).

2- Les ONG nationales et internationales :

- les membres du CCAONG et/ou du SECOONG.

3- Les associations civiles de professionnels :

De nombreuses tentatives ont vu le jour, sans grand succès, pour l'organisation des irrigants dans les régions de Mopti, de Tombouctou et de Gao.

Les projets bilatéraux et multilatéraux sont généralement gérés et mis en œuvre par l'organisme de financement :

- le programme Mali Nord/GTZ réalise et équipe de nombreux périmètres irrigués dans la région de Tombouctou avec la participation des populations (en investissement humain) ;
- le PACCEM, financé par la Coopération Canadienne, est un programme d'appui à la culture céréalière au Mali et, principalement, à la culture du blé à Diré (Tombouctou) : appui à l'aménagement, crédit équipement et fonds de

roulement, appui organisationnel et assistance à la commercialisation des produits auprès du principal transformateur de blé du Mali (les Grands Moulins du Mali) ;

- le projet de Valorisation des eaux de surface (VRES), financé par le FED, intervient depuis une décennie dans la région de Mopti et de Tombouctou : ce programme a permis de réaliser environ 1 400 ha de petits périmètres irrigués de taille variable (de 1 à 40 ha) ;
- le PSSA (Programme spécial de sécurité alimentaire) est financé par la FAO et mis en œuvre à travers la représentation locale de la FAO avec les entreprises privées pour la réalisation des travaux et l'implication de consultants pour les études et le contrôle. Trois périmètres ont été réalisés dans la région de Mopti : Koubi, Dakawomina et Gnimitongo.

PHASE/NIVEAU	INTERVENANTS
1. Identification/Formulation	Services publics : DNAER, DNAMR, DNH, DNCN ONG (CCAONG et SECO ONG) Associations civiles
2. Conception/Etude	Services publics : DNAER, DNH Privé : consultants et bureaux d'études
3. Réalisation des travaux	Entreprises privées (appel d'offres ou consultation restreinte) Investissement humain (participation) Mixte : Entreprise/Populations Régie
4. Contrôle des travaux	Services publics (de plus en plus rare) Consultants/Bureaux d'études
5. Financement des études et travaux	Etat Collectivités territoriales ONG et Associations civiles Partenaires au développement Populations (participation) Exploitants privés (sur fonds propre ou crédit)
6. Encadrement pour les travaux et la mise en valeur	Services publics de vulgarisation (DNAMR, DNCN, DGRC) Organismes de développement de la culture irriguée (Offices et Projets) Services locaux d'appui (SLACAER, SLRC, SLCN) ONG
7. Expoitation/Mise en Valeur	Exploitants (communautaire ou individuel) Exploitants privé détenant des baux
8. Entretien des réalisations (réseaux et équipements)	Organismes de développement (pour une partie du réseau et des équipements sur financement de la redevance ou une subvention de l'Etat) Exploitants, sur les parties qui leur incombent

Tableau 6 - Intervenants par secteur

Les structures de tutelle n'ont pas encore une perception claire de leur rôle dans la collecte et dans l'actualisation de l'information sur les aménagements. Aujourd'hui, de nombreuses structures encadrent le domaine des périmètres irrigués dans un cadre caractérisé par le manque de communication et d'échange.

Les principales structures et les principaux organismes détenant l'essentiel de l'information sont :

- la Direction Nationale de l'Aménagement et de l'Équipement Rural ;
- la Direction Nationale de l'Appui au Monde Rural ;
- les Directions régionales de l'aménagement et de l'équipement rural ;
- les Directions régionales de l'appui au monde rural ;
- les ONG (CCA ONG et SECO ONG) ;
- la Direction Nationale de l'Hydraulique ;
- les organismes (Projets et Offices) de développement de la culture irriguée : Office du Niger, Office Riz Ségou, Office Riz Mopti, ODRS, Périmètre irrigué de Baguinéda, Projet Manantali (PDIAM), CMDT et PAPIV-GAO ;
- les institutions de financement mettant en œuvre des projets spécifiques : Mali Nord/GTZ, VRES/FED, PSSA/FAO, PACCEM/Canada et URCAK.

Un inventaire périodique et dynamique pourrait être obtenu en responsabilisant les différentes structures et les personnes avec des termes de référence précis. Les tableaux qui suivent (tableaux 7 et 8) donnent la typologie des aménagements hydroagricoles au Mali.

1. CRITERES DE CLASSIFICATION	2. TYPE D'AMENAGEMENT
Mode d'irrigation	Dérivation cours d'eau/barrage Pompage cours d'eau Station de pompage grand débit Station de pompage faible débit Pompage forage/puits
Taille du périmètre	Grande taille : > 1 000 ha Taille moyenne : 100 à 1 000 ha Petite taille :< 100 ha
Mode de gestion	Régie associée Gestion communautaire/villageoise Gestion privée
Utilisation	Riziculture Maraîchage Polyculture Autres (blé, Canne à sucre, etc)

Tableau 7 - Typologie des aménagements hydroagricoles

Type	REGION							
	Kayes	Koulikoro	Sikasso	Ségou	Mopti	Tombouctou	Gao	Kidal
Submersion naturelle		x		xx	xxx	xx	xx	
Submersion contrôlée		x		xx	xxx	xx	xx	
Irrigation gravitaire		xx	x	xxx		xx		
Irrigation par pompage	xxx				x	xxx	xxx	
Bas-fonds	x	x	xxx					
Digue de retenue					x			xx
Microbarrrage	xx	x	xx		xxx			

Légende : xxx : activité très importante xx : activité importante x : activité faible et limitée

Tableau 8 - Localisation des types d'aménagement hydroagricole par région du Mali et par ordre d'importance

Les différents types de riziculture au Mali

Les modes de production rizicole rencontrés au Mali peuvent être classés selon les grands types suivants :

- la riziculture traditionnelle sous forte inondation (ou en immersion profonde) dans le delta central nigérien ;
- la riziculture dans les bas-fonds et dans les plaines inondables de la partie sud du pays et en particulier dans la région de Sikasso ;
- la riziculture sur aménagements hydroagricoles qui regroupe, selon le degré de maîtrise de l'eau, la riziculture en submersion contrôlée (surtout dans les régions de Ségou et Mopti) et la riziculture en maîtrise totale de l'eau (dans les rizières de l'Office du Niger, les aménagements de Sélingué, de Baguinéda et dans les petits périmètres irrigués le long des fleuves Niger et Sénégal).

Description des types de riziculture

La riziculture traditionnelle sous forte inondation

Elle est pratiquée dans le delta intérieur du Niger et le long du fleuve dans la boucle du Niger. Les variétés utilisées sont de type *Glaberrima* et ont la particularité de croître très rapidement pour suivre la crue du fleuve qui peut être de 5 cm par jour. Le semis a lieu avec les pluies, puis la crue survient et inonde les rizières. L'eau monte de plusieurs mètres par endroits et le riz se développe de manière à avoir ses épis et ses feuilles hors de l'eau (d'où son appellation de riz flottant). Le plus souvent, la récolte doit être faite en pirogue.

La riziculture de bas-fonds

Elle est caractérisée par une grande diversité de situations et de pratiques. Selon le type de bas-fonds, la partie concernée et la position topographique de la parcelle, le riz est en submersion temporaire ou permanente du fait de la remontée de la nappe phréatique, de l'accumulation de l'eau de ruissellement et de la crue de la rivière ou du marigot. Le riz est semé avec les pluies du début d'hivernage avant l'inondation. L'eau se retire lentement et a, en général, libéré la parcelle au moment de la récolte. Cette culture est fortement dépendante de la pluviométrie : les années où les pluies ne sont pas abondantes, les superficies récoltées et les productions sont faibles. Les améliorations portent notamment sur la maîtrise de l'eau avec l'aménagement du bas-fond selon différents types : réalisation de diguettes en courbe de niveau, de digues déversantes, d'ouvrages de diversion avec réseau d'irrigation, etc. Selon le niveau de maîtrise de l'eau, la riziculture pratiquée peut être plus ou moins intensive.

La riziculture sur les aménagements hydroagricoles (ou périmètres irrigués) qui permettent un contrôle partiel ou total de l'irrigation

En submersion contrôlée, l'aménagement est relativement simple et constitué, le plus souvent, d'un canal d'amenée d'eau à partir du fleuve, d'un ouvrage de régulation (vanne) et d'une digue qui entoure partiellement le périmètre cultivé. On contrôle l'inondation (l'entrée d'eau dans le périmètre) et l'on peut maintenir l'eau dans le périmètre, mais la vidange de l'eau n'est pas possible. Le riz est semé avec la pluie en début d'hivernage, puis, quand la crue le permet, l'eau entre dans le périmètre par l'ouvrage principal et inonde progressivement les terres. La culture est donc tributaire

des pluies – pour l'installation du riz – et de l'intensité et de la durée de la crue (hauteur d'eau et durée) – pour la submersion. En maîtrise totale de l'eau, l'aménagement réalisé permet un contrôle complet de l'eau au niveau de la parcelle, c'est-à-dire un contrôle de l'irrigation et de la vidange (entrée et sortie de l'eau). Par ailleurs, l'alimentation en eau est sécurisée au moyen d'un barrage sur le fleuve ou d'un système de pompage. L'aménagement est constitué par un réseau de canaux d'irrigation qui amène l'eau jusqu'à la parcelle et un réseau de canaux de drainage qui permet de vidanger l'eau de la parcelle puis de la faire sortir du périmètre vers des cuvettes de décantation ou vers le fleuve plus en aval de la prise d'eau initiale.

Dans les périmètres irrigués villageois (PIV), l'ensemble des producteurs utilise l'engrais minéral : 95 % à Gao et 100 % à Mopti. Cette pratique se traduit par les niveaux de production obtenus qui sont, en moyenne, supérieurs à 4 $t.ha^{-1}$. Toutefois, il faut noter qu'à Gao les quantités moyennes d'engrais utilisées sont faibles pour le riz repiqué : en moyenne de 50 kg d'urée et de 50 kg de DAP par hectare. Les variétés utilisées dans les PIV sont toutes des variétés améliorées (BG 90-2, IR 15680, IR 32307-3-2-1, IKP, ADNY et KOGONI 91-1). On a une large gamme de variétés introduite généralement par l'ONG qui encadre le périmètre en contact avec les services semenciers. Les semences sélectionnées sont utilisées par l'ensemble des producteurs, mais le rythme de renouvellement n'est pas toujours respecté. On note une spécialisation des PIV par rapport aux semences : un périmètre n'utilise pas, généralement, plus de 2 variétés. Le comité de gestion se charge de l'approvisionnement en semences, mais les normes ne sont pas toujours respectées. L'échange entre producteurs est très fréquent dans la gestion des semences.

À l'Office du Niger, tous les exploitants utilisent les engrais minéraux, l'urée et le DAP en majorité et d'autres nouveaux engrais complexes. Les doses d'engrais sont souvent supérieures à la dose recommandée (surtout pour l'urée), ce qui se traduit par de très bons rendements : environ 5,5 $t.ha^{-1}$ en moyenne. Toutefois, certains producteurs utilisent encore des doses en dessous des recommandations car ils n'ont pas accès à l'engrais. Ici, on assiste aussi à l'utilisation de différents types d'engrais composés introduits par des firmes ou des commerçants de la place. Près de 80 % des exploitants utilisent les semences sélectionnées avec les variétés améliorées : la Kogoni 91-1, la BG 90-2 et IR 32307-3-2-1. La résistance aux maladies et la qualité du grain sont les critères premiers de choix de la variété. La vente sur le marché est conditionnée à la qualité et à la variété. La variété Kogoni appelée « *Gambiaka* » est toujours vendue au moins 10 Fcfa de plus au kilogramme que les autres variétés. Le repiquage est généralisé sur près de 100 % des exploitations avec, depuis quelques années, un démarrage assez rapide en mai : les premiers à repiquer cherchant à mieux vendre car, en septembre et en octobre, la disponibilité en grains est assez faible.

Les différents systèmes de riziculture se différencient nettement dans la prise de risque en matière d'investissement en intrants et surtout en engrais : plus le système est sécurisé par rapport à l'eau, plus on investit en engrais. Cette méfiance n'apparaît pas avec les semences sélectionnées. Avec l'utilisation en même temps de variétés locales et de variétés améliorées, on assure la conservation de la biodiversité.

Principales contraintes selon les systèmes de riziculture irriguée

Les contraintes de production sont de plusieurs ordres : économiques, biophysiques, culturelles et foncières. Dans ce document, nous décrirons les contraintes biophysiques et économiques ; les problèmes fonciers étant traités ailleurs.

Contraintes économiques suivant les systèmes de riziculture

En submersion libre, l'insuffisance d'équipements agricoles liée au manque de crédit est la contrainte majeure du système. Les structures décentralisées de crédit sont absentes dans les zones concernées. La riziculture fluviale est développée dans une zone dont le développement est surtout pastoral : cela se traduit par la quasi-absence de structures d'encadrement en production agricole. Il est fréquent que le niveau d'équipements soit lié à la présence de projets de développement. La faible productivité du système de production réduit la capacité d'endettement et de remboursement des producteurs en entraînant leur non éligibilité aux crédits. La conséquence de cette non-éligibilité est que les paysans manquent de matériel de préparation des sols, ce qui entraîne un retard dans la mise en place des cultures aggravant les risques liés à l'insuffisance des pluies dont les conséquences ont été décrites plus haut. La faible production et l'objectif de production qui est, pour la grande majorité des producteurs, l'autoconsommation font que, dans ce système, les producteurs n'ont pas à faire face à des problèmes de mévente.

En submersion contrôlée, l'insuffisance d'équipements constitue la contrainte principale pour les producteurs. Les causes indiquées par les producteurs sont le faible revenu disponible et le prix élevé des matériels agricoles. Le sous-équipement hypothèque une bonne partie de la campagne en entraînant un retard dans la mise en place de la campagne avec les conséquences que cela comporte (noyade, impossibilité d'exploiter les zones basses). La mévente du riz est signalée secondairement comme une contrainte, il faut dire que la production est faible et que, après l'autoconsommation, la part à commercialiser reste faible. Pour les producteurs, la baisse de la fertilité est responsable de la baisse progressive de la production constatée. L'insuffisance des apports d'engrais et la culture continue sans amendement organique sont à l'origine de cette baisse de la fertilité des sols.

Dans les petits périmètres irrigués, l'insuffisance de terres, le sous-équipement et la mévente du riz constituent les contraintes essentielles. Bien que, pour la majorité des producteurs, l'objectif de la production soit l'autoconsommation, la vente reste importante pour assurer le paiement de la redevance qui couvre l'ensemble des frais de fonctionnement du périmètre. La durabilité du système dépend du recouvrement de cette redevance. Comme pour les autres systèmes, le sous-équipement entraîne le retard dans la mise en place des cultures avec les conséquences que cela comporte. Après l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire, les objectifs de production s'orientent vers la volonté de commercialisation, mais la taille des parcelles attribuées aux producteurs est trop faible pour permettre de dégager une part significative à vendre après l'autoconsommation et les prélèvements sociaux.

Pour les grands aménagements, l'Office du Niger est utilisé comme exemple. La contrainte la plus ressentie est l'insuffisance de terres chez près de 80 % des producteurs. De 1978 à 1998, la taille moyenne de l'exploitation est baissée de 7,52 ha à 3,02 ha et le nombre de familles d'exploitants a augmenté de 5 000 à 16 500

(Sogreah/BCEOM/Betico, 2000a). Le sous-équipement est indiqué comme contrainte par les exploitants nouvellement installés ou les non-résidents. Cette contrainte aboutit aussi, dans ce système, à un retard dans la mise en place des cultures. Le coût élevé des intrants (engrais, semences) et de la redevance eau sont signalés par les producteurs comme contraintes majeures. Ces postes de dépense sont contraignants car la sortie d'argent se fait dans un délai court et précis que l'on ne peut différer sans dommage pour la production. La baisse des prix du riz en période de récolte et de remboursement du crédit et de paiement de la redevance du riz constitue une contrainte pour 62 % des producteurs. Cette situation est liée à un manque d'organisation de la part des producteurs et à une insuffisance des systèmes de financements. Les prix du riz varient selon la période de l'année et aussi selon la distance au marché.

Contraintes bio-physiques

En submersion libre, l'inondation est la contrainte la plus importante : elle est liée aux conditions pluviométriques. En cas d'insuffisance de pluies en début de cycle, les jeunes plants prennent du retard dans leur développement et sont noyés avec les premières crues, surtout dans les zones basses, cela malgré leur caractère de flottabilité. Cela entraîne une perte de production importante bien que les zones basses constituent les parties les plus sécurisées. Les informations et les prévisions hydrologiques et pluviométriques qui sont disponibles au niveau des services techniques n'arrivent pas aux producteurs. Par ailleurs, ces informations sont insuffisantes avec des moyennes sur les dates d'arrivée de la crue qui ont des intervalles assez larges.

En riziculture de bas-fond, les contraintes biotiques sont les plus importantes avec, en première place, l'enherbement et les maladies, puis les insectes. Ces contraintes déterminent le choix de la variété qui doit être résistante ou tolérante aux maladies. Il s'agit essentiellement de maladies foliaires : la pyriculariose, la cercosporiose et, récemment, la virose du riz (la panachure jaune) qui prend de l'importance car elle peut entraîner la perte totale de la production. En plus de ces contraintes, la baisse de la fertilité est signalée aussi dans ce système avec les mêmes raisons évoquées par les producteurs que dans le système précédent. En effet, les plaines sont trop exploitées avec plusieurs cycles de production sans apports conséquents de fertilisants. Ce système d'exploitation a entraîné la baisse de la fertilité des sols.

En riziculture irriguée, Wopereis *et al.* (1999) ont montré que le taux moyen de recouvrement de l'engrais azoté dans les périmètres irrigués au Sahel et en savane soudanienne est seulement de 0,3 kgN en moyenne dans la plante par kgN appliqué. La perte moyenne de l'engrais azoté est donc de 70 %. Les paysans pourraient alors améliorer l'efficience et leur profit en améliorant le taux de recouvrement de l'azote sans augmenter les charges en engrais. Les raisons du faible taux de recouvrement ont été résumées par Wopereis *et al*. (1999) comme suit :

- les périodes d'application des engrais azotés sont très variables et souvent ne coïncident pas avec les stades critiques de croissance des plants de riz ;
- les paysans ne prennent pas en compte la capacité du sol à fournir des nutriments et, sur un nombre important de sites, des complexes NPK non adaptés au riz sont utilisés ;

et d'autres problèmes agronomiques incluant :

- l'utilisation de plants trop âgés (> 40 jours) au repiquage ;
- la déficience en phosphore et en potassium ;
- la déficience en eau pendant la saison sèche ;
- le démarrage tardif de la saison pluvieuse qui se traduit par une perte de près de 20 % due à la stérilité des épillets ;
- les problèmes d'enherbement ;
- et la récolte tardive du riz.

Le ratio entre l'azote et le prix du grain était d'environ 4 pendant la période des suivis de Wopereis *et al.* (1999). Le rendement doit donc augmenter d'au moins 4 fois par rapport à l'apport d'engrais azoté pour couvrir le coût. Malgré le faible taux de recouvrement de l'azote, la majorité des paysans ont un bénéfice dans l'utilisation de l'engrais. Le ratio bénéfice/coût variait de 1,6 en saison sèche dans la vallée du Kou au Burkina Faso à 3,6 à l'Office du Niger du Mali. Ainsi, l'investissement dans les engrais a donné un bénéfice variant de 60 à 260 %, c'est-à-dire bien au-dessus du niveau (50-100 %) indiqué par Crawford et Kamuanga (1991) comme bénéfice minimum pour cette région. Les risques de perte dans l'utilisation des engrais azotés sont rares et souvent liés à l'infestation par les adventices et le manque d'eau. Par exemple, les paysans de la vallée du Kou en saison sèche ont une probabilité de 33 % d'avoir des pertes nettes, cela à cause du manque d'eau. À l'opposé, aucun paysan dans l'Office du Niger n'a perdu de l'argent malgré les niveaux élevés d'azote appliqué (Donovan *et al.*, 1999).

Analyse des principales variables techniques

Disponibilité en terres

La superficie de l'ensemble du Mali couvre 1 204 000 km^2. Selon les études du Projet Inventaire des Ressources Terrestres (PIRT, 1986), la superficie des terres possédant une aptitude même limitée pour l'agriculture (de très apte à peu apte) au sud de la zone saharienne couvre 23,8 % des terres, soit environ 30 millions d'ha, dont 2 millions d'ha irrigables. Sur ce total, plus de la moitié des terres irrigables se trouve dans le bassin du fleuve Niger et de ses différents affluents.

Le Mali est réparti en quatre zones climatiques qui, selon une étude du bureau d'experts ARD pour le compte de l'USAID, définissent le potentiel de l'agriculture pluviale et les nécessités d'irrigation. Les choix de type approprié d'irrigation diffèrent d'une zone à l'autre. Plus précisément, les caractéristiques d'un site particulier limitent souvent le type d'irrigation à un seul choix (ARD, 2002). Les zones climatiques peuvent être décrites comme suit :

- la zone soudano-guinéenne, caractérisée par de la savane boisée et des forêts au sud couvrant 6 % du pays. Les hauteurs annuelles de pluies ne dépassent pas 1 200 millimètres avec une saison de culture définie comme étant de plus de 160 jours. L'agriculture pluviale est la forme dominante d'agriculture ;

- la zone soudanienne, couvrant douze pour cent du pays, où la pluviométrie est de 600 à 1 200 millimètres et la saison de culture de 100 à 160 jours. Dans cette zone, l'irrigation est considérée comme un complément de l'agriculture pluviale ;
- la zone sahélienne avec 26 % de terres, une pluviométrie de 200 à 600 millimètres et une saison culturale de 15 à 100 jours. Cette zone est essentiellement la zone connue comme étant le « delta intérieur ou delta central » et est une zone climatique à part. Elle est considérée comme l'aire dans laquelle l'irrigation est essentielle en raison d'une pluviométrie faible et peu fiable ;
- la zone saharienne, comprenant 51 % des ressources terrestres du Mali, est essentiellement désertique avec une pluviométrie inférieure à 200 mm et une saison de culture qui dure moins de 15 jours. Une certaine forme d'irrigation doit être utilisée pour pratiquer une culture, car la pluviométrie est insignifiante.

Les principaux types de sol rencontrés comportent une douzaine de classes qui peuvent être groupés en 5 grandes catégories réparties selon les zones agro-écologiques suivantes :

- les sols faiblement ferrallitiques, couvrant près de 2 millions d'hectares (1,6 % du territoire), localisés dans l'extrême sud du pays dans les zones bioclimatiques du soudanien sud et du guinéen nord : ces sols ont une aptitude agricole de moyenne à bonne, mais présentent peu de limitations agronomiques ;
- les sols ferrugineux tropicaux, couvrant environ 17,3 millions d'hectares (13,9 % du territoire), localisés dans les plaines d'épandage et plaines alluviales des zones soudanienne nord et sahélienne sud. Leur fertilité naturelle est faible à moyenne et localement élevée en fonction de la roche mère. Ils sont sensibles à l'acidification et à l'érosion ;
- les sols sub-arides qui se développent sur des matériaux sableux : ils sont rencontrés dans les zones soudanienne nord et sahélienne sud sur environ 34 % du territoire ;
- les sols peu évolués des zones sahélienne nord et désertique, couvrant 35 % du territoire national. Ces sols sont dépourvus de matière organique et sont particulièrement sensibles à l'érosion hydrique et éolienne ;
- les sols hydromorphes et les vertisols, couvrant 5 % du territoire, localisés dans les dépressions et les cuvettes du delta (mort et central), de la boucle du Niger, de la zone lacustre,... : ces sols, présentent une bonne aptitude agricole s'ils sont bien drainés, mais sont carencés en phosphore, en potassium et en soufre.

D'une manière générale, les différents sols présentent plusieurs contraintes importantes du point de vue agronomique qui limitent encore le potentiel cultivable :

- un niveau de fertilité moyen à faible, avec des carences en phosphore, en potassium et en soufre ;

- une forte sensibilité à l'érosion éolienne (plus marquée vers le nord) et/ou hydrique[1] ;
- et, surtout, une forte limitation en raison du climat, et plus particulièrement de la pluviométrie.

Par ailleurs, la pression agricole sur les ressources a progressivement augmenté. Selon la Direction nationale de la statistique et de l'informatique (DNSI), la superficie des terres cultivées chaque année est passée de 1 967 000 ha en 1970-71 à 3 472 000 ha en 1994-95, ce qui représente une augmentation de 15 %. Cette augmentation des superficies n'a pas été accompagnée d'une augmentation des rendements des cultures vivrières qui sont restés faibles avec une moyenne 750 kg/ha toutes productions confondues (Coulibaly, 1998) et d'une tonne pour le coton.

Selon plusieurs études, dont MDRE (1998), cette pression s'est traduite globalement par une dégradation importante des ressources naturelles (sol, couvert végétal) qui se remarque, entre autres, par l'augmentation des superficies défrichées (et dans plusieurs régions où la pression démographique est forte, de terres marginales et/ou forestières), une diminution conjointe de la durée des jachères, une diminution de la fertilité et une accentuation du phénomène de l'érosion.

Le potentiel en terres irrigables

Le potentiel en terres irrigables est estimé quant à lui à environ 2 millions d'hectares, dont seulement 180 000 ha ont été aménagés (avec 60 000 ha gérés par l'Office du Niger) ou sont utilisés en submersion naturelle ou contrôlée pour la culture de riz. Toutefois, les phénomènes liés à la sécheresse ont considérablement affecté les surfaces traditionnellement inondables du delta (30 000 km^2 en 1960, 5 000 km^2 en 1980). Par ailleurs, la dégradation progressive du couvert végétal a contribué à l'ensablement progressif des berges des cours d'eau et des mares, limitant ainsi les possibilités de culture et d'alimentation en eau des hommes et du bétail. Plusieurs grands barrages hydroélectriques ou d'irrigation (Manantali, Sélingué, Markala) ont été construits ou devraient être construits (Tossaye, seuil de Talo) pour lesquels des études de faisabilité technico-économiques et des études d'impact ont été réalisées.

1 Diverses études, dont Bishop et Allen (1989), ont montré des pertes annuelles moyennes en terres arables du fait de l'érosion de l'ordre de 6,5 t/ha/an, variant de 1 t au Nord à plus de 10 t au Sud. Des chiffres de 31 t ont été enregistrés du côté de Sikasso.

Zone/région	Superficies brutes irrigables sous réserve d'aménagement (en ha)	
Vallée du Sénégal/terekolé - kolombiné	Zones inondables	45 000
	Zones aménageables	25 000
	Bas-fonds	20 000
Haute Vallée du Niger	Zones inondables et terrasses	100 000
	Bas-fonds	10 000
Office du Niger	Aménageables	250 000
Ségou	principalement zones inondables	150 000
San/Mopti/Delta vif	Alluvions inondables	800 000
	Alluvions anciennes d'aptitudes marginales	100 000
Mali Sud	Vallées inondables et bas-fonds	300 000
Zone lacustre	dont 100 000 ha de dépressions interdunaires	280 000
Gao/boucle du Niger	Alluvions inondables	80 000
	Vallées inondables	30 000
Divers et pays Dogon	Absence d'identification géographique	10 000
TOTAL		**2 200 000**

Source : PNUD/GERSAR (cité par Sofreco, 2003)

Tableau 9 - Estimation du potentiel en terres irrigables au Mali (en ha)

Le chiffre global de 2,2 millions d'hectares irrigables est théorique et trompeur par sa grandeur car une portion importante de cette superficie ne peut pas être, en réalité, irriguée avec les systèmes d'irrigation et les systèmes de culture actuellement mis en œuvre par les producteurs du Mali[2].

Le potentiel de l'Office du Niger

L'étude du PNUD menée en 1982 a limité de façon prudente le potentiel de l'Office du Niger à 250 000 hectares au lieu de reconduire les chiffres souvent cités de 960 000 hectares à plus d'un million d'hectares et qui sont des évaluations des superficies dominées par le barrage de Markala. En effet, on ne peut pas dévier suffisamment d'eau du Niger pour cultiver une telle superficie avec les systèmes d'irrigation et de culture actuels.

Au cours de la première phase de l'étude du schéma directeur de développement de l'Office du Niger, les superficies aptes à la culture irriguée (riz en submersion et cultures maraîchères) ont été évaluées sur l'ensemble des huit systèmes hydrauliques[3] constituant le potentiel irrigable par gravité de l'Office du Niger (*cf.* carte en annexe). Une carte morpho-pédologique a été établie à partir de la carte PIRL (Projet Inventaire des Ressources Ligneuses au Mali : BDPA – SCET AGRI – CTFT – SYSAME : 1991)

2 « Au fur et à mesure que de nouvelles aires sont aménagées et irriguées, d'autres aires qui constituaient une part du potentiel ne seront plus disponibles pour l'irrigation » (ARD, 2002).
3 Identifiés lors de la conception du projet au début du XXème siècle comme les zones irrigables par gravité à partir du barrage de Markala, existant aujourd'hui, et du canal de Dioura, ouvrage non réalisé, (Irrigation du delta central nigérien, août 1942).

digitalisée dans le cadre de cette étude. À partir des unités morpho-pédologiques de la carte, des unités topographiques et de la description des matériaux, il a été établi (tableau 10 et 11) une correspondance avec la carte d'aptitude réalisée sur le Kala inférieur par l'IER en 1991 (I.E.R - D.R.A/S.R.C.V.0.).

Aptitudes	Farimaké	Kala inférieur	Kala supérieur	Karéri	Kokéri	Kouroumari	Macina	Méma	Total
S1 (très apte)	20 545	2 706	11 021	108 100	25 279	10 236	367 555	8 866	554 309
S2 (apte)	13 859	14 395	25 620	123 527	42 728	19 354	62 906	33 034	335 423
S3 (marginalement apte)	52 312	17 057	25 350	102 410	31 566	48 219	54 228	40 932	372 075
N1 (conditionnellement inapte)									0
N2 (inapte)									0
Aménagé	0	27 186	5 988	0	0	10 900	12 468	0	56 542
Total	86 717	61 344	67 979	334 037	99 574	88 709	497 156	82 832	1 318 349

Source : Sogreah/BCEOM/Betico, 1999a

Tableau 10 : Aptitude des sols à la culture du riz (systèmes hydrauliques : surfaces nettes en ha)

Aptitudes	Farimaké	Kala inférieur	Kala supérieur	Karéri	Kokéri	Kouroumari	Macina	Méma	Total
S1 (très apte)	51 370	39 634	39 252	181 872	48 378	38 241	72 262	65 691	536 699
S2 (apte)	15 581	6 078	164	42 442	711	11 445	67 702	5 128	149 251
S3 (marginalement apte)	0	6 636	11 555	1 624	25 205	18 649	26 305	0	89 974
N1 (conditionnellement inapte)									0
N2 (inapte)									0
Aménagé	0	27 186	5 988	0	0	10 900	12 468	0	56 542
Total	**66 950**	**79 534**	**56 959**	**225 938**	**74 295**	**79 235**	**178 737**	**70 818**	**832 465**

Source : Sogreah/BCEOM/Betico, 1999a

Tableau 11 : Aptitude des sols à la polyculture (systèmes hydrauliques : surfaces nettes en ha)

C'est le système du Macina qui comporte le plus de sols d'aptitude élevée pour la riziculture, mais ils sont situés en zone inondable et les plus éloignés de la source d'eau située au niveau du barrage de Markala. Dans l'ensemble, les aptitudes à la polyculture sont moins importantes que les aptitudes au riz. Bien entendu, ces données devront être précisées au moment de l'étude des extensions par des études de détail à la fois en ce qui concerne la pédologie que pour les techniques d'aménagement et, particulièrement, le drainage, puisque même les surfaces à texture grossière sont actuellement cultivées en riz du fait de la proximité de la nappe en saison de culture.

Certains sols de la zone de l'Office du Niger sont affectés par des phénomènes de sodisation (fixation de sodium sur le complexe adsorbant) et d'alcalinisation (élévation du pH). Ces phénomènes ont été constatés sur les rizières, sur les parcelles du complexe sucrier de Dougabougou et sur les soles de maraîchage. Le sodium échangeable a été multiplié par 2 ou 3 et le pH a fortement augmenté dépassant parfois 9. Ceci a pour conséquence une dispersion des argiles qui conduit à un effondrement de

la structure se traduisant par une compaction des sols (R. Bertrand, 1991, cité par Sogreah/BCEOM/Betico, 1999a). Ce phénomène peut se produire soit par une concentration de l'eau d'irrigation sous l'effet de l'évapotranspiration, soit par une remontée de la nappe phréatique qui se situait en 1940 entre 30 et 50 m de profondeur et qui est maintenant sub-affleurante. Cette nappe, en remontant, s'est peut-être chargée en sodium en traversant des lentilles ou des couches d'alluvions sodiques, car on a vu que lors de leur formation, en particulier dans les cuvettes, les eaux se concentraient par évaporation. La remontée des nappes est due à la fois aux infiltrations dans les canaux principaux qui ont été construits sur les points hauts (donc sur des alluvions de texture relativement grossière) et au mauvais fonctionnement du réseau de drainage aggravé par les pratiques des paysans qui barrent certains drains pour alimenter des surfaces « hors casiers ». Ces problèmes ont fait l'objet de plusieurs études ponctuelles, mais c'est seulement dans le cadre de l'étude environnementale que des enquêtes par sondage sur 1 366 exploitations représentant 15 % environ des surfaces des périmètres ont été menées pour tenter d'évaluer l'ampleur du phénomène. D'après les résultats de cette étude, le phénomène reste d'ampleur limité : il ne toucherait que 7,6 % des zones enquêtées avec, cependant, 12 % du périmètre de Molodo qui comporte beaucoup de zones sableuses (plus sensibles à l'alcalinisation) mais qui n'a pas encore été réhabilité (N'Diaye, 1998).

Il y a donc, dans la zone de l'Office du Niger, un potentiel très important en terres aptes à la culture irriguée : la terre ne constitue pas une limite. Par contre, la disponibilité en eau et les investissements à réaliser pour leur aménagement constituent ou peuvent constituer des contraintes.

La limite supérieure de la capacité de l'Office du Niger fait actuellement l'objet de débats au Mali (ARD, 2002). Il y a, cependant, une marge importante de progression des superficies avant que les contraintes n'en limitent l'extension. Par ailleurs, l'évaluation du potentiel réel de l'Office du Niger est fonction des systèmes techniques et des technologies utilisées, et il doit être apprécié dans le cadre général du bassin du fleuve.

Disponibilité des ressources en eau

Pays sahélien soumis fortement aux aléas climatiques, le Mali n'en recèle pas moins d'importantes ressources en eau de surface et souterraines, mais elles sont réparties de manière inégale sur le plan spatial. Le bassin du fleuve Niger s'étend sur 300 000 km^2. Le fleuve Niger, qui a un potentiel d'écoulement annuel de 46 milliards de m^3 à Koulikoro (Niger) contre 10 milliards pour le fleuve Sénégal à Kayes, est le plus important du pays.

Le bassin du fleuve Niger est caractérisé par la grande variabilité saisonnière de son débit, liée notamment au régime pluviométrique et à la faible capacité de rétention des aquifères. À titre d'exemple, le débit moyen annuel du fleuve Niger à Koulikoro était de 726 $m^3.s^{-1}$ en 1993. Pour la période 1951-93, il a varié entre 83,2 $m^3.s^{-1}$ en avril (minimum observé : 18,2 $m^3.s^{-1}$) et 4 950 $m^3.s^{-1}$ en septembre (maximum observé : 8 000 $m^3.s^{-1}$). À Tossaye (région de Tombouctou), le débit moyen du même fleuve était pour l'année 1993 de 507 $m^3.s^{-1}$, avec un minimum moyen de 53,2 $m^3.s^{-1}$ en juin et un maximum moyen de 1 700 $m^3.s^{-1}$ en décembre pour la période 1951-93. Pour la même

période, le minimum observé était de 4,25 $m^3.s^{-1}$ et le maximum observé de 2 350 $m^3.s^{-1}$. On a noté en 1999 un débit très faible.

Par ailleurs, on compte 17 grands lacs situés dans la partie septentrionale du pays principalement sur la rive gauche du fleuve Niger, dont les lacs Faguibine, Télé, Gouber, Kamango, Daoukiré, Daouna, Fati, Horo, Kabara et Débo. Ceux-ci, ainsi qu'un important réseau de mares permanentes à semi-permanentes notamment dans la zone du Gourma, sont utilisés pour les cultures de décrue et pour l'élevage.

Si ces retenues d'eau et barrages constituent un potentiel énergétique important (par ailleurs largement sous-exploité) et augmentent le potentiel de production agricole irriguée et piscicole, ils contribuent également au déséquilibre des écosystèmes, sans que l'impact réel sur le milieu physique et socio-économique ne soit réellement pris en compte. Par la modification du système naturel des crues, ils induisent des transformations importantes dans les systèmes de production traditionnels basés sur les cultures de décrue. Ils diminuent également les zones de pâturage naturel et sont source de conflits fonciers, notamment entre agriculteurs et éleveurs.

La stratégie nationale d'irrigation fait un point synthétique des ressources en eau au Mali (MDRE, 1999).

Les principales ressources en eau sont celles du fleuve Niger qui traverse le pays (1 700 km au Mali sur les 4 200 km de longueur totale). Le bassin du fleuve au Mali est estimé à 300 000 km^2 (soit 20 % de la superficie totale du bassin). La crue saisonnière est alimentée de façon irrégulière par les pluies d'hivernage : le maximum de cette crue se situe en septembre-octobre à Bamako, fin octobre à Mopti, en décembre à Kabara (Tombouctou) et fin janvier à Gao. Les grands aménagements existants sur le fleuve Niger et ses affluents sont : le barrage de Sélingué sur le Sankarani, le barrage de Sotuba et le barrage de Markala sur le Niger. La propagation des débits s'effectue entre Koulikoro et Kirango (Markala) avec d'importants débordements et prélèvements par l'Office Riz Ségou en période de crue et par l'Office du Niger toute l'année.

Les apports du fleuve à Koulikoro s'élèvent à quelques 30 milliards de mètres cubes d'eau par an, dont plus de la moitié (16 milliards de mètres cubes) pendant les mois de crue de septembre et d'octobre. De février à mai, le débit du fleuve ralentit pour n'atteindre que 1,5 milliard de mètres cubes environ sur les quatre mois. Sur cette période, les lâchers d'eau du barrage de Sélingué (en amont de Koulikoro) constituent une part très importante des volumes, car le débit naturel du fleuve est très faible.

Le débit naturel du fleuve à Koulikoro est faible en période d'étiage avec des débits qui descendent, en moyenne sur les seize années de 1982 à 1997, à moins de 20 $m^3.s^{-1}$ en avril. La mise en service du barrage de Sélingué (à vocation hydroélectrique et agricole) en 1982 a permis d'augmenter ce débit naturel durant les périodes de janvier à juin et d'octobre à décembre. Les apports de Sélingué en période d'étiage varient de 70 à 120 $m^3.s^{-1}$, ce qui représente jusqu'à 85 % des débits observés au mois d'avril (MDRE et Ministère de l'environnement, 1998).

Le tableau 12, ci-dessous, présente les prélèvements moyens des aménagements hydroagricoles en amont de Tombouctou à fins d'irrigation (et du fait de l'évaporation au barrage de Sélingué) pendant la période1989-97.

		Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
Apports du fleuve Niger		568	380	339	368	444	745	1 759	4 455	8 571	7 794	3 483	1 311	30 217
Prélèvements pour l'agriculture	Sélingué	2,2	3,9	5,0	5,1	2,8	0,5	0,7	1,7	2,9	4,4	2,8	1,5	33,5
	Baguinéda	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	216,0
	Office du Niger	151,0	151,0	167,0	166,0	200,0	218,0	219,0	235,0	321,0	321,0	254,0	160,0	2 563,0
	Offices du Riz Ségou & Mopti	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	230,0	33,0	56,0	53,0	26,0	398,0
Évaporation à Sélingué		65,0	66,0	77,0	54,0	39,0	25,0	13,0	16,0	37,0	53,0	62,0	62,0	569,0
Total des prélèvements		236,2	238,9	267,0	243,1	259,8	261,5	250,7	500,7	411,9	452,4	389,8	267,5	3 779,5
Prélèvements en %		42 %	63 %	79 %	66 %	59 %	35 %	14 %	11 %	5 %	6 %	11 %	20 %	13 %

Source : Kuper *et al.*, 2000

Tableau 12 : Apports du fleuve Niger à Koulikoro et prélèvements d'eau pour l'irrigation, moyennes mensuelles pour la période 1989-97 en millions de m^3

Le fleuve Sénégal est constitué principalement par le Bafing, le Bakoye et la Falémé. Les débits du fleuve sont contrôlés en grande partie par le barrage de Manantali, sur le Bafing. Le volume du barrage de Manantali approche les 12 milliards de m^3, dont 7,85 milliards m^3 constituent la tranche utile. L'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) qui regroupe le Mali, la Mauritanie et le Sénégal gère les eaux du bassin de ce fleuve. Dans le cadre des accords OMVS, le barrage de Manantali doit garantir un débit minimum de 300 $m^3.s^{-1}$, dont 200 $m^3.s^{-1}$ pour l'agriculture, sur lesquels 45 $m^3.s^{-1}$ sont réservés à l'agriculture malienne.

Les ressources du Mali en eaux de surface non pérennes n'ont pas fait l'objet d'inventaire exhaustif. Le nombre d'aménagements existants serait de l'ordre de 300, dont environ 250 ouvrages fonctionnels, en particulier dans le pays Dogon (petits barrages pour la plupart).

Par ailleurs, l'ensemble des réserves en eau souterraine représenterait un volume de 2 720 milliards m^3 (avec une recharge annuelle de 55 milliards m^3/an), dont la plupart serait en zones sud et sud-ouest du pays où les forages sont difficiles et coûteux et la pluviométrie annuelle supérieure à 700 mm/an. L'exploitation actuelle des eaux souterraines est d'environ 106 millions m^3/an, dont les prélèvements sur les forages et les puits modernes représentent près de 21 millions m^3/an, soit 20 % de l'exploitation totale, le reste provenant de puits traditionnels.

La consommation en eau actuelle du secteur de l'irrigation est de l'ordre de 3,5 milliards de mètres cubes (25 000 m^3/ha) presque entièrement effectuée sur une période de sept mois (du 1er juin au 31 décembre) : ce qui semble laisser une grande marge pour des extensions. La situation est cependant moins favorable qu'il n'y paraît. Les contraintes et les limitations liées à l'exploitation de ces ressources en eau peuvent être résumées comme suit (MDRE, 1999) :

- le régime pluviométrique et hydrologique est irrégulier (donc le débit des fleuves et des rivières ainsi que la recharge annuelle des nappes). Il est à noter, en particulier, que depuis vingt ans environ, la pluviométrie moyenne du Mali a diminué de 15 à 20 % par rapport à la période cinquantenaire précédente ;

- la localisation des aquifères par rapport aux sites d'utilisation est difficile (le taux d'échec atteint parfois 30 %) et les débits unitaires sont faibles (moins de 5 m^3/h pour la plupart des forages) ;
- le coût d'exhaure et le coût des ouvrages de retenue d'eau de surface sont très élevés, en moyenne ; l'exploitation des eaux souterraines est coûteuse ;
- les consommations en contre-saison (bien que faibles) surviennent à une période où les débits des fleuves et les niveaux dans les barrages de retenue sont faibles ;
- le Niger est une rivière internationale et le Mali est dépendant des barrages envisagés en Guinée tout en devant laisser des volumes d'eau suffisants aux pays situés en aval.

Même en construisant les seuils de Talo et de Djenné sur le Bani ainsi que le barrage de Tossaye et en améliorant l'efficience de l'irrigation pour diminuer la consommation à 19 000 m^3/ha au lieu de 25 000 m^3/ha, le potentiel irrigable dans le bassin du Niger serait d'environ 500 000 ha seulement si l'on ne veut pas diminuer les volumes d'eau arrivant en aval au Niger de plus de 30 %. Sur cette superficie totale, environ 230 000 ha avaient été aménagés en 1994, dont 170 000 ha étaient effectivement exploités, 60 000 ha environ ayant été abandonnés du fait de la baisse des crues et du mauvais entretien (MDRE, 1999).

Dans la zone soudanienne, l'irrigation ne représente qu'un appoint à l'agriculture pluviale tandis que, dans la zone sahélienne, la faiblesse des pluies ne peut être compensée que par une bonne maîtrise des ressources en eau (surtout celles du delta intérieur du Niger). Cette zone constitue l'essentiel du domaine irrigué au Mali.

En ce qui concerne les ressources en eaux souterraines qui contribuent à hauteur de 80 à 90 % à l'alimentation en eau des populations, celles-ci s'élèveraient, selon les estimations de la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Énergie (DNHE), à 2,72 milliards de m^3. Elles sont essentiellement localisées dans les aquifères généralisés qui s'étendent sur plus de 630 000 km^2 (dans les régions du delta central et les bordures du fleuve Niger), dans des aquifères fissurés s'étendant sur 180 000 km^2 (au centre, à l'est et au sud du pays) et dans des aquifères discontinus au niveau de la zone sahélienne. Le taux de reconstitution des nappes souterraines est estimé à 66 milliards de m^3/an, dont 106 millions (soit environ 0,2 %) seulement seraient exploités actuellement.

Malgré l'existence de ce potentiel considérable et du fait de sa répartition spatiale très irrégulière, les difficultés de mobilisation et les contraintes d'accès à l'eau (profondeur des nappes) constituent un handicap majeur à leur valorisation du point de vue agricole et pour l'alimentation en eau des hommes et du bétail. Selon le schéma directeur des ressources en eau, seulement 17 % de la population aurait accès à l'eau potable, dont 46 % en milieu urbain et 10 % en milieu rural.

Bien que théoriquement abondantes, ces ressources en eaux de surface et en eaux souterraines sont fortement menacées, entre autres par :

- les gaspillages et/ou la gestion non rationnelle des réseaux d'irrigation (notamment au niveau des grands systèmes d'irrigation tels que l'Office du Niger) ;

- la sédimentation et/ou l'ensablement des cours d'eau, des lacs et des mares ;
- et les pollutions diverses.

Ces pertes annuelles sont estimées à 30 000 milliards de m^3 d'eau dans le delta intérieur du Niger, avec le dépôt de 13 millions de tonnes chaque année de limon au niveau des grands cours d'eau et la pollution des eaux de surface, mais également des nappes phréatiques profondes près des lieux de concentration de population (pollution due, pour l'essentiel, aux déversements d'eaux domestiques usées et de déchets ménagers dans les rivières et dans les fleuves auxquels s'ajoutent les déversements industriels ayant souvent une teneur élevée en éléments toxiques, provenant par exemple du tannage ou des mines d'or, qui menacent directement les eaux de surface et les eaux souterraines par infiltration).

Des mesures effectuées par la DNHE montrent, par exemple, que les eaux souterraines aux alentours de Bamako sont fortement contaminées notamment par les métaux lourds (surtout le mercure et le plomb) et par d'autres substances chimiques toxiques. À Bamako, les 8 unités industrielles les plus importantes rejetteraient en moyenne 2 200 m^3 par jour d'eaux usées (soit près de 800 000 m^3/an) et les 300 teintureries, 16 000 m^3/an, qui s'infiltrent dans les sols ou sont rejetées directement dans le fleuve Niger. Dans les zones agricoles (Office du Niger, zone CMDT), les pollutions sont principalement dues aux pesticides et aux engrais chimiques.

Besoins en eau des différents systèmes de production

Les études sur les besoins en eau ont porté essentiellement sur le riz et sur la canne à sucre en termes de quantification des besoins de la plante à partir de 1980 dans la zone Office du Niger.

Pour les systèmes traditionnels de riziculture et pour la submersion contrôlée, les besoins en eau sont estimés suivant les étendues des zones à inonder par les eaux de crue d'une part et, d'autre part, par les pluies qui permettent un développement des plants avant l'arrivée de la crue. Les simulations de crue permettent aujourd'hui d'estimer les superficies inondables suivant le débit disponible. Ces résultats sont disponibles dans l'analyse hydrologique du fonctionnement du fleuve Niger (Mahé *et al.*, 2002 ; Orange *et al.*, 2002).

Efficience des systèmes d'irrigation et de drainage

Les études sur l'efficience de l'eau d'irrigation sont disponibles essentiellement pour les périmètres de l'Office du Niger. Sur les autres périmètres irrigués moyens et petits, aucun dispositif n'a été mis en place pour suivre l'évolution de la consommation.

Sur les autres systèmes en submersion contrôlée ou en submersion libre, la question ne se pose pas à l'échelle de la parcelle mais, peut-être, à l'échelle de l'aménagement. Là aussi, le mode de fonctionnement ne permet pas une mesure de la consommation par rapport à la quantité livrée. Ici, nous ne présenterons que des résultats disponibles sur l'Office du Niger.

Fonctionnement du système d'irrigation et de drainage

L'alimentation des cultures en eau est assurée par un réseau d'irrigation et de drainage qui mobilise la ressource à partir du barrage de Markala jusqu'aux casiers rizicoles et qui assure l'évacuation des excès d'eau d'irrigation et de pluies. Le dysfonctionnement de ce système est à la base des faibles performances constatées sur le système de production de l'Office du Niger. La base du réseau d'irrigation est la remise en eau des anciens défluents du fleuve Niger appelés « *falas* », qui sont équipés d'ouvrages de régulation sur l'ensemble de leur parcours. Ces *falas* desservent au droit des casiers de canaux primaires. À chaque système d'irrigation correspond en parallèle, un système de drainage. Au cours de ces deux dernières décennies, des efforts importants de réhabilitation ont été engagés sur les systèmes d'irrigation de l'Office du Niger.

Réseaux d'irrigation

1/ Les ouvrages de base sont constitués par :

- le barrage de Markala construit en 1947, est un pont barrage de dérivation qui a pour but de relever le plan d'eau du Niger à l'amont à des cotes comprises entre 300,54 et 299,04 ;
- le canal adducteur d'une capacité de 200 $m^3.s^{-1}$, d'une longueur de 9 km qui conduit aux ouvrages du Point A ;
- les ouvrages du Point A qui permettent d'alimenter :
  - le canal du Sahel d'une capacité de 100 $m^3.s^{-1}$ et d'une longueur de 24 km, qui alimente le fala de Molodo ;
  - le canal du Macina d'une capacité de 50 $m^3.s^{-1}$ et d'une longueur de 20 km, qui alimente le fala de Boky Wéré ;
  - et le canal Costes Ongoïba d'une capacité actuelle de 13 $m^3.s^{-1}$ et d'une longueur de 19 km (l'ouvrage correspondant a, quant à lui, une capacité de 48 $m^3.s^{-1}$).
- l'ouvrage régulateur du Point B situé sur le fala de Molodo à la fin du premier bief, à 78 km du Point A, et muni d'un pont à double voie ;
- l'ouvrage du point C situé à la fin du deuxième bief du fala de Molodo.

2/ Les réseaux d'irrigation des casiers

Au droit des casiers, l'eau est distribuée par un réseau d'irrigation hiérarchisé allant du distributeur (qui alimente un casier de 4 à 5 000 ha) à l'arroseur (qui irrigue les parcelles de 12 à 30 ha en moyenne).

Dans leur conception, les réseaux d'irrigation sont situés sur les points hauts pour permettre l'irrigation par gravité. Cela a pour conséquence d'augmenter l'infiltration de l'eau car les points hauts sont formés de matériaux souvent sableux ou sablo-limoneux.

Le réseau de drainage

En parallèle au système d'irrigation, est associé un système de drainage allant du drain d'arroseur au collecteur général pour évacuer les excédents d'eau quand on en a pas besoin (période d'épandage d'engrais, récolte).

Pour l'ensemble de la zone aménagée de l'Office du Niger, trois grands axes de drainage existent. Les réseaux collecteurs du Kala inférieur et du Kouroumari, le Kala supérieur et le réseau collecteur du Macina.

Contrairement aux réseaux d'irrigation, le réseau de drainage est situé dans les points bas avec des matériaux argileux et un écoulement lent.

De façon générale, le système de drainage dans la zone aménagée de l'Office du Niger dans son ensemble est déficient. Il y a, annuellement, une remontée considérable du plan d'eau dans les drains. Le dysfonctionnement du drainage est dû à un nombre important de raisons liées aux modes de gestion. Parmi ces raisons, on peut citer entre autres :

- l'introduction dans le réseau d'irrigation d'importantes quantités d'eau qui ne sont pas utilisées (mauvaise gestion de l'eau) ;
- le développement anarchique des cultures de contre-saison de sorte que le réseau reste en eau pendant toute l'année : le phénomène est beaucoup plus accentué dans la zone de Niono et de N'Débougou ;
- la récupération des zones hautes jadis exclues de l'aménagement et qui, finalement, dictent les cotes d'irrigation ;
- le refoulement des drains causés par les batardeaux construits par les paysans pour irriguer les hors casiers ;
- l'insuffisance d'entretien du réseau de drainage ;
- l'absence d'exutoire, etc.

Gestion de l'eau

Depuis sa restructuration en 1994, les missions de l'Office du Niger se sont recentrées sur la gestion de l'eau et du foncier, l'entretien des aménagements étant financés en partie par la redevance payée par les exploitants.

Actuellement 150 $m^3.s^{-1}$ en tête de l'adducteur sont utilisés pour l'irrigation de 60 000 ha avec quelques fois des crises d'eau. Or, avec une bonne gestion de l'eau, ce débit peut irriguer plus de 75 000 ha.

Les causes principales de ce gaspillage sont :

- la mauvaise planification des irrigations ;
- le manque d'indicateurs de gestion de l'eau ;
- la mauvaise communication des données ;
- l'insuffisance d'entretien du réseau.

Suivi de la consommation en eau

Différentes études menées dans la zone Office du Niger ont donné les références suivantes de consommation d'eau du riz (Beau, 1984) :

- 12 000 m^3/ha/hivernage ;

- 13 500 m^3/ha/hivernage.

Au cours de la campagne 1995-96, les services gestion eau de toutes les zones ont suivi les paramètres de calcul de consommation d'eau au niveau des partiteurs.

Les variations en approvisionnement sont principalement amenées par l'inégalité du volume d'irrigation aux différents endroits et aux différents niveaux. Ainsi :

- le système Sahel montre un ratio moyen Apport/Besoin (A/B) de 3 ;
- le ratio moyen des casiers varie entre 1,5 et 2,5 : les casiers réhabilités (Kouia et Rétail) n'étant pas plus performants que les casiers non-réhabilités ;
- les hors casiers et les casiers à submersion contrôlée montrent des ratios A/B de l'ordre de 2,5 à 3 pour toute la campagne (la période pluviale et la période irriguée), ce qui est à l'origine du niveau élevé du ratio A/B observé pour tout le système Sahel.

Au niveau des partiteurs, le ratio varie entre 0,8 et 2. Au niveau des arroseurs, la maîtrise de l'eau est très variable (ratio A/B entre 0,7 et 2,2).

Pour la zone de Niono, les mesures de consommation d'eau effectuées montrent qu'il n'y a pas de surconsommation.

Les pertes en eaux ou la faible efficience du réseau

La comparaison des débits livrés à Markala avec ceux observés à l'entrée des canaux primaires montre des différences énormes.

Le suivi réalisé au cours de la campagne 1995/96 montre que l'on serait aujourd'hui plus près de 40 % que de 50 % de pertes sur un apport de 36 000 m^3/ha. Une partie de ces pertes est imputable aux grands adducteurs et aux *falas* (infiltration, évaporation et gestion des niveaux par décharge dans les exutoires) et, également, aux hors casiers dont les prélèvements ne sont pas toujours contrôlables. Mais l'efficience très variable des réseaux secondaires et tertiaires est également en cause : certains partiteurs et arroseurs distribuent des volumes inférieurs aux besoins théoriques alors que d'autres apportent à la parcelle plus de 2 fois les besoins.

L'essentiel des travaux sur la gestion de l'eau a porté sur la définition, par le projet BEAU (1981), des besoins en eau et sur la gestion au niveau parcellaire par le projet GEAU (1984**).** Les résultats de ces études préliminaires ont servi de base pour la réhabilitation des terres de l'Office. Les études les plus récentes se sont intéressées à l'amélioration de l'efficience de l'irrigation.

Les études et les diagnostics réalisés sur l'Office sont unanimes sur le constat d'une faible efficience de l'irrigation. Les travaux actuels du PSI montrent que par rapport aux volumes d'eau dérivés au barrage de Markala :

- seulement 25 % sont effectivement utilisés par les cultures ;

- les pertes en eau dans le système hydraulique amont de l'Office (canal du Sahel, fala de Molodo,…) représentent 40 % : ce qui, ramené aux surfaces actuellement irriguées, explique la faible efficience globale du système hydraulique ;
- le drainage des casiers de l'Office pendant la saison rizicole est de l'ordre de 20 % des apports ;
- les 15 % restant correspondent à des pertes par infiltration dans les canaux d'irrigation essentiellement pendant la contre-saison.

Pendant la saison rizicole, la consommation en eau s'élève à 14 700 m^3/ha à l'échelle du distributeur Retail. L'objectif de 15 000 m^3/ha fixé par l'Office du Niger apparaît d'ores et déjà atteint. Considérant les pertes par drainage et les apports pluviométriques, l'eau disponible s'élève à environ 12 000 m^3/ha conformément aux besoins en eau estimés de la culture de riz (Beau, 1981) et comparables aux résultats obtenus sur d'autres périmètres suivis par le PSI au Sénégal et en Mauritanie. Ces résultats masquent néanmoins une grande diversité en fonction des différents systèmes de régulation et de leur facilité de gestion. La régulation des partiteurs équipés de modules à masque (casier Grüber) apparaît la plus performante malgré la présence de vannes semi-modules en tête d'arroseur : les volumes apportés y sont à la fois plus faibles et plus réguliers. La régulation des arroseurs par des modules à masque (casier Retail) n'est efficace que dans la mesure où les cotes de consigne sont respectées dans le partiteur. La régulation des partiteurs par des vannes plates et celle des arroseurs par des semi-modules (casier Kouya) conduisent aux performances les plus défavorables. Cette variabilité s'accroît de l'échelle du partiteur à celle de l'arroseur.

Les volumes drainés atteignent 6 870 m^3/ha, soit 47 % des apports d'irrigation :

- le drainage souterrain vers les drains d'arroseur s'élève en moyenne à 120 m^3/ha tandis que le drainage naturel de la nappe vers l'extérieur des zones aménagées ne dépasse pas 150 m^3/ha pendant toute l'année. Ces flux ne permettent pas d'assurer un drainage efficace de la nappe ;
- le drainage superficiel correspondant aux vidanges des bassins d'irrigation a été estimé à 2 320 m^3/ha pendant la période de mise en eau suivant le repiquage. S'y ajoutent les quantités d'eau vidangée à l'issue des pré-irrigations et évaluées à environ 500 m^3/ha en milieu contrôlé ;
- la plus grande partie des volumes transitant par le système de drainage serait due à des pertes dans le système d'irrigation : déversoir évacuant le trop-plein en bout des partiteurs, by-pass direct de l'eau des arroseurs aux drains d'arroseur via les rigoles d'arrosage.

Pendant la contre-saison, les volumes d'eau apportés atteignent 5 850 m^3/ha, chiffre très supérieur aux besoins des cultures qui ne représentent que 20 % environ des surfaces aménagées sur le distributeur Retail. La mise en eau du réseau conduit à des pertes par infiltration qui sont estimées à 1,5 mm/jour et qui, en alimentant les nappes, contribuent par la remontée capillaire à une concentration de sels en surface.

Analyse des principales variables socio-économiques

Pour le Mali, l'objectif de valorisation agricole des ressources hydrauliques, mais aussi pastorale et halieutique, constitue une priorité de développement. Dans ce pays où les variations climatiques rendent l'agriculture aléatoire, l'irrigation apparaît comme l'une des options les plus solides pour augmenter et sécuriser la production agricole. Et il est logique que le développement des aménagements hydroagricoles fasse partie des domaines d'intervention prioritaires du schéma directeur du secteur du développement rural 2000-10 du Mali (CPS, 2001c).

Les ressources en terre et eau existent et sont plus ou moins bien réparties sur le territoire national (*cf.* point précédent). Elles sont importantes dans le long du fleuve Niger et dans ses affluents. Elles sont cependant limitées et leur exploitation durable et équitable[4] par l'irrigation sur des aménagements hydroagricoles nécessite de faire des choix d'investissement qui prennent en compte l'ensemble des impacts à courts et longs termes. Pour déterminer les impacts et élaborer des priorités, les variables sont nombreuses (d'ordre économique, environnemental, social et politique) et leur analyse combinée est très complexe. De nombreux travaux de recherche restent encore à faire pour améliorer les connaissances sur ces différentes variables et mettre au point des méthodes et des outils pour faire des analyses qui produisent des résultats utiles et pertinents pour aider les politiques dans leurs choix.

Nous ne présenterons ici que quelques variables qui nous semblent les plus importantes et qui sont aujourd'hui relativement bien documentées.

Coûts d'aménagement

Une des contraintes majeures au développement de l'irrigation reste l'investissement important que constitue la réalisation des aménagements hydroagricoles. Les capacités d'investissement de l'État sont faibles. Celles du secteur privé sont également très limitées et elles sont, de plus, très faiblement orientées vers le secteur agricole. Les investissements dans les aménagements hydroagricoles ont jusqu'ici été le fait des bailleurs de fonds internationaux avec une participation de l'État malien et, dans certains cas, des bénéficiaires. La participation des bénéficiaires aux investissements fait partie des orientations prises par le Gouvernement malien pour le développement de l'irrigation, notamment dans le cadre de la stratégie nationale de développement de l'irrigation (SDNI).

Les coûts d'aménagement au Mali sont, d'une manière générale, élevés et constituent à ce titre une variable de première importance (tableau 13). Ils varient selon de nombreux facteurs qui ont été regroupés en 8 catégories dans le cadre d'une étude récente réalisée au Mali (Sofreco, 2003) :

4 Équitable est ici utilisé pour exprimer la nécessité d'une valorisation qui profite au plus grand nombre et en particulier aux populations qui, traditionnellement, dépendent de l'exploitation de ces ressources.

Catégories	Facteurs influençant le coût de l'aménagement
Objectifs de l'aménagement (pertinence et justification)	Justification politique et sociale Justification financière et économique
Prix des composants de base du coût des aménagements	Prix hors taxe des composants Fiscalité interne et externe (droits de douane)
Mode de réalisation	Mode de financement (national, international, privé, etc.) Type d'appel d'offre (ouvert, restreint, international, local, etc.)
Système d'irrigation	Mode d'irrigation (submersion, aspersion, etc.)
Mode et matériel d'exhaure	Pompage cours d'eau Dérivation cours d'eau/barrage Station de pompage grand débit/station de pompage faible débit Pompage forage/puits
Taille de l'aménagement	Frais fixes liés à l'aménagement Frais d'installation de l'entreprise réalisant les travaux Frais d'étude et de contrôle Dimensionnement des canaux Longueur et taille des digues et des pistes
Localisation de l'aménagement	Choix du site, topographie Nécessité d'une digue de protection Situation du périmètre par rapport au point d'eau (distance, hauteur) Situation géographiques, distances Accessibilité, coût de transport Disponibilité et coût des matériaux de construction
Options d'aménagement	Volume de terrassements : taille des pistes et digues Mode de planage Revêtement des canaux Ouvrages de contrôle de l'eau : type, nombre

Source : Sofreco, 2003

Tableau 13 - Principaux facteurs influençant les coûts d'aménagement

La disponibilité des informations sur les coûts des aménagements est très variable selon les systèmes irrigués, les périodes et les projets. De plus, les comparaisons sont très difficiles et très délicates car des données sont très variables et, malgré une même appellation, elles peuvent concerner, dans certains, cas des choses très différentes. Il y a un réel besoin au Mali d'améliorer la normalisation des dossiers pour la réalisation des projets hydroagricoles et de constituer une base de données sur les prix et sur les coûts qui permette de faire des analyses et des comparaisons de manière à favoriser la concurrence entre les entreprises et à faire baisser les prix.

Les coûts moyens établis à partir de sources diverses et dans certains cas pour des périodes différentes sont très variables entre les différents types d'irrigation mais aussi à l'intérieur d'un même système. Ils varient entre quelques centaines de milliers de Fcfa pour la réalisation d'aménagements en submersion contrôlée dans les plaines du delta central en submersion libre à 6 ou 7 millions de Fcfa pour la réalisation de PIV avec digues de protection dans la zone de Gao. Les coûts d'aménagement de la zone Office du Niger varient eux aussi fortement avec des montants de 0,5 à 1 million de Fcfa par ha - pour la réalisation d'aménagements relativement sommaires dans les zones disposant déjà des principales infrastructures - à 3 à 4 millions de Fcfa pour les casiers neufs.

Les données détaillées sont présentées par grands systèmes concernés.

Coûts des aménagements dans la zone Office du Niger

C'est dans cette zone que des données récentes sont les plus nombreuses. L'Office du Niger a réalisé au cours de la dernière décennie plusieurs projets d'extension et de réhabilitation de périmètres irrigués. Des études relativement récentes (Sofreco, 2003 ; Sogreah/BCEOM/Betico, 1999d ; Sogreah/BCEOM/Betico, 2000a) proposent des coûts moyens d'aménagement établis à partir des données de projets réalisés ou en cours de réalisation. De plus, le rapport de l'Office du Niger « Bilan de campagne 2001-02 » présente une chronologie des différents travaux réalisés de 1991 à 2001.

Coûts moyens établis à partir du bilan de campagne de l'Office du Niger 2001-02

Les projets ou les phases successives d'investissement peuvent être classés en trois rubriques en fonction des types d'aménagement et des travaux concernés :

- réhabilitation de casiers ;
- création de casiers neufs ;
- « amélioration de hors casiers ».

Cette dernière catégorie « amélioration de hors casiers » correspond, en fait, à des travaux d'aménagement relativement sommaires réalisés dans une zone où il existe déjà des hors casiers. Cependant, ces travaux portent souvent sur une superficie supérieure à celle des hors casiers en question. Au cours des 11 années concernées, l'Office du Niger aurait aménagé près de 11 000 ha supplémentaires (dont 58 % en amélioration de hors casiers) et réhabilité 10 800 ha environ (tableau 14).

Types d'aménagement	Nombre de projets	Superficies (en ha)	Total des travaux (milliards Fcfa)	Coût en Fcfa par ha			
				Moyenne	Ecart Type	Mini	Maxi
Amélioration de hors casiers	22	6 419	3, 41	581 226	388 895	69 853	1 606 145
Casiers neufs	10	4 575	8, 95	1 943 445	1 028 541	363 361	3 332 558
Réhabilitation	5	10 795	32,69	2 991 632	830 509	2 048 112	4 147 292
Ensemble	37	21 789	45, 05	2 067 331	1 121 104	69 853	4 147 292

Source : Office du Niger, 2002

Tableau 14 : Coûts moyens des travaux d'aménagement réalisés à l'Office du Niger de 1991 à 2001

Les réhabilitations réalisées au début des années 1990 auraient coûté, en moyenne, un peu moins de 3 millions de Fcfa courants par hectare, alors que les extensions réalisées à plus de 80 % à partir de 1999 auraient coûté de l'ordre de 2 millions de Fcfa/ha pour les casiers neufs et 600 000 Fcfa par ha pour l'amélioration des hors casiers.

On constate donc une forte variabilité entre les coûts moyens à l'hectare des projets ou des différentes phases de projet. Cette variabilité est une constante dans les différentes analyses menées sur ce thème pour l'ensemble du Mali (voir infra). Dans un

grand système hydraulique tel que celui de l'Office du Niger, avec des normes pré-établies[5], on aurait pu s'attendre à des coûts moins variables. Les écarts sont importants entre les types d'aménagement avec des moyennes d'environ 600 000 Fcfa/ha pour les aménagements de type « amélioration de hors casiers », 2 000 000 Fcfa/ha pour les casiers neufs et 3 000 000 Fcfa/ha pour les réhabilitations. Mais, au sein de chacun des types, les variations sont également très importantes.

Les différences de coût s'expliquent par de nombreux facteurs, dont :

- la prise en charge par les producteurs d'une partie de l'investissement (participation des bénéficiaires qui, le plus souvent, n'apparaît pas dans le coût total de l'aménagement) ;
- l'importance des travaux sur les réseaux primaires et secondaires d'irrigation et de drainage ;
- la qualité de l'aménagement ;
- la conception de l'aménagement ;
- les contraintes spécifiques au site.

Le coût moyen des réhabilitations est très élevé. Il est pourtant constitué par des réhabilitations du début des années 1990 (Rétail II et III, Boky Wéré, Siengo, Boloni) dont une grande partie a été exécutée avant la dévaluation du Fcfa. Depuis, le coût moyen des réhabilitations a diminué avec les nouveaux chantiers en cours ou achevés très récemment (Molodo, Sokolo, Boky Wéré). Les travaux en entreprise portaient auparavant sur la totalité de l'aménagement qui était livré « clef en main » avec une finition (planage des parcelles) et une qualité (types d'ouvrages de régulation de l'eau, par exemple) qui ont été réduites. Aujourd'hui, les bénéficiaires participent également à l'investissement de réhabilitation et les coûts moyens pour la réhabilitation des casiers seraient de l'ordre de 2 000 000 Fcfa/ha.

Le coût moyen des aménagements de type « amélioration des hors casiers » (dont une partie peut être considérée comme des travaux neufs : aménagements sommaires mais neufs) est très bas. Les coûts minimaux (autour de 100 000 Fcfa/ha)

5 *Cf.* Sogreah/BCEOM/Betico, 2000a, rapport 1, phase 1B. Au démarrage des travaux de réhabilitation au début des années 1980, il existait une multitude de normes à l'Office du Niger, chaque projet ayant sa propre approche. En 1989, une mission d'harmonisation a été menée et a produit un document qui devait servir de référence pour la conception des réhabilitations et des nouveaux périmètres. Ce document a été complété par les normes techniques de réaménagement et de gestion de l'eau (DAH - 1991), la note sur les options de réaménagement à l'Office du Niger (François Mole, avril 1992) ainsi que la note d'harmonisation des approches pour la réhabilitation et l'extension des casiers et hors casiers de l'Office du Niger.

- Mission d'harmonisation des options techniques de réaménagement et de gestion de l'eau (avril 1989) ;
- Normes techniques de réaménagement et de gestion de l'eau (DAH 1991) ;
- Note sur les options techniques de réaménagement de l'Office du Niger (François Molle, avril 1992) ;
- Harmonisation technique : Perspectives de développement de la région de l'Office du Niger (juin 1995).

Les options techniques retenues pour les réseaux primaires et secondaires d'irrigation et de drainage par les différents documents n'ont pas subi de modifications notoires. Par contre, les normes techniques de l'aménagement tertiaire ont évolué avec la nouvelle stratégie d'aménagement qui prévoit la participation paysanne aux travaux sous forme de main d'œuvre non-salariée et/ou sous forme financière. Ces modifications ont pour conséquence de réduire les normes d'aménagement tertiaire dans le souci de rendre les travaux à réaliser moins pénibles physiquement et supportables financièrement.

correspondent aux premiers aménagements de ce type réalisés de 1994 à 1998 sur des financements de l'USAID. Mais, même si on ne prend en compte que les travaux réalisés à partir de l'an 2000, le coût moyen reste très proche des 600 000 Fcfa/ha. Ces travaux concernent près de 6 500 ha sur la période considérée. La part des investissements pris en charge par les bénéficiaires est importante, car les travaux sont sommaires et les producteurs doivent investir du temps et du capital pour disposer d'un aménagement qui leur permette de cultiver dans de bonnes conditions. Ces faibles coûts soulèvent un certain nombre de questions qui portent sur la viabilité et la durabilité des aménagements ainsi réalisés et sur la reproductibilité ou l'importance qu'ils peuvent prendre dans la zone de l'Office du Niger. Quels sont les résultats techniques et économiques que les producteurs obtiennent sur ces aménagements ? Ces résultats sont-ils durables ? Quels sont les coûts d'entretien et de maintenance de ces périmètres pour les producteurs et pour l'Office du Niger ? Quelle est « la durée de vie » de ces aménagements ?

À notre connaissance, il y a peu de données disponibles pour tenter de répondre à ces questions. Une étude de capitalisation sur le projet Rétail IV (projet financé par AFD et KR2 pour l'aménagement de 1 700 ha et achevé en 2000) fait ressortir de nombreux problèmes, y compris en ce qui concerne la conception et la réalisation du périmètre, mais aussi pour la mise en œuvre du projet. L'étude a été réalisée un an et demi seulement après la mise en service du périmètre, or la première année de production agricole avait été un échec en raison de problèmes d'irrigation et le riz était encore sur pied pour la deuxième campagne. Il n'y a donc pas le recul nécessaire pour apprécier les résultats aux différents niveaux : parcelle, producteur, périmètre.

Les coûts des travaux neufs varient également de manière importante. Mais, une partie des investissements concerne le casier de Bewani réalisé par phases successives. Les coûts varient donc en partie en raison de l'importance des travaux réalisés sur les canaux ou sur les drains primaires ou secondaires. La moyenne pour l'ensemble de Bewani est proche de la moyenne des travaux neufs (1,22 millions de Fcfa /ha). Dans l'étude Sofreco 2003, la moyenne pondérée par les superficies des coûts à l'hectare pour trois projets de casiers neufs (Ké-Macina et Bewani) est de 2,175 millions de Fcfa.

Coûts moyens établis par l'étude Sofreco 2003

L'analyse des coûts faite dans le cadre de l'étude Sofreco 2003 sur 8 projets (tableau 15), conclue qu'il « n'existe pas de corrélation simple entre la taille d'un aménagement et son coût unitaire, même s'il semble qu'en général les grands aménagements présentent des coûts à l'hectare plus élevés que ceux de taille plus modeste. Il est intéressant de constater qu'il existe une excellente corrélation entre le montant total du marché et le volume total des terrassements ». Ainsi, les projets qui intègrent le plus de travaux de terrassements avec notamment des travaux pour la construction ou l'amélioration de canaux ou de collecteurs primaires ou secondaires, ou pour le planage des parcelles sont les projets qui ont les coûts les plus élevés. À l'inverse, les projets d'aménagements de type amélioration hors casiers qui se limitent à l'aménagement secondaire se connectant aux infrastructures primaires existantes, en laissant aux bénéficiaires le soin de réaliser la plus grande part de l'aménagement tertiaire, ont les coûts d'aménagement les plus bas. Par ailleurs, les coûts varient également en fonction du type et du nombre d'ouvrages et d'équipements.

Nom du périmètre	Ndébougou	Molodo Sud (lot 2)	Ké Macina	Bewani	Bewani (II)	Farabougou	Plaine amont	Minimana
Types de travaux	Réhabilit°	Réhabilit°	Casier neuf	Casier neuf	Casier neuf	Améliora° HC	Améliora° HC	Améliora° HC
Superficie totale (en ha)	3 100	1 430	1 140	615	300	211	200	200
Années	2001/03	2000/02	1999/00	2001/02	1998	2001/02	2002/03	1999
Coût total en Fcfa/ha, dont :	2 160	2 057	3 079	1 196	746	948	646	508
Installation	226	189	739	215	78	10	75	157
Terrassements	1 024	575	905	357	467	574	421	148
Aménagements des sols	0	664	749	135	0	0	0	100
Ouvrages d'art	540	318	425	298	111	229	125	44
Équipements	118	216	255	191	90	112	25	59
Divers	85	93	6	0	0	24	0	0

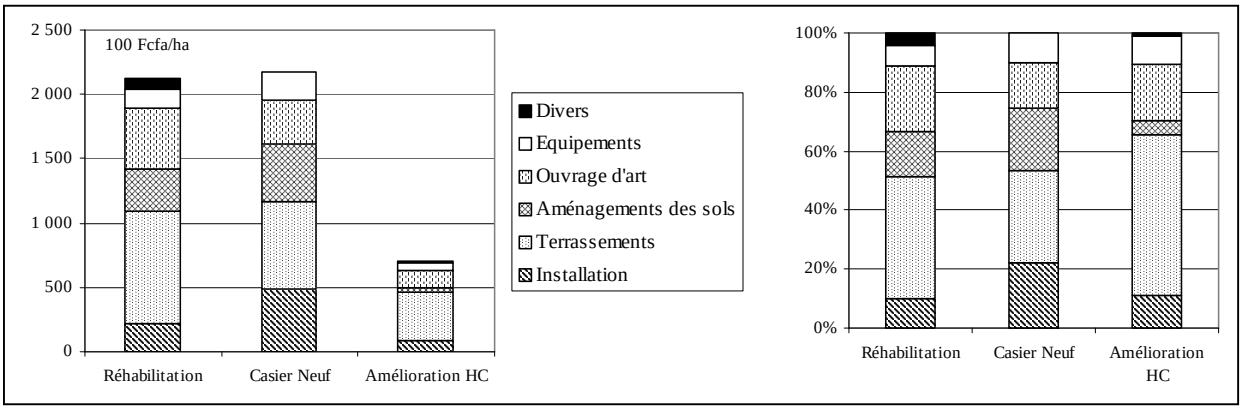
Source : Sofreco, 2003

Tableau 15 - Coûts par hectare des travaux d'aménagement de quelques périmètres en zone Office du Niger

Ainsi, le coût par hectare de l'aménagement de Ké-Macina est le plus élevé, mais il comprend la création d'un canal primaire avec beaucoup de terrassements et des ouvrages et des équipements importants. À l'opposé, le coût de Minimina, le plus faible à l'hectare, ne comprend qu'un simple rehaussement du canal distributeur et l'aménagement des 200 ha de rizières, les volumes de terrassement étant très faibles (moins du cinquième).

Les coûts moyens par catégorie de travaux sont également variables d'un projet à un autre. L'étude Sofreco 2003 fait apparaître des variations parfois élevées entre les coûts unitaires qui ne trouvent pas toujours d'explications. Elle met, par exemple, en évidence des différences entre les coûts de fonctionnement de véhicules pourtant identiques (coûts qui participent aux frais d'installation), entre les prix unitaires de certains types de béton ou les coûts de certains travaux de maçonnerie.

Les coûts moyens pondérés par les superficies (calculés à partir des données du tableau 15 par catégorie et pour les trois types de travaux) sont présentés dans le graphique de la figure 3.



Source : graphique réalisé à partir des données Sofreco, 2003

Figure 3 - Coûts moyens des travaux d'aménagement par catégorie pour les trois types de travaux à l'Office du Niger en Fcfa/ha et en %

Les coûts moyens des réhabilitations et des casiers neufs sont très proches et varient entre 2,1 et 2,2 millions de Fcfa par ha avec cependant une structure, par catégorie, différente : pour les casiers neufs, des coûts plus élevés pour l'installation du chantier (22 % du total) et l'aménagement des sols (21 %) et, pour les réhabilitations, des coûts plus élevés pour les terrassements (41 %) et les ouvrages d'art (22 %).

Les améliorations des hors casiers sont des travaux nettement moins coûteux (0,7 million de Fcfa/ha) avec des coûts de terrassement qui représentent un peu moins de 55 % du coût final et des coûts d'aménagement des sols très peu élevés (5 % du montant total) car ces travaux sont en grande partie laissés à la charge des bénéficiaires.

Dans son étude, Sofreco (2003) conclu pour la zone Office du Niger qu'il existe « *des différences parfois considérables* » entre certains prix unitaires qui peuvent en partie s'expliquer par :

- la source de financement : selon le bailleur de fonds, les entreprises pratiquent des prix plus ou moins élevés ;
- la taille des entreprises : les petites entreprises pratiquent des prix plus bas mais, souvent, ces entreprises sont incapables de réaliser des aménagements de grande dimension car elles ne disposent pas des équipements et des compétences nécessaires ;
- la nationalité des entreprises : les entreprises maliennes pratiquent des prix souvent inférieurs mais sont de plus petite taille que les compagnies étrangères.

Réduction des coûts et coûts « objectifs »

Selon l'étude du schéma directeur de développement de l'Office du Niger (Sogreah/BCEOM/Betico, 2000a), les coûts des grands aménagements seraient principalement fonction des options techniques d'équipement des périmètres et du choix de la partie exécutante (PME ou grandes entreprises).

Des normes pour la réhabilitation et la création de nouveaux périmètres ont été définies au début des années 1990. Si les options techniques retenues pour les réseaux primaire et secondaire d'irrigation et de drainage n'ont pas subi de modifications

notoires, « *les normes techniques de l'aménagement tertiaire ont évolué avec la nouvelle politique d'aménagement en vigueur à l'Office du Niger qui prévoit la participation paysanne aux travaux sous forme de main d'œuvre non salariée et/ou financière. Ces modifications ont pour conséquence de réduire les normes d'aménagement tertiaire dans le souci de rendre les travaux à réaliser moins pénibles physiquement et supportables financièrement* ».

Les options proposées dans l'étude du schéma directeur pour réduire les coûts d'aménagements sont basées sur :

- la mise en oeuvre de grands programmes d'investissement garantissant des travaux conséquents sur une longue période qui devrait permettre aux entreprises de réduire les coûts d'installation et l'ensemble des coûts d'une manière générale ;
- la réalisation de projets d'aménagement de taille suffisante permettant de répartir correctement les coûts des réseaux primaires et secondaires (irrigation et drainage) ;
- l'adoption de normes techniques qui facilitent la participation des entreprises locales et des bénéficiaires ;
- le renforcement de la participation financière et de la participation en travail physique des bénéficiaires.

Dans l'étude du schéma directeur (tableau 16), les estimations de coûts ont été effectuées pour une « surface de 3 000 ha à réaliser en un seul lot, ce qui permet une répartition modérée des frais d'installation et de contrôle à l'hectare. Les coûts moyens sont estimés[6] à 2 212 569 Fcfa/ha et portés à 2,5 millions de Fcfa pour prendre en compte les travaux d'ouvrages socio-sanitaires (lavoirs, passerelles, etc.) et les imprévus » (Sogreah/BCEOM/Betico, 2000a).

Postes d'investissement (en Fcfa/ha)	Fcfa/ha	%
Installation du chantier et études	350 000	14 %
Réseau primaire et ouvrages sociocommunautaires	616 305	25 %
Réseau secondaire	443 895	18 %
Réseau tertiaire	356 800	15 %
Réseau quaternaire	693 000	28 %
Montant total/ha	2 460 000	100 %

Source : Sogreah/BCEOM/Betico, 2000b

Tableau 16 - Coûts moyens d'aménagement prévisionnel pour les extensions en zone Office du Niger en Fcfa/ha selon l'étude du schéma directeur

Ce coût moyen, arrondi à 2,5 millions de Fcfa/ha comme coût objectif pour la planification du schéma directeur de développement de l'Office du Niger, a été validé

6 *Cf.* tableau détaillé en annexe.

par une étude récente (BRL, 2004). Cependant, cette même étude fait apparaître un coût[7] de 3,4 millions de Fcfa/ha pour le casier de Koumouna (671 ha).

Les coûts de planification du schéma directeur ne prennent pas en compte les coûts des infrastructures de base prises en charge par l'État pour leur réalisation. Les estimations faites sont très approximatives et dépendent des options prises en termes de superficies envisagées. Le système de drainage reste très imparfait dans la zone Office du Niger. Des études seraient nécessaires notamment pour définir le « macro-drainage ». Les estimations faites à partir des données du schéma directeur pour une extension de superficie de 120 000 ha supplémentaires indiquent des coûts de 365 000 Fcfa/ha à 385 000 Fcfa/ha qui viendraient s'ajouter aux coûts moyens par hectare déterminés précédemment (BRL, 2004).

Coûts d'aménagement des petits périmètres irrigués avec pompage

Les périmètres irrigués avec pompage regroupent des périmètres de tailles différentes et des modes de financement (public ou privé) ou de gestion (individuelle, familiale, collective ou communautaire) très différents. Les coûts d'investissement sont ici aussi très variables selon le site, les options techniques retenues, la participation des bénéficiaires, la taille de l'aménagement, etc.

Les petits périmètres irrigués du VRES

Les données les plus facilement disponibles sont celles du projet VRES dans la Région de Mopti sur financement de l'Union Européenne (tableau 17). Ce projet en est à sa 3ème phase d'exécution. La 1ère phase (phase initiale) s'est déroulée de 1989 à 1995. Elle fut suivie d'une deuxième phase, dite de consolidation, qui s'est déroulée de 1995 à 1999 et la 3ème phase est actuellement en cours. Depuis 1990, le VRES a réalisé une centaine de périmètres irrigués répartis dans 48 villages de la région de Mopti qui sont de deux types : les périmètres irrigués villageois (PIV) d'une taille comprise entre 10 et 40 ha et les Micro Périmètres Irrigués de Groupe (MIG) d'une superficie inférieure à 10 ha.

	MIG 8ha	PIV 20 ha	PIV 30 ha	Moyenne
Études et contrôles	75 000	60 000	60 000	62 069
Participation villageoise	250 000	500 000	500 000	465 517
Travaux hors participation villageoise	138 875	107 800	71 867	93 500
GMP et accessoires	625 000	700 000	633 333	655 172
Total	1 088 875	1 367 800	1 265 200	1 276 259

Source : Sofreco, 2003

Tableau 17 - Coûts de réalisation des petits périmètres au projet VRES en Fcfa/ha

7 Évalué à partir des marchés de travaux.

La participation des villageois (bénéficiaires) est ici clairement évaluée dans le coût final de l'aménagement et en représente 20 à 40 %. La part la plus importante revient au Groupe Moto Pompe (GMP) avec 50 à 60 % du coût final.

Les petits périmètres irrigués réalisés dans le cadre du programme Mali Nord

Le projet Mali Nord financé par la KFW et la GTZ intervient dans la région de Tombouctou et finance la réhabilitation d'anciens périmètres et la réalisation de nouveaux périmètres (figure4). Le projet met en œuvre certains principes qui tendent à réduire les coûts d'investissement des périmètres avec, notamment :

- une forte participation des bénéficiaires ;
- il n'est pas fait recours aux engins de terrassement ;
- la taille des périmètres est de 20 à 40 ha ;
- les périmètres ne doivent pas être éloignés de la source d'eau (moins de 100 m), etc.

Postes	PIV de 30 ha	Montant en Fcfa/ha
Études, topographie	1 050 000	35 000
Contrôle	450 000	15 000
Travaux participation villageoise	16 000 000	533 333
Ouvrages et équipement réseau d'irrigation	7 500 000	250 000
GMP et accessoires	10 000 000	333 333
Total	35 000 000	1 166 667

Source : Sofreco, 2003

Tableau 18 - Coûts de réalisation des petits périmètres projet Mali Nord en Fcfa/ha

Les options techniques prises permettent de réaliser des aménagements peu coûteux avec une forte participation en travail des bénéficiaires. Mais, en contrepartie, ces aménagements nécessitent d'importants travaux d'entretien. Par ailleurs, la participation villageoise est partiellement compensée par la distribution de vivres du Programme Alimentaire Mondial (PAM).

Les petits périmètres irrigués réalisés par l'Office Riz Mopti

L'Office Riz de Mopti a réalisé de nombreux périmètres irrigués villageois sur des financements divers avec des options techniques diverses et des travaux partiellement réalisés par des entreprises de travaux publics. L'étude Sofreco 2003 a retenu 4 périmètres réalisés entre 1995 et 1999 pour déterminer un coût moyen de réalisation (tableau 19).

Les coûts moyens à l'hectare varient de 1,9 à 4,0 millions avec une part pour les travaux d'entreprises qui varient de 52 % à 67 % du coût total. L'importance des travaux en entreprise pour les aménagements les plus coûteux s'explique par la réalisation d'une digue de protection.

Nom du Périmètre	Bangoundaga	Komio	Kouakourou	Gnimitongo	Moyenne
Année	1998	1995	1998	1999	
Superficie en ha	45,00	37,50	24,00	25,75	132,25
Coûts par composante en Fcfa/ha (montants arrondis)					
Études et contrôles	164 000	164 000	147 000	225 000	173 000
Participation villageoise	720 000	681 000	313 000	300 000	553 000
Travaux par les entreprises	2 700 000	2 028 000	1 111 000	978 000	1 886 000
GMP et accessoires	471 000	414 000	442 000	388 000	433 000
Total	4 055 000	3 287 000	2 013 000	1 891 000	3 045 000

Source : Sofreco, 2003

Tableau 19 - Coûts de réalisation des périmètres irrigués à l'Office Riz Mopti (en Fcfa/ha)

Les petits périmètres irrigués réalisés dans le cadre du projet PAPIV à Gao

Le projet d'aménagement des périmètres irrigués villageois (PAPIV) réalise depuis 1998 dans la région de Gao des PIV avec des objectifs de sécurité alimentaire pour les populations concernées par la production de deux cycles de culture (saison des pluies et contre-saison). La participation des populations est relativement faible et limitée aux tertiaires. L'étude Sofreco 2003 (tableau 20) a obtenu les informations pour 19 périmètres : 15 réalisés en 1998 par deux entreprises différentes et 4 en cours de réalisation en 2003.

	15 périmètres	4 périmètres
Année	1998	2003
Superficie totale en ha	360,60	68,40
Coût à l'entreprise en Fcfa/ha (chiffres arrondis)		
Installation	445 000	819 000
Terrassements	3 777 000	5 015 000
Aménagement des sols	635 000	632 000
Ouvrages d'art	434 000	1 399 000
Équipements (vanne, module, tuyaux)	7 000	11 000
Total	5 298 000	7 876 000

Source : Sofreco, 2003

Tableau 20 - Coûts de réalisation des périmètres irrigués au PAPIV dans la Région de Gao (en Fcfa/ha)

Ces coûts n'intègrent pas la contribution des bénéficiaires à la réalisation des canaux et des drains du tertiaire ainsi que le groupe de pompage.

Les coûts des périmètres du PAPIV sont très élevés, mais les travaux comprennent une digue de protection qui représente, selon l'étude Sofreco 2003 et selon les aménagements, de 48 % à 78 % des travaux réalisés par l'entreprise.

Coûts objectifs pour les périmètres irrigués villageois

Dans le cadre d'une étude de faisabilité de périmètres irrigués villageois dans le nord du pays pour le Programme National d'Infrastructures Rurales (PNIR), le bureau d'études Betico (étude en cours) évalue ainsi les coûts d'aménagement des périmètres à partir de données issues (tableau 21) :

- pour Mopti, du VRES de l'ORM et de la DRAER ;
- pour Tombouctou, de l'étude APD des périmètres V.S.F d'Assana et de Gadjindé ;
- pour Gao, du PAPIV et de la DRAER.

Région	Mopti	Tombouctou	Gao
Étude d'exécution	40 080	31 200	124 800
Achat motopompes et accessoires	384 100	299 000	379 600
Travaux de terrassement	906 810	705 900	3 640 000
Ouvrages de Génie Civil	197 060	153 400	613 600
Préparation du sol	350 000	350 000	350 000
Contrôle/surveillance des travaux	141 950	110 500	442 000
TOTAL	2 020 000	1 650 000	5 550 000

Source : communication du Bureau d'études « Betico », étude en cours dans le cadre du PNIR

Tableau 21 - Estimation des coûts de réalisation des PIV selon les régions (en Fcfa/ha)

Pour la préparation des sols, les travaux sont pris en charge par les paysans et concernent : le planage, le labour parcellaire et la confection des diguettes (compartimentage).

A partir de ces coûts plus faibles en moyenne que ceux présentés dans les points précédents, le bureau d'étude fait une proposition de coûts (tableau 22) de 2,5 millions de Fcfa/ha pour les aménagements à réaliser.

Désignation	%	Coût de l'aménagement (en Fcfa)
Étude d'exécution	5	125 000
Achat motopompe et accessoires	30	750 000
Travaux de terrassement	46	1 150 000
Ouvrages de Génie Civil	11	275 000
Contrôle/surveillance des travaux	8	200 000
Total	100	2 500 000

Source : communication du Bureau d'études « Betico », étude en cours dans le cadre du PNIR

Tableau 22 - Coûts moyens prévisionnels pour la réalisation des PIV dans le nord du Mali (en Fcfa par ha)

Ce montant de 2,5 millions par hectare comprend la participation paysanne, mais ne comprend pas la réalisation d'une digue de protection.

Coûts de réalisation des aménagements de bas-fonds

Comme pour d'autres systèmes, les coûts d'aménagement des bas-fonds dépendent des caractéristiques spécifiques du site aménagé et des options techniques retenues, en particulier pour la maîtrise de l'eau.

Selon l'étude ARD 2002, sur 33 bas-fonds aménagés en 2002 avec le financement de la BAD, le coût moyen à l'hectare était de 650 000 Fcfa. Plus la zone aménagée est vaste, moins le coût est élevé à l'hectare. Aucun aménagement de plus de 15 hectares ne coûtait plus d'un million de Fcfa à l'hectare. Toutefois, pour l'aménagement d'une plaine (l'exemple cité est celui de la plaine de Kléla) avec un système complexe de maîtrise de l'eau, le prix pourrait s'élever à 2,7 millions de Fcfa/ha. L'entretien annuel de ces systèmes coûte cinq à dix pour cent du coût d'aménagement initial (ARD, 2002).

Dans la zone CMDT, les coûts d'investissement moyen, toutes variantes de réalisation confondues, étaient de l'ordre de 550 000 Fcfa/ha au cours des années 1990 (Kébé *et al.*, 2003). Mais les variations sont fortes : dans la zone de Koumantou (secteur de la CMDT), les 13 sites aménagés en 1995/96 cumulaient une superficie irriguée de 120,50 ha pour 142 millions d'investissement total soit 1,181 million par hectare. La moyenne par site était de 1,336 millions par hectare avec un écart type de 667 000 Fcfa. La contribution des populations au montant total des coûts devait être de 30 % au début du projet, mais elle a régulièrement baissé passant de 28 % en 1993/94 à 16 % en 1995/96. Cette baisse a été compensée par une contribution financière du projet et la dévaluation du Fcfa.

Coûts d'aménagement des périmètres en submersion contrôlée

Ce type de périmètres a été développé au cours des années 1970 et 80 pour faire face à la sécheresse. Deux offices fonctionnent avec ce type d'aménagement : l'Office Riz Mopti et l'Office Riz Ségou, mais il y a eu peu d'investissements récents pour ce type d'aménagement en raison des problèmes rencontrés pour leur mise en valeur (cette partie est traitée dans les autres points). Les données disponibles sur les coûts d'aménagement sont donc rares.

Le rapport ARD 2002 cite le projet le projet de Développement agricole du delta (Projet DAD) mis en œuvre par CARE Mali avec un financement de l'USAID. Démarré en 1997, le DAD a eu un impact très positif sur la mise en valeur de 49 000 ha de terres irriguées avec la submersion contrôlée. Le projet aménage des plaines en submersion libre déjà cultivées en périmètres à submersion contrôlée avec, en particulier, la réalisation de digues et de canaux principaux. Le rapport ARD propose qu'environ 100 000 ha pourraient être facilement aménagés dans les cercles de Djenné, Youvarou, Mopti et Ténenkou avec des coûts d'aménagement de l'ordre de 160 000 Fcfa/ha (ARD, 2002).

Le DAD a tenté d'améliorer à la fois les aspects organisationnels et techniques de la production des cultures céréalières et fourragères. Le projet améliore les capacités des associations intervillageoises (AIV) et de leurs comités de gestion. En améliorant les moyens de contrôler l'entrée et la sortie des eaux de crue dans les casiers et en introduisant des variétés de riz à haut rendement et d'autres pratiques améliorées, le DAD a contribué à augmenter les rendements, la production et les revenus des exploitants de façon significative.

Synthèse sur les coûts d'aménagement

Ce qui caractérise les coûts d'aménagement, c'est leur grande diversité d'un type de périmètre à un autre mais aussi à l'intérieur d'un même type (tableau 23). Par ailleurs, il existe une réelle difficulté pour comparer les coûts entre différents projets car les travaux ne sont pas les mêmes et les budgets ne sont pas dans des formats qui permettent des comparaisons faciles. Une des premières options serait de mettre en place un système de suivi des prix pratiqués et des coûts d'aménagement, de fonctionnement et d'entretien réellement efficace au niveau national et régional. Avec une bonne standardisation et une diffusion efficace des résultats des observations, ce système permettrait certainement d'augmenter la concurrence et ainsi de diminuer les coûts.

Office du Niger	Coût par ha (chiffres arrondis)
Améliorations hors casiers	600 000
Réhabilitations (nouvelles)	2 000 000
Casiers neufs	2 000 000
Coût objectif pour les extensions	2 500 000
PIV VRES et Mali Nord	1 300 000
PIV ORM	3 000 000
PAPIV Gao	6 000 000
Coût objectif des PIV	2 500 000
Submersion controlée	200 000
Bas-fonds aménagés	300 000
Aménagement des bas-fonds en maîtrise totale	2 650 000

Tableau 23 - Coûts moyens pour la réalisation des aménagements au Mali (en Fcfa/ha)

Les prix moyens sont donc très variables. Ils correspondent à des travaux différents qu'il est très difficile de comparer. Comment comparer le coût d'un PIV dans une zone inondable qui demande la réalisation d'une digue de protection et la réalisation d'un PIV sur bourrelet de berge en utilisant essentiellement du travail manuel ? De même, au sein de l'Office du Niger, il est difficile de comparer des travaux d'amélioration de hors casiers et des travaux de réalisation de casiers neufs. Cependant, dans une perspective de choix des investissements publics, il est nécessaire de pouvoir comparer ces coûts et les avantages ou inconvénients qu'ils apportent. Ainsi, à l'Office du Niger, si les résultats (rendements) obtenus par les producteurs sont proches entre ces deux types et si les charges d'entretien et de maintenance sont voisines, la stratégie de développement de l'irrigation devrait en tenir compte (malheureusement les données disponibles sont insuffisantes aujourd'hui).

Les facteurs qui influent sur les coûts des aménagements sont nombreux. Les objectifs visés par la réalisation de l'aménagement hydroagricole sont des éléments qui peuvent influencer de manière très importante les coûts d'aménagement. Selon la justification politique, sociale, économique ou financière, le projet peut prendre des options très différentes avec des répercutions importantes sur les coûts. Entre un organisme qui a vocation à réaliser des projets avec un fort taux de main d'œuvre locale et un privé désireux de réaliser un projet à vocation purement économique, les coûts finaux risquent d'être très différents. Il en est de même entre des aménagements réalisés

pour faire face à des problèmes urgents de sécurité alimentaire et des projets planifiés pour valoriser un potentiel économique tel que l'Office du Niger.

La réalisation des aménagements et leur fonctionnement demandent un recours plus ou moins important à des produits qui, au Mali, sont pour la plupart importés. Les prix des composants de base comme le ciment, les fers à béton ou le bois sont influencés par les taxes et les droits de port, mais surtout par le fait que ces produits sont importés des pays voisins sur des distances relativement longues et avec des infrastructures peu développées. L'enclavement du Mali qui protège le riz produit localement du riz importé (le riz est la principale production irriguée) est aussi un élément qui influe à la hausse sur les prix des produits de base. Par ailleurs, les prix des principaux produits ont tendance à augmenter plus vite que le prix des produits agricoles (et notamment du riz paddy).

Le mode de réalisation influe également sur les coûts. Souvent, pour un projet réalisé dans le cadre d'un financement par bailleurs de fonds, les prix proposés par les entreprises ont tendance à être plus élevés que pour un projet financé par des fonds locaux ou par une ONG réputée plus stricte.

Le système d'irrigation retenu influe comme on l'a vu sur le coût final de l'aménagement. Mais on constate aussi que dans un même système, les variations sont aussi fortes qu'entre des systèmes.

Les modes et les matériels d'exhaure influent surtout sur les coûts de fonctionnement et d'entretien. La taille de l'aménagement est également un facteur important.

Enfin, la localisation, les options d'aménagement et les normes retenues sont certainement les facteurs qui influent le plus.

Les données disponibles sont souvent disparates et difficiles à comparer. Il manque un système d'information sur ce thème qui permettrait de faire des analyses comparatives détaillées, de mieux planifier les projets d'aménagement hydroagricole et de faire baisser les prix en accentuant la concurrence.

Les options de faire participer les bénéficiaires, d'avoir recours à des entreprises locales pour les études et le contrôle et d'opter pour des systèmes techniques simples mais robustes ont permis de faire baisser les coûts.

Les choix techniques à la conception ont des incidences importantes sur les coûts de fonctionnement du périmètre, les résultats techniques et les modes de gestion. Mais on n'en connaît pas bien les effets, car il y a peu de données observées précises (par exemple à l'Office du Niger sur les résultats des améliorations hors casiers).

Le choix de donner la priorité à la maîtrise totale apparaît justifié, mais la réalisation d'aménagements simples et peu coûteux comme la submersion contrôlée ou l'aménagement de bas-fonds, de micro barrage et de plaines ne doit pas être négligé. Ces aménagements permettent des gains de productivité conséquents et, de plus, peuvent constituer une étape (apprentissage) vers des systèmes plus performants.

Coûts de fonctionnement et de gestion de l'eau

Les choix retenus lors de la conception de l'aménagement expliquent en partie les coûts récurrents liés au fonctionnement des périmètres. Les coûts de fonctionnement correspondent ici aux charges liées à l'irrigation, au drainage, à l'entretien du périmètre (entretien courant et gros entretien) et à l'amortissement des éléments à amortir (essentiellement les matériels et équipements électromagnétiques et le matériel de pompage) et aux frais de gestion de l'outil de production qu'est le périmètre.

Comme pour les coûts des aménagements, les coûts de fonctionnement sont très variables et les données observées disponibles (et non les normes couramment utilisées lors des études de faisabilité) sont rares et difficiles à comparer et à analyser.

Coûts de fonctionnement (entretien et maintenance) et de gestion de l'eau à l'Office du Niger

Responsabilités pour la gestion de l'eau et l'entretien des infrastructures

Les infrastructures hydrauliques de l'Office du Niger peuvent être classées en trois grands types selon la responsabilité de la gestion de l'eau et de la maintenance (tableau 24) :

- le réseau primaire composé des infrastructures de base (barrage, adducteur, etc.) ;
- le réseau secondaire avec les canaux et drains principaux (distributeurs et partiteurs) ;
- et, enfin, le réseau tertiaire constitué des arroseurs, drains d'arroseurs et des rigoles (Keïta *et al.*, 2001) ;

L'Office du Niger gère pour le compte de l'État qui en assure le financement :

- le barrage et ses ouvrages annexes (canal de navigation, écluse de Thio) ;
- le canal adducteur ;
- les canaux primaires (le canal du Sahel et le fala de Molodo, le canal du Macina et le fala de Boky Wéré ;
- les ouvrages régulateurs des points A, B et C ;
- et la partie des drains principaux situés hors des limites des zones aménagées (*cf.* carte en annexe).

L'Office du Niger gère pour son propre compte les réseaux secondaires. Il assure la responsabilité financière des travaux d'entretien et de la gestion de l'eau qu'il finance avec le produit des redevances perçues auprès des exploitants.

Les réseaux tertiaires sont à la charge des exploitants qui les entretiennent sous la supervision de l'Office du Niger.

Réseau	Gestion de l'eau		Entretien/Maintenance	
	Exécution	Financement	Exécution	Financement
Primaire (barrages, grands ouvrages et grands adducteurs, collecteurs et pistes correspondantes)	Office du Niger	Exploitants*	Office du Niger	État et exploitants*
Secondaire (distributeurs, partiteurs, arroseurs indépendants, drains principaux et secondaires et pistes qui leur correspondent) ***	Office du Niger	Exploitants*	Office du Niger avec l'assistance des CPGFE **	Exploitants*
Tertiaire (arroseurs et drains correspondants)	Office du Niger et exploitants	Exploitants	Exploitants	Exploitants
Parcelles	Exploitants	Exploitants	Exploitants	Exploitants

* À travers la redevance hydraulique
** CPGFE : comité paritaire de gestion des fonds d'entretien du réseau hydraulique secondaire
*** mais aussi de grands réseaux secondaires comme les canaux de Molodo, de Grubber et de Sokolo et les drains et les pistes correspondants

Source : adapté de Keïta *et al*., 2001 et BRL, 2002

Tableau 24 - Répartition des responsabilités de gestion selon le type de réseau à l'Office du Niger

Pour la gestion de l'eau, l'Office du Niger dispose de personnel spécialisé[8] qui intervient jusqu'à la prise de partiteur (secondaire). La prise d'arroseur (tertiaire) est explicitement gérée par les exploitants ou leur représentant (le chef arroseur) (Sogreah/BCEOM/Betico, 1999d).

Cependant, le partage des responsabilités décrit ci-dessus est valable pour les exploitants de type petit producteur. Dans le cas de grandes entreprises agricoles, les responsabilités peuvent être différentes avec une plus grande part pour l'exploitant. Dans le cas de la Sukala-SA, société agro-industrielle de production de sucre, l'Office du Niger exécute ou fait exécuter à la charge de cette société l'entretien de l'ensemble du système Costes-Ongoïba. La gestion de l'eau et l'entretien du canal Costes-Ongoïba font objet d'une convention entre l'Office du Niger et cette société.

Il y a donc une répartition des responsabilités de gestion avec une implication des exploitants pour l'ensemble du service au niveau tertiaire, pour la maintenance au niveau du secondaire et pour une partie du financement de la maintenance sur le primaire.

Coûts de la gestion des eaux, de la maintenance des aménagements et de l'entretien des infrastructures et montants de la redevance

1- L'objet de la redevance hydraulique

Les exploitants des terres de l'Office du Niger sont soumis au paiement de redevances annuelles :

8 L'Office du Niger est divisé en 5 zones technico-administratives. Le personnel affecté dans ces zones au service de gestion de l'eau était de 122 personnes en 2002 dont 67 aiguadiers (soit environ 1 aiguadier pour 800 ha).

- pour la fourniture d'eau en ce qui concerne les exploitants des régimes de contrat annuel, de permis d'exploitation agricole (PEA) et de PEA provisoires ;
- pour la fourniture de l'eau et pour l'occupation des terres en ce qui concerne les exploitants des régimes du bail ordinaire et du bail emphytéotique[9].

Pour le bail emphytéotique, le montant de la redevance annuelle est fixé par décret pris en Conseil des Ministres, alors que pour le bail ordinaire, il est fixé par arrêté du Ministre de tutelle de l'Office du Niger.

La redevance hydraulique payée par les exploitants à l'Office du Niger pour chaque campagne de production est destinée, d'après le décret de gérance, à supporter en totalité ou en partie :

- les charges directes d'exploitation et de maintenance de l'ensemble du système, c'est-à-dire le service de gestion de l'eau et de l'entretien et un éventuel renouvellement des aménagements hydroagricoles ;
- les charges indirectes d'exploitation et de maintenance constituées par les frais de gestion technique, administrative et financière ;
- les charges de protection des cultures (contre les oiseaux et les rats).

2- Les coûts d'exploitation et de maintenance du réseau primaire

Dans le décret de gérance, il n'est prévu qu'une participation des exploitations à la gestion des eaux pour le réseau primaire. La participation des exploitants au financement de l'entretien des réseaux résulte d'un accord conclu à la signature du deuxième contrat-plan entre l'État, l'Office du Niger et les exploitants.

Les coûts de gestion de l'eau pour le réseau primaire sont estimés à environ 50 millions de Fcfa par an, ils sont entièrement couverts par la redevance. Les montants totaux dépensés annuellement pour l'entretien du réseau primaire varient entre 341 et 451 millions de Fcfa (BRL, 2002). Dans la redevance, 4 300 Fcfa/ha sont destinés au réseau primaire, soit un peu moins de 250 millions de Fcfa ; ce qui couvre plus de 55 % des frais totaux pour le réseau primaire.

3- Les coûts d'exploitation et de maintenance du réseau secondaire

Les coûts d'entretien et de maintenance du réseau secondaire sont entièrement couverts par la redevance (donc pris en charge par les exploitants). Les coûts globaux pour l'ensemble de l'Office du Niger sont passés de près de 1,25 milliard de Fcfa en 1995 à plus de 2 milliards de Fcfa en 2002 en francs courants. Cette augmentation est liée à une augmentation de la superficie aménagée et donc du réseau, mais aussi à l'augmentation des coûts des travaux et des coûts de gestion de l'eau par hectare.

9 Article 106 du cahier des charges (arrêté n° 96 1695 MDRE-SG du 30/10/1996).

4- Les coûts d'exploitation et de maintenance du réseau tertiaire

La gestion de l'eau et les frais d'exploitation et de maintenance du réseau tertiaire sont sous la responsabilité des exploitants. Le travail d'entretien était valorisé en 2002 par l'Office du Niger à environ 14 000 Fcfa/ha/an, en moyenne. Ces coûts correspondent essentiellement à du travail.

Selon l'Office du Niger, les travaux réalisés atteignent 70 % de ce montant (BRL, 2002). Mais, en réalité, le dispositif de suivi et d'évaluation n'est pas suffisamment performant pour faire des estimations fiables dans ce domaine. Cependant, il a été observé des niveaux de dégradation relativement importants sur certains arroseurs, justifiants de gros travaux d'entretien et de rattrapage.

5- Les coûts d'exploitation et de maintenance pour l'ensemble du réseau

Sur la base des données ci-dessus, le coût global d'exploitation et de maintenance du réseau est évalué pour l'année 2002 à 63 000 Fcfa/ha (tableau 25). La part la plus importante est celle de l'entretien et de la maintenance du réseau secondaire avec 57 % du montant total. Les frais de gestion de l'eau représentent 10 % du coût total.

	Coût total Millions Fcfa	**Coût par ha* Fcfa par ha**	**Répartition des financements**		
			État	Redevance	Exploitants
Entretien et maintenance du réseau primaire	382	6 627	46 %	54 %	0 %
Gestion eau primaire	40	694	0 %	100 %	0 %
Entretien et maintenance du réseau secondaire	2 061	35 781	0 %	100 %	0 %
Gestion eau secondaire	341	5 920	0 %	100 %	0 %
Entretien et maintenance du réseau tertiaire	806	14 000	0 %	0 %	100 %
TOTAL	3 630	63 023			

* La superficie de référence utilisée pour les calculs est de 57 600 ha
Source : élaboré à partir de BRL, 2002

Tableau 25 - Coûts d'entretien, de maintenance et de gestion à l'Office du Niger (année 2002)

Ces coûts sont pris en charge en quasi-totalité par les producteurs puisque la contribution de l'État est limitée à moins de la moitié des coûts du primaire soit moins de 5 % du coût total. La redevance payée par les producteurs couvre 73 % des coûts totaux. Enfin, les producteurs réalisent eux-mêmes l'entretien du tertiaire qui est estimé à 22 % du coût total.

Montant de la redevance payée par les producteurs et destination

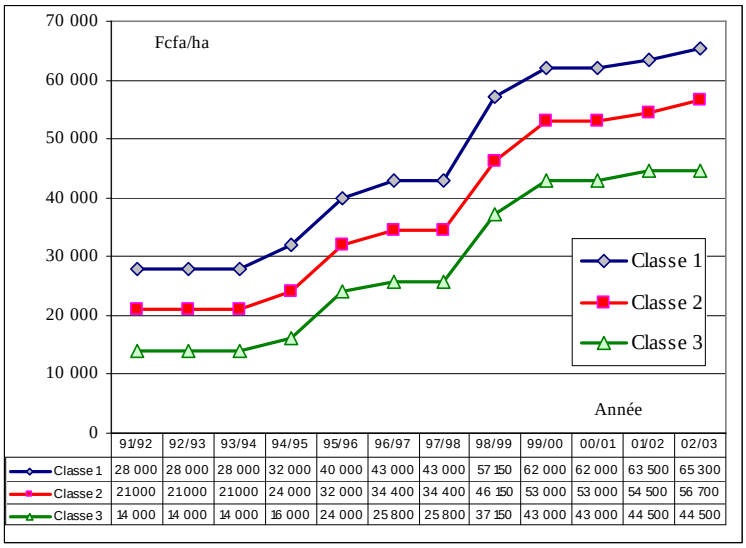
La redevance est fonction des éléments suivants :

- le type d'aménagement, avec trois classes :
- classe 1 : maîtrise totale de l'eau (casiers réhabilités ou neufs) ;
- classe 2 : maîtrise imparfaite de l'eau (casiers non réhabilités) ;

- et classe 3 : mauvaise maîtrise de l'eau (casiers non réhabilités, très dégradés et hors casiers).
- Il existe un tarif pour chacune de ces classes. Ce tarif est décidé dans le cadre du Contrat-Plan qui lie pour trois ans l'État, l'Office du Niger et les exploitants (figure 4).
- l'intensité culturale (double culture) en fonction de l'affectation de la terre à une production principale avec 3 types de terres. Les trois types sont : la simple riziculture, la double riziculture et le maraîchage. Ces deux dernières soles sont localisées sur des casiers réhabilités ou neufs de classe 1. La deuxième culture annuelle n'est facturée que 10 % du montant de la classe pour certaines soles.

Le montant de la redevance payée par le producteur est lié au type d'aménagement (classe) et à la saison de culture en fonction de l'affectation donnée à la parcelle (sole). Sans entrer dans les détails, le système, issu de la fin des années 1980, avantage la double culture de riz avec une redevance de 10 % du montant normal pour la deuxième culture de riz en contre-saison. Il ne favorise pas la double culture riz/maraîchage qui pourtant est plus adaptée vis-à-vis des disponibilités en eau et qui apparaît plus favorable en termes de revenus pour les producteurs.

En 2002-03, les tarifs étaient les suivants : 65 300 Fcfa/ha pour la classe 1, 56 700 Fcfa/ha pour la classe 2 et 44 500 Fcfa/ha pour la classe 3.



	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	96/97	97/98	98/99	99/00	00/01	01/02	02/03
Classe 1	28 000	28 000	28 000	32 000	40 000	43 000	43 000	57 150	62 000	62 000	63 500	65 300
Classe 2	21000	21000	21000	24 000	32 000	34 400	34 400	46 150	53 000	53 000	54 500	56 700
Classe 3	14 000	14 000	14 000	16 000	24 000	25 800	25 800	37 150	43 000	43 000	44 500	44 500

Figure 4 - Évolution du montant de la redevance selon les classes d'aménagement à l'Office du Niger (en Fcfa/ha)

On notera que la progression a été bien plus forte pour la classe 3 (les hors casiers notamment) que pour la classe 1 (les casiers réhabilités ou neufs). Sur la période du graphique, on a :

- Classe 1 : + 133 %
- Classe 2 : + 170 %
- Classe 3 : + 218 %

La redevance est facturée directement à l'exploitant à titre individuel. L'exploitant doit s'en acquitter avant une date butoir fixée en fonction de la saison de culture (le paiement de la redevance d'une culture de riz en saison des pluies de l'année n doit être fait avant le 31 mars de l'année n + 1). Le non-paiement de la redevance est un motif de retrait de la parcelle.

La redevance représente en 2002 environ 3 milliards de Fcfa, soit 82 % des produits de l'Office du Niger (BRL, 2002). Les taux de recouvrement sont bons (96 % en moyenne de 1994 à 2000). Les montants recouvrés permettent de faire face aux charges d'entretien et de maintenance et de gestion de l'eau (voir supra) mais aussi à la défense des cultures et aux charges de fonctionnement de l'Office du Niger (en plus des charges directes de la gestion de l'eau et de la maintenance, tableau 26).

Année	**2002**		**1998**		**1995**	
Type de charges supportées	Fcfa/ha	%	Fcfa/ha	%	Fcfa/ha	%
Maintenance des réseaux secondaires	35 800	57 %	31 700	57 %	25 300	67 %
Gestion eau secondaire	5 900	9 %	4 600	8 %	4 500	12 %
Part entretien réseau primaire	3 600	6 %	3 300	6 %	700	2 %
Gestion eau primaire	700	1 %	1 000	2 %	7 300	19 %
Part fonctionnement Office du Niger	16 000	26 %	12 400	22 %		
Défense des cultures	600	1 %	2 400	4 %		

Source : BRL, 2002

Tableau 26 - Charges directes supportées par la redevance payée par les exploitants à l'Office du Niger

En 2002, la part de la redevance utilisée pour couvrir des charges de fonctionnement de l'Office du Niger s'élève à 26 %. La progression de ce poste est importante en valeur relative mais aussi en valeur réelle puisque le montant payé de la redevance a progressé. La part destinée à la défense des cultures est faible avec seulement 1 %.

Les producteurs prennent de plus en plus en charge les dépenses de fonctionnement, d'entretien et de maintenance de l'aménagement. Aujourd'hui, les producteurs prennent en charge (redevance et travaux sur le tertiaire et quaternaire) plus de 90 % du coût total.

Les coûts actuels peuvent paraître élevés, les redevances payées par les producteurs ont fortement augmenté depuis une dizaine d'année, ils restent pourtant, selon les études, encore insuffisants pour s'assurer d'une préservation du patrimoine. Par ailleurs, il reste encore de nombreuses améliorations à apporter aux infrastructures pour une meilleure gestion de l'eau.

Jusqu'ici l'eau n'est pas payée en tant que facteur de production. Les producteurs payent une redevance pour l'entretien des infrastructures et la gestion de l'eau, mais l'eau n'est pas facturée en fonction de sa consommation. Dans la perspective

d'une meilleure gestion de la ressource, la facturation en fonction des quantités consommées apparaît comme incontournable à moyen terme. Cependant, l'adoption d'une facturation sur la base de quantités consommées impose des investissements pour le contrôle des quantités mais aussi et surtout des changements profonds dans les modes d'intervention et de fonctionnement des acteurs impliqués.

Coûts de fonctionnement (entretien et maintenance) et de gestion de l'eau dans les petits périmètres irrigués villageois

Les coûts de fonctionnement de ces périmètres sont très variables et dépendent fortement des options techniques prises lors de leur conception. Les données observées qui ont pu être rassemblées pour cette étude sont peu nombreuses.

D'une manière générale, les petits périmètres ont des coûts d'entretien et de pompage très élevés. Pour le projet VRES, il n'y a pas de données précises sur le coût d'entretien du périmètre. Celui-ci est réalisé par les villageois, avec quelque fois des difficultés pour mobiliser l'ensemble des exploitants pour réaliser les travaux. Les problèmes les plus importants résident dans l'entretien de la tête morte souvent sur dimensionnée (Zaslavsky *et al.*, 1999).

Les coûts de fonctionnement, d'entretien et d'amortissement des groupes motopompes sont élevés (tableau 27). Les consommations en carburant sont très élevées car souvent mal maîtrisées : la moyenne serait de 120 l/ha pour les PIV et de 180 l/ha pour les MIG (Zaslavsky *et al.*, 1999). Le matériel utilisé, le caractère sommaire des aménagements avec de fortes pertes dans les réseaux et le manque de maîtrise de la part des producteurs seraient à l'origine de ces coûts élevés. On notera que du fait de ces niveaux de consommation, les coûts de production sont sensibles aux évolutions des prix des carburants qui peuvent enregistrer de très fortes variations.

Les coûts d'entretien et de réparation sont également très élevés. Un des premiers problèmes que doit affronter les populations de cette zone pour l'entretien et les réparations des groupes motopompes est l'enclavement et l'absence d'un réseau expérimenté et efficace de réparateurs et de vendeurs de pièces détachées. Chaque déplacement est très coûteux et même si le projet subventionne et œuvre à l'installation progressive d'un réseau avec des artisans et des vendeurs compétents, les résultats obtenus restent très insuffisants. D'une manière plus globale, la motorisation n'est pas encore généralisée dans ces zones.

Dans cet environnement peu favorable, les organisations, groupements ou familles en charge d'un GMP ont tendance à sous entretenir leur équipement, ce qui, au final, provoque un vieillissement plus rapide et des réparations plus coûteuses.

Postes	Prix	PIV 30 ha	PIV 20 ha	MIG 6 ha	PEIF 1,5 ha
Frais de carburant	270 Fcfa.l^{-1}	32 400	32 400	48 600	51 000
Frais de lubrifiant	1 000 Fcfa.l^{-1}	4 000	4 000	6 000	
Salaire pompiste		2 000	2 000	5 000	
Réparation et entretien du GMP		17 000	15 700	43 900	38 000
Entretien du réseau		3 750	3 750	3 750	2 250
Amortissement GMP		39 100	36 000	74 750	125 000
Total		98 250	93 850	182 000	216 250

Tableau 27 - Estimation du coût de revient de l'eau par hectare pour les différents types de périmètres irrigués du VRES

Les coûts de revient de l'irrigation dans les aménagements en submersion contrôlée sont nettement plus faibles mais ils n'ont pas pu être collectés pour l'étude.

Les coûts d'irrigation (entretien et maintenance, fonctionnement, gestion de l'eau) sont, comme les coûts d'aménagement, très élevés. Ils sont particulièrement élevés dans les petits périmètres avec pompage et soulèvent un certain nombre de questions sur la rentabilité finale des périmètres. Celle-ci ne peut être atteinte qu'avec des résultats techniques performants (bons niveaux de rendement) et un accès au marché indispensable pour acquérir ou rembourser les consommations intermédiaires.

La durabilité du périmètre est liée à l'entretien et à la maintenance. Les coûts étant très élevés et les capacités de gestion des organisations paysannes étant souvent faibles, les opérations d'entretien, de maintenance « et d'amortissement » sont souvent négligées. D'où des problèmes importants pour le renouvellement des groupes motopompes et pour la réalisation des travaux de gros entretien.

Gestion foncière

La disponibilité en terres irrigables au Mali n'est pas une contrainte en tant que variable « sols aptes à l'irrigation » : les rives du fleuve Niger, les vastes cuvettes inondables et les nombreux bas-fonds constituent une ressource importante apte à l'irrigation qu'il suffirait d'aménager. Cependant, quand on appréhende le foncier dans sa dimension socio-économique, cette variable devient une contrainte plus ou moins forte selon les régions.

L'aménagement foncier, hydroagricole ou non, constitue un investissement et, d'une manière générale, cet investissement, s'il est le fait d'institutions privées (exploitations agricoles ou entreprises) demande une relative sécurité foncière. C'est aujourd'hui un des enjeux majeurs auxquels est confronté à la fois les institutions politiques et la société civile. Le processus de décentralisation prévoit un transfert de la gestion des ressources aux collectivités locales et le développement socio-économique passe, selon certains, par une privatisation progressive des terres ou, au minimum, par une plus grande sécurisation foncière de l'exploitation familiale pour l'inciter à réaliser des investissements. La question est donc d'actualité, mais elle est aussi particulièrement difficile à aborder parce qu'il n'existe pas de modèle indiscutable et que les arguments touchent les fondements même de la société (des sociétés rurales du Mali) et de son fonctionnement.

La position dominante chez les bailleurs de fonds peut-être résumée avec le paragraphe suivant extrait d'un rapport sur les politiques foncières de la Banque Mondiale : « *Il est important de connaître l'origine et l'évolution des droits de propriété pour apprécier en quoi les droits fonciers influent sur le comportement des ménages et peuvent à leur tour être influencés par les politiques des pouvoirs publics. Depuis toujours, les droits de propriété ont évolué notamment en fonction de l'augmentation de la rentabilité des investissements liés à l'utilisation plus intensive des terres résultant de la croissance démographique ou des possibilités offertes par l'intégration plus poussée de l'économie au marché et les progrès techniques. Dans le processus du développement, presque tous les pays devront, pour nourrir des populations qui ne cessent d'augmenter ou pour exploiter les créneaux économiques associés au commerce, effectuer des investissements dans les terres, investissements que les cultivateurs seront plus disposés à faire si leurs droits fonciers sont sécurisés. Des innovations institutionnelles permettant d'attribuer ces droits peuvent engendrer un cycle vertueux de croissance démographique, d'investissements accrus dans les terres, de développement économique et d'amélioration du bien-être. À l'inverse, l'incapacité des institutions responsables de la gestion des droits fonciers à satisfaire ces demandes peut conduire à l'accaparement des terres, à des conflits et à la dissipation des ressources, ce qui, dans des circonstances extrêmes, risque d'hypothéquer le potentiel productif et économique des sociétés* » (Banque Mondiale, 2003).

Dans un pays comme le Mali où les situations se répartissent entre gestion étatique à l'Office du Niger et dans les grands périmètres et gestion traditionnelle dans les autres zones rurales et sur les petits périmètres, les évolutions institutionnelles restent à inventer.

L'Office du Niger

La gestion foncière à l'Office du Niger revêt un caractère particulier au Mali car les terres sont gérées par l'État. Les terres aménagées et une grande partie des terres facilement aménageables aujourd'hui ont été immatriculées pour le compte de l'État (un peu moins de 200 000 ha sont immatriculés, un programme serait en cours pour l'immatriculation de 50 000 ha supplémentaires). L'État a transféré à l'Office du Niger leur gestion notamment à travers le décret de Gérance (1996).

L'historique de la gestion foncière à l'Office du Niger est caractérisé par la précarité des attributions de terre aux exploitations agricoles familiales. Au démarrage du projet à l'époque coloniale, le système de colonat a été adopté avec des attributions provisoires « le bail d'adaptation » accompagné par des promesses de régularisation faites aux colons : après 10 ans de bonne gestion, ils devaient obtenir un permis d'occuper (bail d'établissement permanent, transmissible par héritage). Les exploitants n'ont jamais obtenu cette régularisation promise. Par la suite, les gouvernements maliens successifs ont maintenu des systèmes de gestion étatique se traduisant par une forte insécurité pour les producteurs y compris en termes d'habitat. Ce n'est qu'à la fin des années 1980 avec la réhabilitation des casiers (notamment le casier Rétail sur financement de l'AFD) que de nouvelles orientations ont été prises pour assurer un minimum de sécurisation foncière à des producteurs en charge du réseau tertiaire et qui donc devaient pouvoir s'investir dans l'entretien des infrastructures. En 1989, est pris le premier décret qui permet l'octroi de droits fonciers pérennes aux paysans de l'Office du Niger. Il prévoit la gestion des terres par les organisations paysannes et reconnaît

deux statuts fonciers : celui d'exploitant permanent, titulaire du permis d'exploitation agricole (PEA) qui sécurise sa situation tant qu'il respecte un cahier des charges normatif, et celui d'exploitant temporaire, passant un contrat annuel renouvelable avec l'Office (Jamin et Doucet, 1994).

Le décret de gérance de 1996, toujours en vigueur, définit la gestion foncière. La gérance concerne les terres aménagées et aménageables à partir des eaux dérivées à Markala. Elle est étendue aux terres non irrigables dans la mesure où celles-ci peuvent être utiles à la mission de l'Office du Niger. La gérance est effective après immatriculation au nom de l'État. Les modes de tenure possibles des terres agricoles sont régis par des contrats individuels (Sogreah/BCEOM/Betico, 2000c) :

- sur les terres affectées et aménagées (mais aussi non aménagées « hors-casiers et extensions ») :
  - le CAE (Contrat annuel d'exploitation), révocable avec 3 mois de préavis avant la fin de la saison de culture ;
  - le PEA (Permis d'exploitation agricole) sur les terres réhabilitées : droit de jouissance à durée indéterminée (mais les terres peuvent être reprises en cas de non respect des obligations prévues au cahier des charges), il peut être octroyé aux titulaires du CAE après deux ans de culture et peut être transmis au conjoint, descendant ou collatéral sous certaines conditions. Sur les terres non encore réhabilitées, un PEA provisoire peut être obtenu, mais il donne lieu à des réductions de surface en cas de réallocation au moment du réaménagement.
- sur les terres non aménagées : les baux emphytéotiques et les baux ordinaires, avec :
  - les aménagements à la charge du preneur ;
  - l'obligation de respecter les normes techniques édictées par l'Office ;
  - l'obligation de mettre en valeur conformément au contrat (mais les conditions de constatation de la mise en valeur ne font pas l'objet de précisions) ;
  - le paiement d'une redevance annuelle ;
  - une durée de 50 ou de 30 ans.

Le bail d'habitation est passé au bénéfice des exploitants. Il constitue un droit de jouissance à durée indéterminée. Il est transmissible comme le PEA mais également cessible (le droit de cession inclut en principe le droit de vente). Cette mesure est importante car, auparavant, les producteurs évincés des terres perdaient également l'usage de leur habitation.

L'intervention des organisations de producteurs dans la gestion du foncier est acquise avec la mise en place d'un Comité paritaire de gestion des terres (CPGT) au niveau de chaque zone. Ce comité regroupe un nombre égal de représentants des exploitants et de cadres de l'Office du Niger. Il permet de faire circuler l'information, d'échanger des avis et de discuter de certaines situations. Mais ce comité n'a pas de réel pouvoir de décision sur les actes de gestion foncière. Par ailleurs, la représentation des producteurs ne s'adosse pas à une véritable organisation, d'où les difficultés pour faire circuler les informations et pour assurer une réelle participation.

Il est prévu que « certaines » fonctions de gestion des terres non irriguées puissent être exercées par les Communes Rurales par délégation de l'Office du Niger, mais le transfert de terres aux Communes Rurales n'est pas envisagé.

Le décret de 1996 précise le cahier des charges définissant les obligations de l'attributaire pour tous ces « titres ». Les exploitants titulaires de contrats annuels d'exploitation ou de permis d'exploitation agricole sont tenus :

- au respect des clauses d'intensification agricole de l'Office ;
- au respect des normes d'entretien du cahier des charges ;
- au paiement régulier de la redevance hydraulique.

Le non respect de ces obligations est sanctionné par la résiliation du contrat annuel, la reprise des terres, objet du PEA, et l'éviction des exploitants concernés. Les cessions ou locations de terres font aussi l'objet d'éviction des exploitants (Tall et al., 2002).

Les mesures prises en 1996 vont dans le sens d'un renforcement des droits des occupants. Le PEA permet une transmission des droits à ses ayants droits. Le bail d'habitation sécurise réellement le villageois et lui permet d'investir dans l'habitat, les baux constituent – à priori – des garanties suffisantes pour sécuriser l'investissement privé dans l'aménagement et les comités paritaires de gestion du foncier sont un premier pas vers une plus grande participation des exploitants à la gestion foncière.

Cependant, ces réaménagements maintiennent l'interdiction de tout échange et de toute transaction foncière directement entre paysans et tardent à se concrétiser. Le CAE, bien que non encore formalisé, demeure le mode de gestion le plus répandu et la diffusion des PEA est loin d'être à la hauteur des attentes des paysans[10]. La situation, notamment en raison de la très forte pression foncière, exige des modes de régulation qui ne peuvent se faire qu'en dehors du cadre légal. Il existe donc de nombreuses pratiques « parallèles » qui sont plus ou moins tolérées par l'Office du Niger mais qui restent illégales et qui peuvent entraîner l'éviction des exploitants qui les mettent en œuvre. Parmi ces pratiques, les locations annuelles « officialisées » par des contrats informels sont les plus répandues et concernent une part non négligeable des superficies[11]. Depuis la fin des années 1990, il existe un marché des attributions correspondant à des ventes de parcelles. La concrétisation de la vente – qui est illégale – peut se faire sous couvert d'une séparation de famille avec changement du nom de l'attributaire au niveau du service concerné de l'Office du Niger. En 2000, une parcelle d'un hectare pouvait se négocier jusqu'à près de 1 million de Fcfa sur les casiers nouvellement réhabilités (Bélières *et al.*, 2002c).

10 Une situation faite en 2000 indique qu'environ 1 500 PEA ont été accordés pour une superficie totale de l'ordre de 7 500 ha soit seulement un peu moins de 15 % de la superficie aménagée en casiers. Les CAE concernent donc encore 85 % des surfaces.

11 Selon une enquête réalisée en 2000 sur un échantillon de plus de 3 000 exploitations agricoles de toute la zone Office du Niger, les modes de faire-valoir indirect concernaient 9 % des superficies et 15 % des parcelles (Bélières *et al*., 2002b).

En zone Office du Niger, le statut des terres et les pratiques de gestion foncière sont-ils adaptés pour prolonger et renforcer la dynamique de développement enregistrée au cours des années 1990 ? Cette question se décline selon trois grandes thématiques :

- la tendance à la précarisation des exploitations agricoles en raison de la baisse des superficies moyennes ;
- l'impact des évictions des exploitants qui ne respectent pas les règles (et, en particulier, qui ne peuvent pas payer la redevance) et des statuts actuels qui ne prennent pas en compte la participation paysanne aux investissements ;
- l'adaptation du régime foncier et des pratiques de gestion pour favoriser l'investissement à travers des systèmes financiers.

La situation qui prévaut aujourd'hui dans la zone de l'Office du Niger est caractérisée par une baisse continue des superficies moyennes détenues par les exploitations agricoles familiales. Cette baisse est principalement liée aux segmentations des exploitations sous le double effet de la croissance démographique et de l'évolution sociale avec une tendance à la prise d'indépendance des frères cadets ou des autres chefs de ménage dépendants. Elle est également liée aux réattributions effectuées par l'Office du Niger après réhabilitations. Enfin, elle est liée à des attributions par l'Office du Niger de superficies de très petite taille (loin des normes prévues dans le décret de Gérance) sur les nouveaux aménagements (casiers neufs ou hors casiers améliorés) à de nouveaux riziculteurs.

La superficie moyenne par exploitation agricole était, en 2000, de 3,73 ha irrigués dont 3,29 ha sur casiers et 0,44 ha sur hors casiers (Bélières *et al.*, 2002b). La caractéristique principale est une forte concentration des superficies avec des exploitations très faiblement dotées : 50 % des exploitations disposent de seulement 19 % de la superficie totale en casiers. Cependant, il n'y a pas de très grandes exploitations (> à 100 ha). Dans la typologie proposée par l'URDOC avec 6 classes d'exploitation agricole, les trois dernières classes sont celles des petites exploitations qui représentent 52 % du nombre total des exploitations et qui ont en moyenne 1,27 ha, 1,79 ha et 2,20 ha en irrigué.

La réduction des superficies moyennes disponibles par famille constitue aujourd'hui une des contraintes fortes au maintien de la dynamique de développement de la zone Office du Niger. Les petites exploitations sont dans des situations précaires avec des risques importants d'entrer (suite à une difficulté quelconque aussi bien familiale que de mauvaise récolte) dans un cycle qui les amène à ne plus pouvoir faire face aux engagements et à être exclus progressivement d'abord du marché des capitaux, puis du marché des intrants et enfin évincés par l'Office du Niger pour non paiement de la redevance.

La gestion foncière telle que pratiquée ces dernières années n'a pas permis d'endiguer la tendance à la réduction des superficies cultivables par exploitation. Au contraire, les réaffectations de terre après réhabilitation et les nouvelles attributions ont accentué le phénomène.

L'éviction fait partie des actes de gestion de l'Office du Niger. Elle est prononcée essentiellement quand les exploitants ne payent pas leur redevance. Les bons

niveaux de recouvrement de la redevance obtenus par l'Office du Niger tout au long de ces dernières années seraient dû, notamment, à cette menace qui pèse sur les mauvais payeur. Les évictions annuelles étaient relativement faibles jusqu'en 2003. Localisées essentiellement dans la zone de Macina, elles étaient de l'ordre de 1 000 ha en moyenne par an sur la décennie 90 et concernaient principalement des non-résidents (Sogreah/BCEOM/Betico, 1999b). De 2000 à 2002, les évictions auraient été faibles (moins de 1 000 ha) mais en augmentation. En 2003, suite à une mauvaise année et à un mouvement de contestation mené par les syndicats, l'Office du Niger aurait évincé un nombre important de familles (plus de 4 000 exploitants) sur une superficie de plus de 5 103 ha, soit plus de 8 % de la superficie mais plus de 15 % des familles attributaires en 2003 (26 435 attributaires selon l'Office du Niger).

Sans remettre en question la pratique et les évictions effectuées, l'impact de la mesure va dans le sens de l'accentuation de la pauvreté puisque, si on retire aux producteurs en difficulté (souvent de petits producteurs, *cf.* point précédent) leur outil de production, on leur enlève la possibilité de redresser leur situation. Si on veut conjuguer lutte contre la pauvreté et développement durable à l'Office du Niger, les pratiques de gestion foncière doivent prendre en compte ces objectifs avec l'installation de familles sur des superficies qui permettent de construire des exploitations viables d'une part et des possibilités de recours pour faire face aux engagements. Parmi les options possibles, il pourrait être envisagé un changement de statut avec la possibilité de donner les terres en location pour les exploitants en difficulté et leur permettre ainsi de faire face aux échéances sans perdre complètement l'outil de production. Par ailleurs, pour les exploitants qui ont participé à l'investissement pour la réalisation de l'aménagement, la mesure d'éviction ne peut être prononcée sans prendre en compte le montant des investissements réalisés ni, d'une manière ou d'une autre, permettre au producteur de retrouver une partie des fonds non amortis.

La participation des bénéficiaires aux investissements pour la réalisation des aménagements hydroagricoles sur financement public est un principe adopté depuis la fin des années 1990, notamment à travers la Stratégie nationale de développement de l'irrigation (MDRE, 1999). Les modalités de la participation ne sont pas déterminées. Selon les projets, les modalités varient : la participation peut être sous forme de travail, sous forme d'un montant à verser en numéraire ou dans une combinaison des deux. L'estimation de la participation en travail des producteurs est, elle aussi, faite sur des bases qui peuvent varier, et l'on peut estimer que, dans le cadre des projets actuels menés à l'Office du Niger, cette participation est souvent sous-estimée : les aménagements du tertiaire et du quaternaire pour obtenir une parcelle en pleine maîtrise de l'eau étant importants et demandant des travaux sur plusieurs années. Pour l'aménagement de la branche Rétail IV, la participation financière des bénéficiaires s'élève à 300 000 Fcfa/ha, ce qui représente plus de 40 % de l'investissement total du projet (GEDUR, 2003). Ce montant a été payé à raison de 20 % au moment de la réalisation et le reste transformé en prêt moyen terme à la FCRMD. Pour les différentes phases de Béwani, la participation a varié : elle est essentiellement constituée de travail et a été souvent stimulée par la distribution de nourriture. Avec des participations du niveau de celles utilisées pour le projet Rétail IV, il apparaît difficilement concevable que le statut de la terre et les pratiques de gestion de l'Office du Niger (attribution d'un CAE) ne soient pas adaptées pour prendre en compte et défendre les intérêts de ces bénéficiaires qui, de fait, sont des investisseurs. La participation paysanne et son développement comme modalité d'intervention des investissements publics appellent

une adaptation des textes et des pratiques pour améliorer la garantie foncière. Peut-on envisager une participation des bénéficiaires sans une plus grande sécurité ou, au moins, une garantie d'usufruit sur la longue durée des investissements réalisés ? Cette sécurisation ne passe pas systématiquement par la privatisation : des baux pourraient être accordés aux exploitations agricoles familiales au même titre que les exploitations privées.

Enfin, le développement de la zone de l'Office du Niger passe aujourd'hui par une extension des superficies aménagées bien plus utile et profitable aux exploitants agricoles et au pays que la poursuite de la réhabilitation de casiers (où les paysans ont atteint un niveau de productivité déjà relativement élevé). Une des contraintes importantes est constituée par le coût des investissements pour l'aménagement. Elle peut être levée par la mise en place de systèmes de financement pour favoriser la participation des exploitations agricoles familiales (plus sûrement que d'hypothétiques investisseurs privés). Le système de financement doit être adapté avec des crédits à long terme gagés. La terre pourrait constituer une garantie, même si elle ne sera certainement pas suffisante pour financer l'ensemble de l'aménagement, à condition qu'il existe un marché du foncier efficace et que les marchés des autres facteurs de production (intrants, travail, crédits) soient également efficaces. Il faut que les banques ou les autres organismes financiers qui utilisent la terre comme garantie puissent s'assurer qu'en cas de défaillance la terre trouvera preneur à bon prix. Cette option plaide pour une réforme de fond du régime foncier qui irait vers une privatisation des terres qui, bien évidemment, devra être accompagnée par des mesures de régulation (pour éviter la spéculation sur le foncier et la concentration des terres, favoriser le développement de la production agricole et soutenir une politique des structures). Dans le cadre d'un projet financé par la Banque Mondiale (projet Koumouna), des options ont été prises avec la décision d'attribuer à titre expérimental des titres fonciers. Il faut cependant noter que la mise en œuvre de cette option pose de nombreux problèmes et n'est toujours pas appliquée.

C'est dans ce cadre général que s'est engagé le débat sur la privatisation du foncier à l'Office du Niger. Selon les experts, les avis sur la question sont divers. Certains pensent que les textes actuels sont suffisants pour assurer la sécurité foncière aussi bien pour les petits exploitants (puisque le PEA permet notamment la transmission des droits aux descendants) que pour les investisseurs (avec des baux ordinaires ou emphytéotiques qui assurent des droits sur la terre pendant des périodes suffisamment longues pour sécuriser les investissements). D'autres jugent ces textes insuffisants pour des raisons variées :

- seuls les titres fonciers permettraient d'attirer les investisseurs et pourraient servir de garantie pour emprunter ;
- les possibilités d'éviction des détenteurs de PEA n'accordent pas à ces derniers une sécurité suffisante, en particulier si les exploitants participent aux investissements d'aménagement ;
- les textes actuels interdisent les transactions (ventes) et les modes de faire-valoir indirect (location ou métayage).

Aujourd'hui, le débat pourrait être résumé par l'intérêt de l'introduction progressive d'un marché foncier dans la zone de l'Office du Niger pour favoriser le

développement socio-économique à long terme. Cette transition foncière apparaît comme souhaitable avec cependant des adaptations pour s'assurer du bon fonctionnement du système hydraulique et pour limiter la spéculation foncière.

Dans les autres types d'aménagement

Dans les autres « grands » périmètres en maîtrise totale de l'eau sous gestion publique (par exemple Sélingué ou Baguinéda), la situation est proche de celle de l'Office du Niger. L'office qui gère l'aménagement gère également le foncier avec des règles d'attribution et des pratiques de gestion qui laissent assez peu de place aux producteurs dans les prises de décision.

Dans les périmètres en submersion contrôlée (ORM et ORS), les évolutions depuis les années 1990 se sont traduites par la mise en place de comités de gestion constitués avec des représentants des producteurs. Une commission est chargée de l'attribution. L'attributaire est tenu de respecter les clauses de la convention d'installation et du cahier des charges. L'attributaire est à priori sécurisé puisque, s'il est respectueux de ces conditions, il est assuré d'exploiter indéfiniment la parcelle attribuée. Mais, de fait, sa situation comporte une part d'insécurité liée aux pratiques de gestion et à leurs évolutions.

Dans le nord du pays (6ème et 7ème région), beaucoup de périmètres irrigués (PIV et grands périmètres) seraient dans des situations difficiles avec un fonctionnement hydraulique souvent défectueux et une exploitation perturbée par des conflits fonciers provoqués surtout par la convoitise des propriétaires coutumiers des terres sur lesquelles ils ont été implantés. La quasi-totalité des PIV aménagés collectivement dans la région de Gao serait située sur des terres de propriété coutumière privée et la revendication sur ces terres semble être le principal blocage à l'exploitation rationnelle de ces périmètres. L'insécurité foncière et la mauvaise gestion aboutissent à des conflits qui finissent souvent au niveau de la justice (tribunal). L'insécurité foncière explique en grande partie le non engouement observé aujourd'hui chez les producteurs pour l'exploitation des PIV : beaucoup d'exploitants ne veulent pas continuer à travailler dans ces conditions. Dans certains périmètres, un autre facteur d'insécurité est le métayage avec les rentes foncières élevées à la récolte : il ne reste presque plus rien à certains métayers après la rente et le paiement de la redevance. Ceux qui n'abandonnent pas ne veulent plus assurer les gros entretiens de leurs parcelles et refusent notamment de faucarder pour lutter contre l'infestation des terres de leurs maîtres (Tall *et al.*, 2002). Cette analyse de la situation des PIV dans le nord du pays indique l'importance de la contrainte foncière et la double nécessité, d'une part, d'identifier puis de purger les droits fonciers au démarrage du projet et, d'autre part, de faire évoluer le régime foncier de manière à réguler le marché foncier.

Dans les petits périmètres irrigués villageois du reste du pays, l'attribution des terres est faite le plus souvent sur la base de normes liées à la taille démographique des exploitations qui indiquent à la fois la force de travail et les besoins alimentaires. Le fonctionnement du périmètre est sous la responsabilité d'un comité villageois. La gestion des terres est un compromis entre gestion communautaire et appropriation individuelle des parcelles qui peut varier d'un village à un autre. Souvent, la gestion des terres est influencée par la gestion financière et technique (hydraulique) du périmètre. Avec la dégradation du périmètre (et/ou pour faire face aux difficultés pour mobiliser

les financements nécessaires à la réparation ou au renouvellement de la motopompe, au remboursement de crédits ou à des opérations d'entretien), le bon fonctionnement du périmètre est souvent lié aux pratiques de gestion foncière et à la capacité des comités mis en place à prendre des décisions pour éviter les blocages (remplacement d'attributaire en cas de non paiement de la redevance ou de cotisations, de non entretien ou de non participation aux travaux d'entretien, de mauvaise pratiques de mises en valeur, etc.). La petite taille de ces périmètres et leur implantation dans des villages où il existe la plupart du temps une bonne cohésion sociale (cette cohésion sociale est souvent un critère utilisé pour le choix du site) font que les conflits fonciers sont assez rares. Toutefois, il convient que les droits fonciers traditionnels qui existent sur la terre aménagée soient clairement apurés en début de projet. Les options actuellement prises pour améliorer la sécurisation foncière des exploitants sont de proposer que des titres de concession rurale soient attribués pour une ultérieure éventuelle transformation en titre foncier. Si, dans le cas d'une gestion communautaire, les avantages ne semblent pas évidents au premier abord, ils le sont dans le cas de petits périmètres familiaux ou privés.

Conclusion

De manière générale, des réformes foncières sont nécessaires pour :

- prendre en compte les nombreuses évolutions constatées dans les zones rurales au Mali ;
- rendre opérationnel le transfert de la gestion des ressources naturelles aux Communes Rurales dans le cadre de la décentralisation ;
- permettre aux exploitations agricoles familiales de se moderniser en investissant progressivement dans l'aménagement foncier.

Avec une contribution de plus en plus grande des bénéficiaires aux aménagements, le développement des échanges monétaires et une dépendance accrue au marché, la saturation et l'appropriation des terroirs et la réduction de la taille des exploitations agricoles, les droits de propriété devraient évoluer vers des formes plus individualisées. Ces évolutions sont nécessaires pour le développement des systèmes irrigués.

Mais le débat sur le foncier est complexe et les enjeux très importants pour les nombreux acteurs des sociétés rurales du Mali. La bibliographie et les expériences (Lavigne Delville, 1998) indiquent qu'il n'existe pas de recette miracle et que dans ce domaine la prudence doit être de mise.

Intensification et diversification des cultures

Les aménagements hydroagricoles au Mali sont, pour la plupart, réalisés avec un objectif de production rizicole. Même si le riz n'est pas la seule production envisagée (en général, la production de légumes et de cultures diverses de contre-saison est également envisagée), il demeure la culture principale sur laquelle est basée la rentabilité de l'opération avec une part de la production commercialisée sur le marché domestique pour payer les consommations intermédiaires. D'où l'enjeu majeur que revêt l'intensification de la riziculture en ayant comme objectif une diminution des coûts unitaires pour valoriser les investissements réalisés.

La rentabilité de ces investissements demeure encore souvent très en deçà des prévisions initiales. La réduction des coûts doit se faire simultanément par une augmentation des rendements, une utilisation plus rationnelle des intrants et une amélioration de la qualité prenant en compte les besoins des consommateurs.

En matière de gestion des cultures, les technologies pour la production intensive de riz sont disponibles et utilisées de diverses façons sur les différents aménagements hydroagricoles. Il s'agit essentiellement de matériel végétal, de techniques de production et d'outils de gestion des aménagements.

Matériel végétal

Le Programme riz irrigué (PRI) de l'Institut d'économie rurale (IER) a développé des variétés performantes pour la culture d'hivernage (saison) et la culture de contre-saison. Parmi les variétés de saison, on peut retenir : Kogoni 91-1 (Gambiaka suruni), BG 90-2, Sébérang MR 77, etc. Les variétés Sahélika, Wassa, Nionoka sont cultivées en contre-saison. La variété Jama Jigi a été identifiée comme tolérante à la Cécidomyie.

Techniques culturales

Les techniques culturales intensives existent (fertilisation, calendrier cultural, techniques de travail du sol, irrigation, etc.) et sont largement connues dans certains systèmes comme dans l'Office du Niger et dans les autres zones encadrées.

Le 15 juillet a été établi comme date limite de semis des variétés photopériodiques. L'optimum pour les variétés non photopériodiques se situerait entre le 15 juin et 15 juillet suivant le cycle dans la zone Office du Niger. Il a été établi que malgré la non sensibilité à la photopériode, l'impact du climat reste important pour déterminer la période de culture aussi bien en hivernage que pendant la contre-saison. Le retard dans les semis expose les plants à une stérilité liée soit au froid, soit à la chaleur.

Cette situation limite la flexibilité de date de semis pour esquiver les périodes demandant beaucoup d'eau ou pour simplement profiter des pluies pour diminuer les besoins en irrigation.

La densité de semis pour les variétés à paille haute a été établie à 80 kg/ha paddy pour le semis en ligne et de 120 à 140 kg/ha pour le semis à la volée. Pour avoir une densité optimale de repiquage, les écartements de 25 cm x 25 cm avec 3 plants par poquet sont conseillés pour permettre l'utilisation de houes sarcleuses. Les écartements 20 cm x 20 cm ou 20 cm x 15 cm sont conseillés pour les variétés de cycle court (PRI, 1996-97). L'âge optimal conseillé pour le repiquage des jeunes plants est de 21 à 30 jours. La caractérisation de variétés pour le semis pré-germé a permis d'identifier des variétés qui s'adaptent à cette pratique.

La disponibilité limitée du crédit, des intrants et des équipements nécessitent une plus grande diversité et flexibilité des calendriers culturaux. L'amélioration des rendements et l'augmentation de l'intensité culturale obligent à un calage précis du cycle cultural afin d'éviter les risques liés aux contraintes climatiques. L'analyse de la

combinaison de tous ces paramètres (variétés, date et mode d'implantation) sur la durée du cycle cultural et sur la stérilité des épillets est possible grâce au logiciel RIDEV (Dingkuhn *et al*., 1995).

Ces multiples techniques utilisées isolément ne permettent pas une exploitation optimale du matériel végétal. L'identification des meilleurs itinéraires techniques devra être poursuivie en tenant compte de toutes les contraintes liées à la culture dans le milieu réel.

En fertilisation minérale, les besoins en azote (N) pour les variétés à paille haute sont de 80 kg(N)/ha; ceux des variétés à paille courte sont établis à 120 kg(N)/ha en hivernage et à 150 kg(N)/ha en contre-saison. L'apport fractionné de 3/8 d'azote au tallage et de 5/8 d'azote à l'initiation paniculaire s'est montré efficace pour les variétés à paille haute. Les besoins du riz en phosphore (P2O5) se situent entre 30 et 40 kg(P205)/ha pour une fertilisation d'entretien sous forme de phosphate soluble. Toutes ces doses sont uniformes pour les différents types de sol rencontrés à l'Office du Niger. En plus du phosphore et du potassium, les études de l'URDOC (1998) ont indiqué un besoin en soufre pour les sols du Macina.

Une première synthèse des travaux a montré le rôle bénéfique de la matière organique enfouie sous forme de paille de riz (10 t/ha) en simple culture (Bagayoko, 1984). Deux formules de fertilisation organo-minérale ont fait l'objet de test en milieu paysan à l'Office du Niger et dans d'autres périmètres rizicoles. Le niveau de rendement moyen obtenu est d'environ 5 t de paddy à l'hectare avec les trois traitements comparés : 5 t de fumier/an + 46 kg(N)/ha, paille de riz produite (environ 5 t/ha) et 90 kg(N)/ha + 23 kg(P2O5)/ha. L'impact sur les caractéristiques chimiques et physiques en simple culture et les connaissances de l'évolution de la fertilité des sols en double culture à l'Office du Niger restent à évaluer.

L'efficacité de l'enfouissement d'une production d'azolla a été établie en station. Une culture d'azolla (environ 25 à 30 t/ha de frondes) correspond à 30 kg(N)/ha. L'adaptabilité agro-pédologique de différentes souches a été établie (Rapports SRCVO, 1985-90).

La diversification des systèmes de cultures

Les études sur l'introduction, en grande culture et en contre-saison après la culture du riz, d'autres spéculations n'ont pas été très concluantes (Beau, 1981). Seules les cultures maraîchères se développent sur des superficies limitées. Avec la réhabilitation des parcelles en cours et l'utilisation des variétés de riz non sensibles à la photopériode à cycle court, l'introduction d'autres spéculations est cependant envisageable.

Protection des cultures

En phytopathologie, la pourriture des gaines causée par *Soracladium oryzae* et la panachure jaune a été identifiée en zone Office du Niger sur BG 90-2. Les recherches relatives à la résistance variétale du riz aux foreurs de tiges ont montré la tolérance des variétés Sebérang MR 77 et Muda MR 71.

En malherbologie, il ressort des méthodes de lutte expérimentées que le labour de fin de cycle est efficace contre *Oryza longistaminata* et que le labour de saison après pré-irrigation est efficace contre *Oryza barthii*. En lutte chimique, le glyphosate (8 l/ha) s'est montré efficace dans la maîtrise du riz sauvage à rhizomes. En outre, des herbicides sélectifs tels que le Ronstar PL (6 l/ha), l'Arrosolo (6 l/ha), le Rifit, le Basagran PL2 (6 l/ha) et le Londax ont prouvé leur efficacité contre les adventices annuelles du riz irrigué (Diarra et Konaté, 1984-90 ; Programme Riz Irrigué 1992-93). Malgré l'efficacité prouvée du glyphosate, son coût élevé réduit ses possibilités d'utilisation par les paysans.

Le niveau d'utilisation actuelle des herbicides et des insecticides est faible mais une attention particulière doit y être portée, surtout en ce qui concerne la réutilisation des eaux de drainage.

La double culture

Dans le cas de la double culture riz/riz, le cycle cultural en contre-saison pose de nombreux problèmes notamment en termes :

- de maîtrise des techniques et du calendrier par les producteurs et par l'organisation en charge du périmètre ;
- des risques de stérilité du fait des vents chauds ;
- des coûts plus élevés pour le pompage en raison de la forte évaporation et de la hauteur de pompage ;
- mais aussi – en particulier en zone Office du Niger – des disponibilités en eau puisque les besoins sont très importants à l'étiage du fleuve (voir question précédente). D'une manière générale, les rendements en riz obtenus par les producteurs en contre-saison sont inférieurs, mais cette production, disponible en début d'hivernage, permet d'assurer la soudure alimentaire.

On observera que, dans de nombreux cas, les études de faisabilité des périmètres de type PIV tablent sur des taux importants de double culture (le plus souvent 50 % soit un taux d'intensité culturale annuel de 150 %). De tels taux de double culture permettent d'obtenir, pour les projets, des taux de rentabilité interne suffisamment élevés pour justifier l'investissement du bailleur de fonds. En réalité, ces taux ne sont que très rarement, et ponctuellement, atteints.

La double culture du riz en hivernage et du maraîchage de contre-saison est techniquement plus facile à maîtriser. L'arrière effet des cultures maraîchères sur le riz est très favorable. Cependant, les débouchés pour les produits limitent souvent les superficies cultivées. Les producteurs rencontrent de sérieux problèmes de commercialisation car les marchés sont relativement réduits avec des pics de production qui font s'écrouler les prix.

Outils d'aide à la décision

Des outils d'analyse existent : l'analyse de la combinaison de tous ces paramètres (variétés, date et mode d'implantation) sur la durée du cycle cultural et la stérilité des épillets est possible grâce au logiciel RIDEV (Dingkuhn *et al.*, 1995).

Le pôle de recherche sur les systèmes irrigués du CORAF, en étroite coopération avec les producteurs et les responsables des organisations paysannes, a travaillé depuis 1996 à la mise au point d'outils d'aide à la gestion des espaces ruraux et des périmètres irrigués pour améliorer leurs performances et préserver les ressources du milieu (Eaux-Sols). Les outils d'aide à la gestion des aménagements hydroagricoles (CalCul, IRFA, AGIR) ont été conçus et définis pendant la première phase du PSI-CORAF de 1997 à 1999.

Ces outils ont démontré, dans ces quelques cas, leur pertinence comme outils d'aide à la discussion, à la négociation et à la décision pour les choix collectifs de la mise en valeur agricole de l'aménagement et de la mobilisation des facteurs de production. Ces outils permettent d'établir un état des lieux de l'aménagement et de proposer des stratégies et des actions concrètes d'amélioration des performances dans la gestion tant technique (service de l'eau, exploitation agricole) que financière (redevance, crédits, achats d'intrants, commercialisation des récoltes…). Cependant, ils ne sont encore qu'à un stade de pré-développement et, avant de pouvoir être généralisés comme outils d'aide à la gestion des aménagements hydroagricoles, il faut, d'une part, les valider techniquement dans des situations plus nombreuses et plus diverses et, d'autre part, cibler les bénéficiaires et en définir les conditions de transfert et d'appropriation.

Les outils demandent maintenant à être adaptés et transférés aux organisations paysannes pour être testés et validés.

Conclusion

Les techniques intensives de production, plus ou moins bien adaptées aux différentes situations des systèmes irrigués maliens, existent. Cependant, leur mise en œuvre (notamment la double culture) demande que l'ensemble des autres contraintes soient levées et que les marchés fonctionnent : marché des crédits, marché des intrants et des équipements, marché des produits, etc.

Prix, rentabilité et marchés

La rentabilité de l'agriculture irriguée est liée, notamment, au rendement. La maîtrise de l'eau permet d'obtenir des rendements élevés pourvu :

- que cette maîtrise soit effective. Or, sur certains types d'aménagement (submersion contrôlée, par exemple), elle ne l'est pas et, quand l'entretien et la maintenance des infrastructures sont insuffisants, la maîtrise de l'eau baisse, réduisant fortement les capacités productives ;
- que les itinéraires techniques mis en œuvre par les producteurs permettent l'intensification (avec le recours à des techniques et des technologies intensives) ;
- et que les marchés des intrants, des services et des produits soient efficaces.

Les fourchettes de rendements moyens obtenus en riziculture au Mali selon le type d'aménagement sont présentées ci-dessous (tableau 28). Les données font apparaître une progression des rendements en fonction du degré de maîtrise de l'eau.

Type de riziculture	Rendements moyens en t pas ha
Riziculture traditionnelle en submersion libre	0,00 à 1,00
Riziculture de bas-fonds	0,70 à 2,50
Riziculture en submersion contrôlée	1,00 à 3,00
Riziculture en maîtrise totale de l'eau	3,00 à 6,00

Tableau 28 - Rendements moyens en riz selon le type d'irrigation au Mali

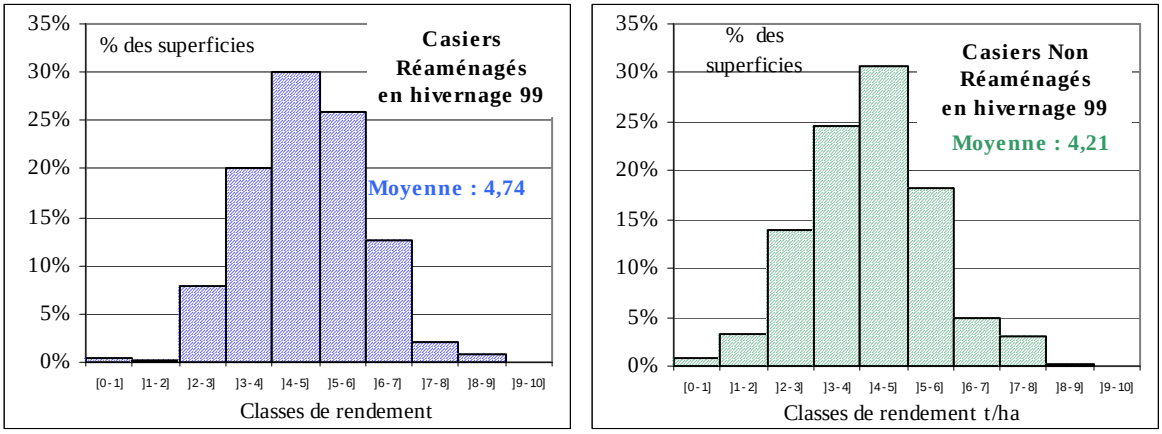
Ainsi, l'amélioration de l'aménagement jusqu'à la maîtrise complète de l'eau permet une forte réduction du risque et une nette amélioration de la productivité.

Mais au sein même de chaque type d'aménagement, on constate de fortes disparités avec des rendements moyens pouvant aller du simple au double avec des conséquences sur la rentabilité des cultures au niveau des exploitations agricoles familiales et sur le fonctionnement général du périmètre.

Le cas de l'Office du Niger

Dans la zone de l'Office du Niger, les rendements moyens obtenus sont bons à très bons selon les sources. Les rendements agronomiques moyens, selon les statistiques de l'Office du Niger, sont de l'ordre de 6 t/ha (Keïta *et al.*, 2002). Selon diverses études, les rendements moyens réels récoltés par les producteurs seraient inférieurs à 5 t/ha (Bélières et Bomans, 2001a ; Chohin-Kuper et Sow, 2000 ; Ducrot, 2001 ; Traoré, 2002). Il existe une variabilité qui reste relativement importante pour un aménagement en maîtrise complète de l'eau. L'analyse des rendements en hivernage 1999[12] fait apparaître une part non négligeable des superficies avec des résultats inférieurs à 3 t (8,4% pour les aménagements réhabilités et 18 % sur les aménagements non réaménagés).

12 L'année 1999 a été une mauvaise année pour la riziculture d'hivernage à l'Office du Niger en raison d'un démarrage tardif lié au manque d'eau dans le fleuve et d'une forte pluviométrie qui a entraîné des problèmes de drainage.



Source : Bélières et Bomans, 2001b

Figure 5 - Dispersion des rendements en riz d'hivernage à l'Office du Niger selon le type de casier (en 1999)

Malgré tout, parce que les systèmes techniques sont conduits avec la traction animale et avec relativement peu d'intrants, la rentabilité financière reste élevée (tableau 29) pour l'exploitant agricole de la production rizicole à l'Office du Niger, même en cas de rendements relativement faibles.

Rendement (en kg/ha)	5 500	4 500	3 500
Produit brut*	654 253	535 298	416 343
Intrants	106 600	105 600	104 600
Redevance eau	65 300	65 300	65 300
Autres services (battage, décorticage, frais financiers, etc.)	120 134	102 484	84 834
Main d'œuvre extérieure	32 839	32 839	32 839
Entretien et amortissements traction animale	18 333	18 333	18 333
Total charges avec travail familial	343 207	324 557	305 907
Marge nette (enFcfa/ha)	311 046	210 741	110 436
Valorisation du travail familial (+ entraide) en Fcfa/j/ha	5 184	3 512	1 841
Coût de production en Fcfa/kg de paddy	62	72	87
% Valeur ajoutée en Fcfa/ha	53 %	46 %	34 %

*Prix au producteur : paddy 117 Fcfa/kg, riz 180 Fcfa/kg

Source : adapté pour l'étude de GEDUR, 2003

Tableau 29 - Évolution de la marge nette rizicole en fonction du rendement à l'Office du Niger

La marge nette et la rémunération du travail familial dégagées par la riziculture sont relativement élevées (même avec des rendements relativement bas) pour une production sur un périmètre en maîtrise totale de l'eau. Ainsi, avec un rendement de 3,5 t/ha, la riziculture permet de dégager une marge nette supérieure à 110 000 Fcfa/ha et une rémunération de près de 2 000 Fcfa par journée de travail nettement supérieure au coût moyen de la journée de travail manuel en zone Office du Niger (qui varie de 750 à 1 500 Fcfa selon le type de travail).

La rentabilité financière par unité de surface est élevée, cependant le revenu agricole est fonction de la taille de l'exploitation, du taux de mise en valeur et des spéculations pratiquées.

Sur les aménagements en maîtrise totale en bon état de fonctionnement et bien gérés, la rentabilité financière au niveau du producteur est bonne. Par ailleurs, avec les systèmes techniques actuels caractérisés par un recours important au travail manuel (familial et extérieur) et à la traction animale, la valeur ajoutée est très élevée.

Même en prenant des niveaux de rendement relativement bas et des prix au producteur de niveau moyen, on constate que les marges nettes dégagées à l'hectare sont relativement conséquentes avec une bonne valorisation du travail familial.

Le tableau 30 présente les résultats de différents types d'exploitation agricole familiale. Les types sont caractérisés essentiellement par la taille (nombre de personnes et superficies disponibles en irrigué).

Les plus petites exploitations agricoles qui représentent 43 % des exploitations familiales de la zone Office du Niger disposent, en moyenne, de 1,24 ha de superficie irriguée. Avec un taux d'intensité moyen de 1,13 et 10 % de la superficie en culture de diversification (essentiellement en échalotes), le revenu moyen annuel net agricole dégagé est de l'ordre de 390 000 Fcfa, soit environ 48 000 Fcfa par personne et 313 000 Fcfa par ha. La production en riz disponible après paiement de toutes les charges ne suffit pas tout à fait à couvrir les besoins en céréales de la famille. Le revenu des cultures maraîchères représente un peu moins du tiers du revenu total de la famille. Si l'on évalue les besoins de consommation des membres de la famille hors consommation céréalière à, en moyenne, 65 000 Fcfa par personne et par an (ce qui fait des besoins annuels en consommation de l'ordre de 105 000 Fcfa, c'est-à-dire très proches du seuil de pauvreté tel qu'il est déterminé pour le Mali : République du Mali, 2002), ces petites exploitations sont en déficit et ne peuvent assumer avec la production agricole qu'à peine plus que la consommation céréalière. Ces exploitations sont donc en situation d'équilibre précaire avec une production agricole qui leur permet d'assurer l'autosuffisance alimentaire mais pas les autres besoins de consommation.

Les autres types d'exploitations assument leurs besoins de consommation avec la production agricole. Les deux types les plus grands dégagent une réelle capacité d'autofinancement qui leur permet d'investir. Cette capacité d'investissement pourrait être orientée vers l'aménagement foncier, malheureusement aujourd'hui le foncier et le marché des capitaux ne le permettent pas.

On notera cependant que les petites exploitations sont très sensibles à une baisse des rendements moyens. Avec un rendement moyen de 3,5 t/ha, la situation des plus petites exploitations devient critique car la marge rizicole ne leur permet d'assurer qu'environ la moitié des seuls besoins céréaliers.

Variables	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Répartition des types d'exploitation en nombre	43 %	34 %	17 %	6 %
Caractéristiques des exploitations agricoles (en ha)	]0,2 - 2,5]	]2,5 - 5,0]	]5,0 - 10]	> à 10
Population moyenne par exploitation	8,10	11,73	16,84	31,78
Superficie irriguée moyenne disponible (en ha)	1,24	3,65	6,86	15,07
Taux d'intensification	1,13	1,13	1,13	1,13
Superficies en culture de diversification	10 %	11 %	12 %	12 %
TOTAL Produit brut agricole **	904 501	2 715 641	5 203 897	11 431 885
Charges totales (hors MO familiale)	516 596	1 546 130	2 911 140	6 434 237
Revenu net agricole annuel	387 906	1 169 511	2 292 758	4 997 648
Dont revenu rizicole	266 247	775 592	1 485 101	3 223 394
Dont revenu diversification	121 659	393 919	807 657	1 774 255
Revenu net par personne	47 890	99 703	136 150	157 258
Revenu net par ha attribué	312 827	320 414	334 221	331 629
Besoins en consommation céréalière par exploitation (195 kg riz/personne)	284 310	411 723	591 084	1 115 478
Autres besoins (condiments, santé, habits, école, transport estimés à 65 000 Fcfa/pers)	526 500	762 450	1 094 600	2 065 700
Total des besoins de consommation minimum (en Fcfa)	810 810	1 174 173	1 685 684	3 181 178
Taux de couverture des besoins céréaliers	94 %	188 %	251 %	289 %
Ecart : Revenu agricole - Besoins de consommation familiaux (en Fcfa)	-422 904	-4 662	607 074	1 816 470

**Rendement moyen utilisé : riz 4,5 t/ha, échalotes 10 t/ha ; prix paddy 117 Fcfa/kg, prix riz 180 Fcfa/kg et prix moyen échalote 125 Fcfa/kg

Source : élaboré pour l'étude à partir de Bélières *et al.*, 2003 et GEDUR, 2003

Tableau 30 - Revenu agricole des exploitations agricoles familiales classées selon la taille en zone Office du Niger (à rendement et prix de vente identiques)

Les cultures de diversification et, en particulier, l'échalote sont également très attractives avec un produit brut par unité de surface très élevé. Dans le modèle ci-dessus, ces cultures constituent de 30 à 36 % du revenu brut agricole. Mais l'insuffisance des infrastructures et la quasi-absence d'un secteur de la transformation et de la conservation des produits font que les prix fluctuent fortement et descendent très bas en période de récolte (dans certains cas, les produits ne trouvent pas preneurs comme cela arrive, par exemple, pour la tomate au plus fort de la saison de production), limitant ainsi la production et la rentabilité des cultures maraîchères de diversification.

L'intensification est très attractive, car elle permet de dégager des revenus conséquents : c'est ceci qui a été à l'origine du développement économique de la zone Office du Niger. Mais, d'une manière générale, il faut des superficies conséquentes pour que la production agricole irriguée en zone Office du Niger permette aux exploitations agricoles familiales d'assurer leurs besoins de consommation et de dégager une capacité d'autofinancement. Or, les tendances actuelles avec la forte réduction de la superficie moyenne par exploitation et l'affaiblissement du revenu agricole familial sont de nature à compromettre la croissance agricole dans cette zone.

Plusieurs études concluent à la rentabilité financière et économique de la production de riz en zone Office du Niger (*cf.* infra). Le modèle de production par des exploitations agricoles familiales disposant d'une superficie minimum suffisante apparaît comme très performant et capable de constituer le moteur principal du

développement de l'irrigation dans cette zone, pourvu qu'un système de financement adapté (crédits à moyen et à long terme à taux corrects) et une meilleure sécurisation foncière soient mis en place (BRL, 2004).

Les modèles de type agro-industriel ou entreprise privée de production agricole peuvent également jouer un rôle dans le développement de l'agriculture irriguée dans la zone. Il existe déjà le complexe agro-industriel de production de sucre de la société Sukala (5 000 à 7 000 ha de canne à sucre). De nouveau projets sont en cours, notamment pour la production de sucre. L'importance que peut prendre ce mode de production fait l'objet de débats avec les tenants du développement de la grande irrigation privée et les tenants du modèle de production avec des exploitations agricoles familiales qui se modernisent progressivement (Bélières *et al.*, 2002a ; Sourisseau, 2002)

Les autres périmètres irrigués

Dans les autres périmètres irrigués avec maîtrise totale de l'eau, le niveau d'intensification est aussi élevé qu'à l'Office du Niger. Mais, quand on prend l'ensemble des superficies aménagées dans une zone, ou par un projet, sur une durée assez longue, on observe en général un taux de mise en valeur inférieur à 100 %. Une partie des superficies n'est pas mise en valeur, alors qu'une autre petite partie – plus réduite – est doublement cultivée. L'absence de mise en valeur est liée à des raisons diverses : souvent une panne du groupe motopompe ou en raison de problèmes fonciers ou d'organisation. La réussite d'un aménagement et son appropriation par les bénéficiaires ne sont pas systématiques : les échecs techniques et financiers existent.

D'une manière générale au Mali, les itinéraires techniques intensifs sont bien identifiés et largement vulgarisés, mais ils sont, en général, très demandeurs en temps de travail (les normes couramment utilisées sont de l'ordre de 200 jours de travail par ha de riz, contre 70 à 100 journées en zone Office du Niger) et coûteux en consommations intermédiaires dans des régions où les exploitations agricoles ont peu recours aux intrants agricoles pour les activités traditionnelles de production. La liaison avec le marché est souvent difficile avec des coûts de transaction élevés qui justifient, le plus souvent, l'intervention d'un projet de développement prenant en charge une partie de ces coûts.

Les rendements moyens obtenus sont, comme pour l'Office du Niger, de l'ordre de 5 à 6 t/ha pour les rendements agronomiques et inférieurs à 5 t/ha pour les rendements réels, comme par exemple sur les aménagements de type PIV en zone VRES (Zaslavsky *et al.*, 1999).

Traoré Bakary, dans le cadre d'une étude pour le projet PRIAF[13] (Réseau Riz au Mali) en 2004, a évalué, avec les responsables des organisations paysannes, les coûts de production du riz pour les principaux systèmes d'irrigation au Mali en prenant non pas

13 Projet de Renforcement de l'Information des Acteurs des Filières Rizicoles (sur financement de la coopération française avec la participation du CIRAD et de l'IRAM).

le rendement moyen, mais des rendements extrêmes (mauvais et bons) que les producteurs obtiennent (tableau 31). On notera que le tableau ci-dessous intègre les coûts totaux de main d'œuvre, y compris la main d'œuvre familiale qui a été évaluée, selon les types de travaux, de 500 à 1 250 Fcfa/jour. Les mauvais rendements sont en général obtenus par des exploitations moins bien dotées en facteurs de production (donc moins bien équipées) et qui doivent faire appel à des prestations de service extérieures pour divers travaux.

	Système gravitaire Office du Niger		Système pompage (zone Mopti)		Submersion contrôlée		Bas-fonds	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
Rendement (kg/ha)	3 000	6 000	4 000	8 000	700	3 000	500	3 000
Valeur du paddy Fcfa/kg	100	125	94	125	94	125	100	100
Valeur du riz Fcfa /kg	180	225						
Main d'œuvre	169 000	177 500	242 400	241 800	75 000	157 750	149 700	152 600
Intrants/petit matériel	88 900	137 700	68 120	156 180	19 200	68 000	50 500	106 800
Redevance	65 300	65 300	134 000	134 000	6 800	13 600	0	0
Entretien	0	15 000	0	6 450	0	24 750	0	7 250
Amortissement)	0	6 000	0	28 750	0	6 000	0	6 250
Charges totales paddy	323 200	401 500	444 520	567 180	101 000	270 100	200 200	272 900
Charges post-récolte	26 400	65 300	0	10 000	0	0	0	0
Charges totales riz	349 600	466 800	444 520	577 180	101 000	270 100	200 200	272 900
Vente de paddy	0	0	405 000	1 080 000	67 500	400 000	50 000	300 000
Vente de riz	277 200	693 000	0	0	0	0	0	0
Vente de sous-produits	8 750	17 750	0	0	0	0	0	0
Revenu exploitation Fcfa /ha	-63 650	243 950	-39 520	502 820	-33 500	129 900	-150 200	27 100
Coût unitaire paddy Fcfa /kg	108	67	111	71	144	90	400	91
Coût unitaire riz Fcfa /kg	221	146						

Source : Traoré et Boli, 2004

Tableau 31 - Coûts de production du paddy et du riz (en Fcfa) pour les différents systèmes de production pour des rendements extrêmes en 2004 avec E1 = mauvais rendement et E 2 = bon rendement

Ces coûts de production indiquent bien à la fois la très bonne rentabilité financière, pour les producteurs, de la riziculture irriguée avec un bon niveau de rendement, mais aussi les risques encourus avec des rendements faibles.

Le tableau ci-dessus prend en compte les variations de prix du riz sur le marché domestique avec des exploitations en situation difficile (E1) qui ne peuvent pas stocker et sont obligées, pour faire face aux dépenses, de vendre le riz (en zone ON) ou le paddy (dans les autres zones) aux plus mauvais moments quand les prix sont les plus bas.

Les revenus issus de la production rizicole sont donc très variables avec des marges négatives dans les situations les plus difficiles. Dans le tableau ci-dessus, les calculs ont été faits avec une valorisation du travail familial. Dans les situations les plus

difficiles, l'exploitant ne rémunère pas son travail. Sur des périmètres en gestion collective, les exploitations en situation difficile ont des difficultés pour participer aux charges collectives et leur développement compromet la bonne gestion de l'ensemble du périmètre.

Il y a lieu de mieux appréhender ces phénomènes pour adapter le conseil agricole (adapter la fertilisation aux capacités de trésorerie, améliorer l'itinéraire technique dans son ensemble, améliorer la gestion des stocks et de la trésorerie, etc) et pour éviter les résultats trop mauvais chez certaines exploitations pouvant provoquer des problèmes importants de gestion collective (en PIV, notamment).

Rentabilité économique et financière des aménagements

Les analyses de rentabilité économique et financière sont réalisées en général en phase de faisabilité de projet (en évaluation *ex-ante*) avec des normes et, très rarement, en évaluation *ex-post* avec des données observées. Les normes utilisées sont, en général, optimistes (5 à 6 t de riz par hectare et une double culture annuelle sur 50 % de la superficie) : sous ces conditions, les taux internes de rentabilité des projets sont en général suffisamment bons pour justifier l'investissement. L'étude Gfa-Agrar de 1998 conclut à une moyenne à bonne rentabilité financière et économique pour les investissements dans tous les types d'irrigation, même si les TRI et les TRIE varient avec une meilleure rentabilité pour les aménagements en maîtrise totale de l'eau (GFA-Agrar, 1999a ; GFA-Agrar, 1999b).

Il manque cependant des analyses *ex-post* sur la base de données observées pour mieux apprécier la rentabilité des projets et des aménagements et mieux orienter les décisions d'investissement.

Dans le cas de l'Office du Niger, il existe plusieurs études sur la rentabilité financière et économique des aménagements (réhabilitation et extension). L'étude menée par Baris (Baris *et al*., 1996) a conclu à une bonne rentabilité financière et économique des aménagements hydroagricoles justifiant, notamment, la réhabilitation des périmètres. Les études de Barry (Barry *et al*., 1998) de Traoré (Traoré et Coulibaly, 2001) et de Diarra (Diarra D., 2004) concluent à une bonne compétitivité du riz malien produit à l'Office du Niger face aux riz importés sur les marchés domestiques (pour les trois études) et sur certains marchés des pays voisins (uniquement pour les deux premières études).

Balié (2004), pour la FAO, a élaboré une matrice d'analyse des politiques pour le riz produit à l'Office du Niger et, parmi les nombreuses conclusions, on peut citer :

- « La production de riz génère des bénéfices au prix de marché aussi bien qu'au prix économique. Ce bénéfice est respectivement de 41 % et de 14 % calculé au prix de marché et au prix économique. Le niveau élevé de profit au prix de marché indique que l'activité est intéressante et qu'elle pourrait connaître une expansion dans le futur si aucun facteur spécifique (disponibilité en terre, eau, fertilité des sols, accès) ne s'y oppose ».
- « Le ratio des coûts en ressources domestiques (CRD) est inférieur à 1 (0,846). Cela suggère qu'il existe un avantage comparatif dans la production de riz qui est relativement important. Cette production dégage un profit non seulement

financier mais aussi économique (avec les intrants évalués à leur coût économique). Il semble donc intéressant de produire du riz dans la zone de l'Office du Niger à la fois d'un point de vue financier et d'un point de vue économique. D'un point de vue des options de politique, il serait économiquement efficace de développer la production de riz jusqu'au moment où le CRD serait égal à un (par exemple en mobilisant davantage de ressources domestiques : l'objectif étant de maximiser leur allocation) ».

- « L'étude a montré que, sur un plan théorique (utilisation de la matrice d'analyse des politiques) et à partir de données moyennes, la production de riz en système irrigué à l'Office du Niger est compétitive non seulement sur le marché local, mais également sur le marché domestique et, très vraisemblablement, sur un grand nombre de marchés de l'espace UEMOA ».

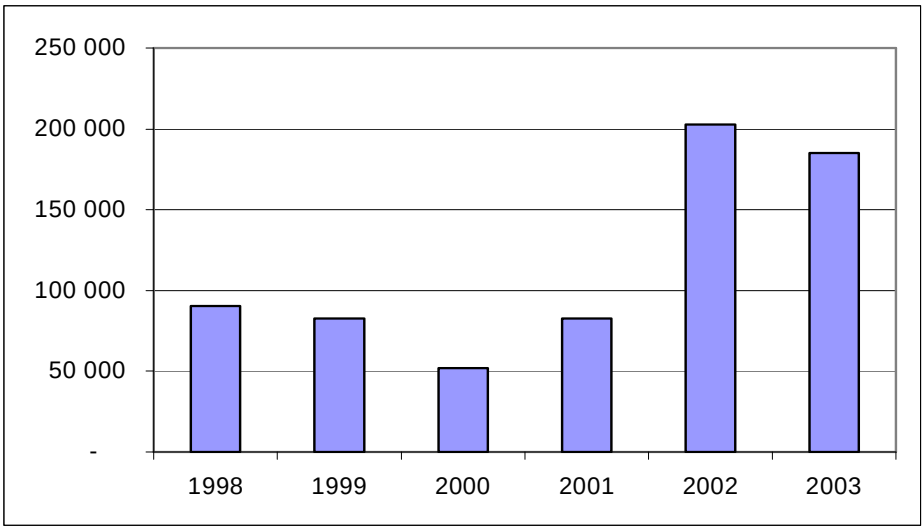
Enfin, l'analyse de l'ensemble de la filière riz à l'Office du Niger permet de conclure à :

- une bonne rentabilité financière pour le producteur ;
- des marges faibles à la transformation ;
- une bonne efficacité de la commercialisation (diminution des marges sur le long terme, effet amortisseur).

Une demande intérieure en riz en forte progression

La production nationale de riz a fortement progressé au cours de ces 15 dernières années (figure 6), essentiellement grâce à une croissance des rendements. Une partie de la production reste cependant sensible aux aléas climatiques comme l'indique la baisse de production en 2002-03.

Le Mali importait relativement peu de riz (avec une moyenne de 50 000 t par an dans les années 1990, soit 10 % de la consommation), ce qui faisait du Mali une exception en Afrique de l'Ouest, où la plupart des pays assurent plus de la moitié de leur consommation en riz par des importations. Mais, depuis 2002, les importations tendent à tourner autour de 200 000 t et les premières estimations pour 2004 sont loin d'inverser la tendance. Les mauvais résultats des productions de céréales sèches en 2002/03 et de riz pluvial en 2001/02 et 2002/03 ainsi que les réexportations de riz vers le nord de la Côte d'Ivoire expliquent partiellement ces importations. Mais ces phénomènes conjoncturels cacheraient, en fait, un décrochage de l'offre nationale de riz face à la forte augmentation de la demande (Baris *et al.*, 2004).



Source : Statistiques de la DNSI, 2004 citées par Balié J., 2004

Figure 6 - Importations de riz au Mali (en t)

La progression des consommations de riz au Mali est spectaculaire. Sur le long terme, la consommation a augmenté régulièrement de 8 % par an sous le double coup de la croissance urbaine et des consommations par tête. Les résultats de la dernière enquête budget/consommation (2001) montrent que la consommation par tête à Bamako dépasse les 60 kg/an, soit 10 kg de plus que lors de la précédente enquête (1989). Le riz devient, partout au Mali, un aliment de base et les importations progressent en milieu rural, notamment dans les zones structurellement déficitaires en vivrier. Des projections réalisées selon des hypothèses basses montrent que la demande de riz aura doublé en 2025. Dans 10 ans (2015), il faudra produire 300 000 t de riz supplémentaires pour satisfaire la demande, soit nettement plus que la production actuelle de l'Office du Niger (Baris *et al.*, 2004). Selon Baris *et al.*, le problème majeur n'est pas de trouver des débouchés ou d'hypothétiques marchés à l'export, mais de développer l'offre nationale qui risque, si rien n'est fait rapidement, d'être impuissante à satisfaire la demande nationale et de laisser la place à des importations massives. Une politique vigoureuse d'extension des superficies aménagées à l'Office du Niger mais aussi d'intensification et de développement de la riziculture hors zone ON (notamment en riz pluvial) apparaît, pour ces auteurs, comme la seule voie possible pour débloquer la situation et tenter de satisfaire une demande en pleine croissance.

Même si la compétitivité du riz malien sur le marché domestique est réelle, il convient de défendre sur le long terme les intérêts des riziculteurs maliens dans les négociations commerciales internationales : OMC (problème du taux de subvention des rizicultures dans les pays asiatiques et occidentaux) et APE avec l'UE (problème notamment des importations de blé européen à très bas prix pouvant, à terme, concurrencer les céréales locales). De même, il s'agit de définir les positions et des alliances pour les négociations sur le TEC au sein de la CEDEAO (tarifs) et sur les conditions d'application de la politique agricole de l'UEMOA (fiscalité de porte et TVA, politique rizicole au niveau régional, actions de type transversal : recherche, formation des producteurs, appui aux OP riz,…).

Conclusion

L'ensemble des analyses faites conclut à la rentabilité financière et économique des aménagements hydroagricoles au Mali. Les techniques culturales intensives sont déjà disponibles et assez bien vulgarisées. Les techniques utilisées par les producteurs et les résultats obtenus varient fortement en fonction de l'environnement socio-économique et institutionnel : manque d'infrastructure, défaillances du marché, insuffisance des systèmes de crédit, faiblesse du tissu économique. Mais, d'une manière générale, ces résultats sont relativement bons et, surtout, progressent avec la maîtrise de l'eau. Le développement de l'agriculture irriguée constitue donc à juste titre une des priorités de développement du pays.

La culture rizicole peut constituer la spéculation motrice du développement de l'agriculture irriguée car la demande intérieure en riz est en forte progression et le pays dispose de réels avantages comparatifs à produire le riz pour son marché domestique. Selon les études et les périodes d'analyse, les avantages à l'exportation apparaissent moins nets, mais ils peuvent être affermis dans le cadre du marché régional.

Options d'aménagement et politiques actuelles

Les options de développement ont évolué dans le temps. Après les indépendances, le GRM a pris pour option le développement les grands périmètres à submersion contrôlée. Puis, dans les années 1980, pour faire face à la sècheresse, l'option a été prise de développer la petite irrigation (PIV) le long du fleuve à des fins de sécurité alimentaire et non de rentabilité économique. C'est également au début des années 1980 que les options de réhabilitation ont été prises à l'Office du Niger avec l'arrêt des extensions pour consacrer les investissements à la remise en état des infrastructures et des rizières, à l'amélioration du domaine aménagé et à l'expérimentation de techniques et d'innovations intensives.

Des réformes économiques et institutionnelles furent également prises au début des années 1980 dans le cadre de l'ajustement structurel avec :

- la libéralisation des filières et le désengagement de l'État (avec, notamment, l'abolition de la « police économique » en 1984 et la responsabilisation des producteurs avec la mise en place des Associations Villageoises) ;
- le relèvement du prix administré du paddy ;
- la libéralisation du commerce du paddy en 1986 ;
- la restructuration et le désengagement des activités productives et commerciales de l'Office du Niger (de 1988 à 1994) ;
- la signature du premier contrat-plan entre l'État, l'Office du Niger et les exploitants agricoles (fin 1995).

Enfin, la dévaluation du Franc CFA en 1994 a amélioré la rentabilité et la compétitivité de la filière rizicole locale (Mendez del Villar *et al.*, 1995 ; Mariko *et al.*, 2001). Les succès enregistrés par l'Office du Niger au cours des années 1990 furent spectaculaires et à mettre à l'actif des exploitations agricoles familiales qui, en adoptant de nouvelles pratiques, ont intensifié et diversifié la production et à l'actif des acteurs

privés des filières qui ont rapidement et efficacement occupé la place laissée libre par le retrait de l'État (transformateurs, commerçants).

L'État malien s'est doté de plusieurs outils de stratégie de développement. Pour le développement de l'irrigation, les deux plus importants sont le Schéma directeur du secteur développement rural (SDDR) et la Stratégie nationale de développement de l'irrigation (SNDI).

Options pour le développement de l'irrigation

Le Schéma directeur du secteur développement rural

En 1992, le Mali s'est doté d'un Schéma directeur du secteur développement rural (SDDR). C'est l'instrument principal de concertation et de dialogue entre l'État, les producteurs, la société civile et l'ensemble des partenaires en ce qui concerne la politique de développement du secteur. Après un bilan des actions mises en œuvre entre 1992 et 2000, ce cadre de référence des interventions en matière de développement rural a été réactualisé pour la période 2000-10.

Les orientations stratégiques découlent de l'analyse diagnostique de l'évolution du secteur du développement rural et du bilan de la mise en oeuvre du SDDR depuis 1992. Elles sont issues d'un consensus entre tous les acteurs aux différents niveaux (État, collectivités territoriales, producteurs/OPA/APCAM, société civile, partenaires au développement). Ces orientations stratégiques constituent les fondements des domaines d'intervention et des programmes de développement du secteur, à savoir :

- augmenter et diversifier la production agricole en vue d'améliorer les revenus et les conditions de vie en milieu rural ;
- participer aux programmes d'intégration économique du Mali au niveau sous-régional et mondial ;
- améliorer l'environnement institutionnel et juridique du secteur ;
- renforcer les capacités d'intervention de l'ensemble des acteurs du secteur ;
- appuyer la planification régionale et locale en vue de promouvoir un développement durable du secteur ;
- promouvoir la gestion rationnelle des ressources naturelles en vue d'un développement durable ;
- développer les infrastructures et les équipements de base ;
- promouvoir le rôle des femmes et des jeunes ruraux, mettre en place et soutenir les mécanismes de solidarité en milieu rural.

Parmi les domaines prioritaires d'intervention, le développement de l'irrigation occupe une place importante à travers le développement des aménagements hydroagricoles, l'amélioration de la sécurité alimentaire, la croissance des productions agricoles mais aussi animales, forestières et piscicoles.

Le SDDR (CPS, 2001b) note cependant que « *La problématique du développement des aménagements hydroagricoles est complexe. Parmi les contraintes les plus importantes, on peut citer :*

- la difficulté de maîtriser le problème foncier et le problème de gestion des espaces aménagés ;
- la répartition inégale des ressources en eau sur toute l'étendue du territoire ;
- la difficulté de mobiliser les ressources financières locales ;
- l'enclavement des zones aménageables ;
- une mauvaise conception technique de certains grands aménagements et leurs coûts d'entretien ;
- le coût élevé des aménagements ;
- la dégradation de l'environnement au niveau des périmètres aménagés anciens, entraînant un phénomène d'alcanisation/salinisation dû à l'utilisation massive des engrais minéraux et à l'insuffisance des entretiens et du drainage qui a conduit à la remontée progressive des nappes.

La réalisation et/ou la réhabilitation des grands aménagements hydroagricoles, notamment ceux concernés par la maîtrise totale de l'eau, demeurent prioritaires. Cela nécessitera le renforcement de l'avantage comparatif que possède le Mali dans la réalisation de tels investissements par une meilleure efficience dans la mobilisation des fonds et une prise en compte effective des aspects environnementaux.

La stratégie de développement des périmètres hydroagricoles repose sur les éléments suivants :

- poursuivre l'inventaire des potentialités et des sites pour les aménagements hydroagricoles ;
- poursuivre la mise en oeuvre du Schéma Directeur des Ressources en Eau ;
- poursuivre la mise en oeuvre du Programme National d'Infrastructure et d'Équipement Rural (PNIR) ;
- réaliser les études d'impact environnemental ;
- élaborer et mettre en oeuvre un programme de recherche en irrigation ;
- maîtriser les questions foncières et impliquer les populations dans la réalisation des aménagements hydroagricoles ;
- mettre en place un mécanisme de financement durable des infrastructures et des équipements ;
- renforcer les capacités techniques des structures d'appui, des organisations de producteurs et des opérateurs privés dans les domaines de la planification et de la mise en place de la gestion et de la maintenance des périmètres irrigués ».

Le schéma Stratégie nationale de développement de l'irrigation

Le gouvernement du Mali a élaboré, en concertation avec ses partenaires au développement, une Stratégie nationale de développement de l'irrigation (SNDI) publiée en 1999. L'origine de ce document est à rechercher dans le constat que

l'important potentiel hydroagricole malien n'était pas suffisamment valorisé : « *les investissements dans le secteur de l'irrigation ont jusqu'ici fait l'objet d'interventions séparées et généralement non concertées et n'ont pas toujours produit les résultats attendus, en termes de viabilité et de pérennité. En tout état de cause, plusieurs projets ont échoué ou ont été compromis, du fait que l'on n'ait pas suffisamment analysé les problèmes et les enjeux au plan économique, technique et social. Le grand nombre de structures sous–sectorielles d'appui et la diversité de leurs moyens humains et financiers militent en faveur d'une uniformisation des modalités d'actions, spécialement dans l'optique de la décentralisation administrative et technique, dans le but d'élaborer une stratégie cohérente pouvant aider aux prises de décision dans le cadre d'une politique nationale en irrigation, et même, en matière générale, d'utilisation de l'eau* ». Il y avait donc nécessité « *d'uniformiser les approches et d'identifier les actions prioritaires à entreprendre afin d'utiliser au mieux les ressources humaines et financières disponibles* » (MDRE, 1999).

Concernant la politique d'investissement, la SNDI perçoit la participation de l'État pour l'aménagement des périmètres dans trois domaines (ARD, 2002):

- pour les périmètres communautaires, les bénéficiaires devront participer très activement à la conception et à la construction du périmètre. Néanmoins, le gouvernement couvrira la part la plus importante de l'investissement, jusqu'au niveau du tertiaire, y compris le défrichage et le nivellement qui dépassent les capacités de la communauté ;
- pour les périmètres privés, l'État négociera son niveau de participation, qui sera normalement limité à la construction d'infrastructures primaires ;
- pour les groupements qui ont exprimé le désir d'irriguer mais qui ne disposent pas des ressources financières pour le faire, en l'occurrence les jeunes, les partants volontaires et les anciens rebelles, le gouvernement aménagera des périmètres et recouvrira ensuite son investissement en partie par un contrat de bail–vente.

La priorité est donnée aux aménagements en maîtrise totale.

La recherche appliquée sur l'irrigation au Mali ayant été très insuffisante au cours des 20 dernières années, la SNDI considère qu'il est impératif d'établir un programme portant notamment sur les besoins en eau de diverses cultures sous différents systèmes d'irrigation, la performance de diverses normes d'opération des périmètres irrigués et la rentabilité économique et financière de différents systèmes.

La SNDI, à la fin, se résume à un plan d'action, présenté sous forme tabulaire, qui définit des principes directeurs, les objectifs spécifiques, les actions à entreprendre, l'entité responsable, la date d'achèvement et des indicateurs sommaires. Les six objectifs spécifiques sont :

- rendre la conception des structures d'irrigation plus rationnelle et en réduire le coût ;
- encourager la participation d'entités non gouvernementales et faciliter leur accès aux financements ;
- améliorer la gestion des périmètres irrigués ;

- augmenter la production et la productivité sur les périmètres irrigués ;
- réformer le cadre institutionnel et juridique pour le sous-secteur ;
- minimiser les impacts environnementaux négatifs et les conflits sociaux créés par l'irrigation.

Ainsi, d'une manière générale, les options prises récemment ont pour objectif d'augmenter les surfaces sous irrigation et d'améliorer la productivité des systèmes de production. Elles portent principalement sur :

- la promotion de la petite irrigation ;
- la promotion de l'irrigation privée ;
- la participation des bénéficiaires à l'investissement et à la gestion des aménagements ;
- la prise en compte de l'impact environnemental lors des investissements ;
- la diversification de la production et des producteurs ;
- la poursuite de la réhabilitation des aménagements pour améliorer leur productivité ;
- l'amélioration de la gestion des périmètres irrigués.

L'État malien a choisi de développer l'irrigation et de nombreux projets de création ou de réhabilitation d'aménagements hydroagricoles sont actuellement en cours tout le long du Fleuve Niger ou de ses affluents. Des nouveaux ouvrages sont également programmés comme le seuil de Talo, le seuils de Djenné et le barrage de Tossaye qui serviront notamment à l'irrigation.

La mise en œuvre de la SNDI s'est traduite par un programme de développement des infrastructures hydroagricoles de 50 000 ha supplémentaires en maîtrise totale et de 14 000 ha dans les autres systèmes (bas-fonds et submersion) d'ici 2007. Dans 20 ans, l'objectif est d'augmenter de 120 000 ha les terres sous irrigation à l'Office du Niger ce qui amènera les terres irriguées de cette zone à 200 000 ha.

Les objectifs de développement des aménagements hydroagricoles sont donc très ambitieux.

Quelques éléments de conclusion et quelques suggestions et recommandations

L'analyse de la situation des ressources en eau et en terre fait ressortir les points suivants :

- il existe une forte disponibilité en terre (plus de 2 millions irrigables dont plus de 70 % sur le fleuve Niger) ;
- les ressources en eau sont importantes, mais la disponibilité peut poser problème compte tenu de l'ampleur du prélèvement effectué pour l'irrigation (de l'ordre 3 milliards de m^3) ;
- il existe localement une concurrence avec d'autres usages (voir question 1), ce qui amène à reconnaître la nécessité d'une gestion intégrée du fleuve, notamment en période d'étiage ;

- il existe des contraintes spécifiques associées au contexte : irrégularité de la pluviométrie et du régime hydrologique, difficultés de la localisation des aquifères, coût de l'exhaure.

En ce qui concerne la disponibilité de l'eau, la conception et les modes de mise en valeur doivent veiller à l'adéquation entre les débits disponibles et les besoins des plantes et des systèmes de culture. Pour le cas de l'Office du Niger, la faible disponibilité en eau à l'étiage constitue une contrainte qui suppose une meilleure gestion de l'eau au sein du périmètre et une gestion concertée du fleuve.

En ce qui concerne l'efficience des systèmes d'irrigation, on constate l'existence de pertes importantes (efficience à l'O.N. : 60 %) qui exige de porter un effort sur l'amélioration de l'efficience (réduction des prélèvements sur le fleuve, meilleure gestion, réhabilitation, voire extension) ainsi que sur une meilleure valorisation des ressources en eau (utilisation des eaux de drainage ou des eaux des nappes).

En ce qui concerne l'évolution des systèmes de culture, des interrogations apparaissent sur l'adéquation des systèmes de production à la disponibilité en eau. En zone Office du Niger, la double culture de riz est elle une bonne option technico-économique ? Les cultures de diversification ne constituent-elles pas des opportunités meilleures ? L'arboriculture fruitière et les plantations forestières sont des spéculations qui présentent de nombreux avantages tant sur le plan de la gestion de l'eau (exploitation de la nappe) que sur l'amélioration des revenus des populations. Enfin, la pisciculture associée aux AHA constitue une option très intéressante à développer.

En ce qui concerne l'amélioration des outils de gestion des AHA, il faut mettre en avant le caractère stratégique du développement d'outils de prévision des dates de submersion (prévision de crue), de systèmes de suivi à moyen et long terme des performances des AHA, d'outils de diagnostic pour les petits projets d'AHA concernant les bas-fonds et de systèmes de calcul de la redevance adaptés aux différents systèmes de culture.

Le coût des aménagements est, globalement, élevé au Mali bien qu'il soit variable en fonction de nombreux paramètres (localisation, situation, conception, entreprises, option de développement, etc.). Il existe des difficultés de comparaison des coûts et des prix entre AHA par manque d'homogénéisation dans la présentation des projets. Les coûts d'aménagements peuvent être réduits en jouant sur un grand nombre de variables ; une stratégie doit être développée à ce sujet.

La participation (physique et financière) des bénéficiaires est un élément clé du développement de l'irrigation. Cette participation peut varier fortement avec des conséquences tangibles sur la qualité de réalisation des AHA. On note cependant qu'il n'existe pas de système de financement adapté pour donner un effet levier et accélérer le développement des aménagements et que les statuts fonciers ne sont pas suffisamment adaptés pour sécuriser les investissements des producteurs et dynamiser le développement des superficies aménagées.

Le recours aux entreprises locales permet de réduire notablement les coûts des aménagements et de leur entretien ou de leur réparation.

Les coûts de fonctionnement sont très variables en fonction des types de périmètres et des modes de gestion. Ils sont très élevés dans le cas des systèmes avec pompage. De plus, dans ces systèmes, le renouvellement des groupes de motopompes est une contrainte forte pour la durabilité des investissements. Les options prises (notamment plantation de bois, compte bloqué, etc.) apparaissent souvent insuffisantes. Dans ce domaine encore, un système de financement adapté fait défaut.

La prise en charge des coûts de fonctionnement, d'entretien et de renouvellement des aménagements et de leurs composants détermine la pérennité des aménagements. Il faut donc que ces éléments soient pris en compte au moment de la conception et de la mise en place de l'organisation responsable de la gestion des AHA avec, comme objectif, une réduction des coûts (adaptation taille/GMP, système de culture, etc.).

La gestion foncière des AHA est une des variables sociales qui prend de plus en plus d'importance pour la pérennité et le développement des systèmes irrigués. Selon les situations, les modes de gestion sont différents : gestion publique, collective ou communautaire, ou privée. Dans certaines zones, la pression foncière devient très forte et s'accompagne d'une individualisation dans les modes d'organisation sociale. Il y a une évolution en cours de la gestion des ressources naturelles avec la mise en œuvre progressive de la décentralisation et des plans d'aménagement communautaire. Enfin, des situations nouvelles apparaissent avec le développement des transactions foncières (notamment à l'Office du Niger) et des participations à l'investissement (avec un impact sur le statut foncier des parties aménagées et une concurrence entre exploitations agricoles familiales et investisseurs privés).

D'une manière générale, il existe une bonne rentabilité financière des productions agricoles irriguées pour les exploitations agricoles familiales (EAF) notamment dans les systèmes avec maîtrise totale de l'eau. Cependant, dans certains systèmes ou dans certaines situations, cette rentabilité peut s'éroder. Dans la zone Office du Niger, la forte pression foncière et la réduction de la SAU disponible par exploitation est devenu une contrainte forte à la croissance agricole. Dans certains aménagements, les contraintes foncières, de gestion de l'eau ou du périmètre et/ou les dysfonctionnements des marchés des capitaux, des intrants ou des produits peuvent se traduire par une baisse de l'intensification et une dégradation de l'efficacité technique et économique de l'aménagement.

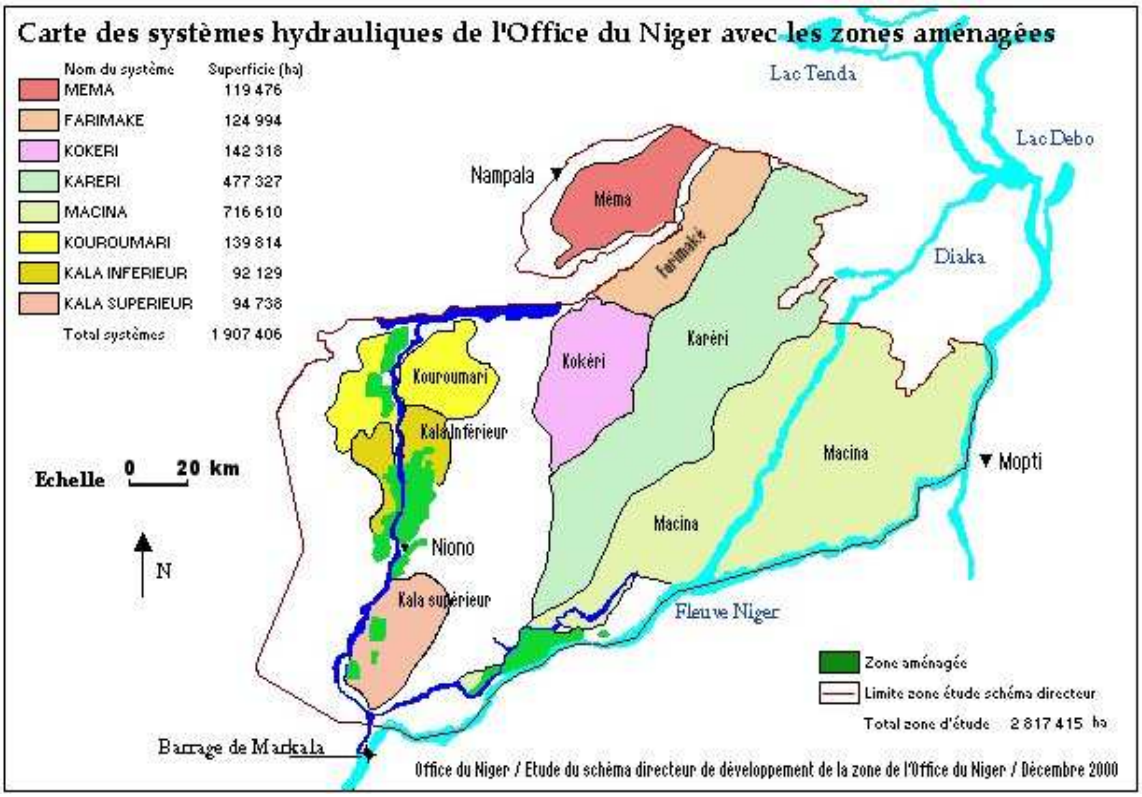
Dans l'ensemble, il existe une bonne rentabilité financière et économique des aménagements hydroagricoles, ce qui justifie les investissements dans ce secteur. Il y a cependant un besoin de procéder à des évaluations sur la base des données observées pour confirmer ce point.

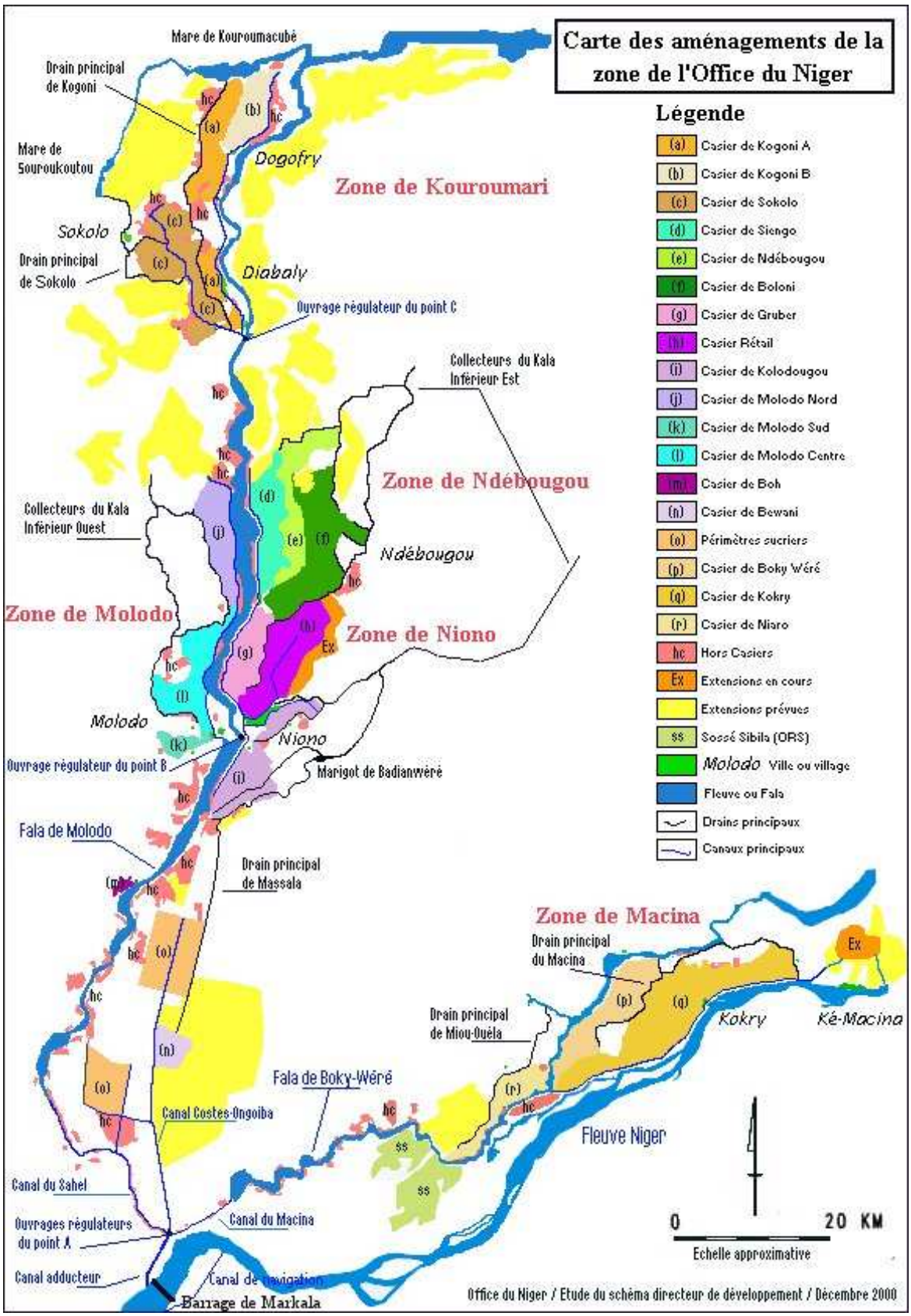
Il existe une demande forte, en évolution rapide, pour le riz, les produits maraîchers et fruitiers. Les prix du riz sont relativement soutenus mais on doit faire attention aux importations et aux risques de concurrence induits sur le marché domestique (UEMOA/CDEAO). Les prix fluctuent beaucoup (y compris celui du riz) avec des conséquences de perte de revenus pour les producteurs. Dans le cas de certaines productions maraîchères, la chute des prix peut compromettre (ou compromet), pour le paysan, la rentabilité financière de la production : d'où, des besoins

importants pour développer les marchés en améliorant la qualité des produits et en développant la transformation, la conservation et la recherche de débouchés.

Quelques propositions d'orientation et de recommandation qui peuvent être émises au terme du traitement de cette question numéro 2 :

- la poursuite du développement de l'irrigation et des différents systèmes d'irrigation doit rester une priorité ;
- la nécessaire émergence d'une véritable gestion interusages des disponibilités en eau offertes par le fleuve en passant, notamment, par un suivi des prélèvements ;
- la recherche d'une adéquation optimale des systèmes de culture aux disponibilités en eau dans la saison ;
- la définition et la reconnaissance de normes pour assurer une gestion optimale des AHA, entre critères de coût et critères de qualité ;
- la mise en place d'un système d'information pour assurer un meilleur suivi des prix et des coûts des aménagements dans la perspective d'augmenter la concurrence ;
- assurer un environnement favorable à la participation des bénéficiaires (investissements privés) ;
- faire évoluer les statuts et les régimes fonciers de manière à permettre les investissements et la modernisation des exploitations agricoles familiales ainsi que les investissements d'entreprises privées ;
- assurer la défense des marchés domestiques au niveau national et sous régional.




Carte des aménagements de la zone de l'Office du Niger
Légende
(a) Casier de Kogoni A
(b) Casier de Kogoni B
(c) Casier de Sokolo
(d) Casier de Siengo
(e) Casier de Ndébougou
(f) Casier de Boloni
(g) Casier de Gruber
(h) Casier Rétail
(i) Casier de Kolodougou
(j) Casier de Molodo Nord
(k) Casier de Molodo Sud
(l) Casier de Molodo Centre
(m) Casier de Boh
(n) Casier de Bewani
(o) Périmètres sucriers
(p) Casier de Boky Wéré
(q) Casier de Kokry
(r) Casier de Niaro
hc Hors Casiers
Ex Extensions en cours
Extensions prévues
ss Sossé Sibila (ORS)
Molodo Ville ou village
Fleuve ou Fala
Drains principaux
Canaux principaux
Mare de Kouroumacubé
Drain principal de Kogoni
Mare de Souroukoutou
Dogofry
Zone de Kouroumari
Sokolo
Drain principal de Sokolo
Diabaly
Ouvrage régulateur du point C
Collecteurs du Kala Inférieur Est
Zone de Ndébougou
Collecteurs du Kala Inférieur Ouest
Ndébougou
Zone de Molodo
Zone de Niono
Molodo
Niono
Ouvrage régulateur du point B
Marigot de Badianwéré
Fala de Molodo
Drain principal de Massala
Zone de Macina
Drain principal du Macina
Drain principal de Miou-Ouéla
Kokry
Ké-Macina
Fala de Boky-Wéré
Canal Costes-Ongoiba
Fleuve Niger
Canal du Sahel
Canal du Macina
Ouvrages régulateurs du point A
Canal adducteur
Canal de navigation
Barrage de Markala
0 20 KM
Echelle approximative
Office du Niger / Etude du schéma directeur de développement / Décembre 2000

 © IRD éditions 2007

CHAPITRE 3

Connaissance du fleuve, évolution et indicateurs

Lassine DIARRA, Almoustapha FOFANA,
PIERRICK GIVONE Housseini MAÏGA,
Pierre MORAND, Didier ORANGE, Pierre Sibiri TRAORÉ,

Avertissement méthodologique : prévision saisonnière, couplage de modèles et gestion intégrée des bassins versants

Introduction

La modélisation procure des outils dont l'usage se généralise fortement, en particulier dans le domaine des sciences et techniques pour l'environnement. De nombreux modèles sont désormais sortis du champ historique de la résolution numérique des lois de comportement gouvernant nombre de processus physiques (modèles basés sur la résolution de systèmes d'équations différentielles partielles), en particulier dans les domaines de l'hydrologie, de l'hydraulique, du transport solide…, ceci au sens le plus large. De type encore très différent et plus globale, la modélisation stochastique et statistique, ou « individu-centré », fait également partie du quotidien (ou presque) du chercheur, de l'ingénieur et du technicien, et ceci dans les domaines les plus variés incluant, bien entendu, les sciences de l'univers et les sciences de la vie mais aussi les sciences de l'homme et de la société. Le couplage de modèles, là encore au sens le plus large et tous types confondus, se généralise, ceci pour produire des éléments

d'analyse et d'aide à la décision opérationnelle au plus près de la complexité des systèmes environnementaux.

De fait, et au-delà de l'évolution naturelle des sciences et des techniques qui transfère des « outils techniques » de modélisation pour traiter les besoins opérationnels les plus divers, les « modèles » et leurs couplages sont de plus en plus utilisés comme « outils-médiateurs » entre des communautés d'intérêt très différentes et, le plus souvent, concurrentes (au moins vis-à-vis de l'exploitation des ressources naturelles), d'abord comme « aide à l'objectivisation » des questionnements de ces communautés, puis pour analyser, prévoir, optimiser et finalement appuyer des décisions opérationnelles.

Sans prétendre rentrer ici en profondeur dans le débat de la modélisation lui-même (avec les questions d'échelle, de couplage, de type de modèle, d'accès aux données nécessaires, qui sont bien réelles mais hors de propos), nous nous focaliserons sur deux questions reliées directement aux questions de modélisation d'intérêt majeur pour le bassin versant du Niger et qui méritent un développement spécifique.

La prévision saisonnière : on distingue immédiatement l'espoir soulevé par de telles méthodes. Connaître quelques mois à l'avance (4 à 6 mois dans les procédures utilisées à ce jour) l'état de la pluviométrie sur le bassin versant du Niger doit permettre, à l'évidence, de mieux gérer l'ensemble et surtout la succession des usages de l'eau, de la navigation au pâturage et à l'agriculture en passant par la pisciculture et par la pêche.

Le couplage de modèles, en particulier au profit de la gestion intégrée du bassin versant et du fleuve sous contraintes, y compris celles du changement climatique.

Prévision climatique saisonnière : vrai paradoxe ou fausse dénomination ?

Les météorologues expliquent depuis longtemps que leur incapacité à « prévoir le temps » (nous reviendrons sur ce terme) est directement liée au caractère fondamentalement chaotique du fonctionnement de l'atmosphère qui rend ses mouvements imprévisibles au-delà d'une dizaine de jours. Face à cette vérité physique bien connue - attracteur de Lorentz, théorie du chaos… (Lorentz, 1963) -, les météorologues ont développé de nombreuses méthodes pour exploiter au maximum cet espace temporel de prévisibilité d'une vingtaine de jours et délivrent de manière désormais opérationnelle des prévisions, par exemple à échéance de 6 jours (Météo France). Sans rentrer dans les détails, on peut illustrer cette chute brutale de la prévisibilité en fonction de l'échéance en utilisant, comme le montre Déqué (Déqué, 2003), le coefficient de corrélation (entre les résultats de modèles et les mesures) du géopotentiel (champ de pression) à 500 hPa sur l'hémisphère nord. Plusieurs expériences ont toutes conduit au même résultat : une décroissance forte de coefficient de corrélation au cours des 20 premiers jours puis une zone de stabilisation autour de 0 qui caractérise une zone de non-corrélation. Toutefois, en exploitant des méthodes de chaotisation (en « rendant aléatoire » l'échantillon des prévisions par des permutations au hasard), on observe que la courbe en fonction de l'échéance du même coefficient de corrélation se trouve souvent au-dessus (et jamais en dessous) de la zone représentant l'intervalle de confiance à 95 %. Il apparaît donc que toute prévisibilité n'a pas disparu du système, même si nous sommes loin de savoir comment exploiter ce résidu. D'une

manière générale et une fois systématisé l'usage de modèles couplés « océan-atmosphère », c'est la connaissance des températures de la mer (et sa mobilisation dans les modèles utilisés), en particulier sous les tropiques, qui confirme cette prévisibilité, alors qu'elle disparaît (ou presque) si les températures de la mer ne sont pas connues. Les températures des mers génèrent un signal atmosphérique aux grandes échelles, auquel se superposent des fluctuations prévisibles, elles, à échéance d'une vingtaine de jours seulement.

Il devient ainsi possible, suite à quelques expériences de grande ampleur (ECMWF, 1998 ; Palmer *et al.*, 2000) et de manière presque opérationnelle (au moins dans un certain sens), de produire des prévisions saisonnières – sans prétendre néanmoins faire plus que de compléter une prévision climatologique – et donc mieux éclairer des décideurs face à une alternative offrant des coûts et des probabilités évaluables. Les prévisions saisonnières actuelles ne sont pas capables, par exemple, de prévoir une canicule comme celle de l'été 2003 en Europe avec une anticipation de 4 à 6 mois (classique pour ce genre de prévision).

Ce que l'on peut attendre de la prévision saisonnière est tout autre et assez loin des produits traditionnels de la prévision météorologique (températures, précipitations, pressions…). À tel point que le terme « prévision saisonnière », pour attirant qu'il soit, n'est pas approprié et plutôt source de malentendu. L'objet de la prévision saisonnière consiste à dire en quoi le climat d'une saison à venir se distingue du climat des années précédentes (à grande maille), par exemple en prédisant l'occurrence de l'anomalie climatique majeure « *El Nino* » et son basculement vers la situation symétrique dite « *El Nina* ». Dans le cadre spécifique des régions tropicales, ou la prévisibilité est plus importante que sous les latitudes tempérées, c'est au phénomène ENSO (*El Nino South Oscillation*) que l'on s'intéresse, avec le résultat intéressant de prévoir 60 % de la variance de la TSO Pacifique (Température de Surface de l'Océan) avec 1 an d'avance.

Les applications que l'on peut qualifier d'économiques (Rogel et Maisonnave, 2003) et qui intéressent plus directement le bassin du Niger existent : elles se situent toujours dans le champ de l'activité d'un utilisateur qui s'intéresse à la prévision d'un événement pouvant lui infliger une perte économique notée « L » s'il se produit (hiver plus froid que la moyenne, navigabilité plus faible d'un fleuve…). Cet utilisateur peut se prémunir de cette perte par un investissement préventif de coût noté « C ». Cet utilisateur reçoit les résultats d'une prévision saisonnière, et il doit décider, pour son propre usage, à partir de quel seuil de probabilité prévue il considère que l'événement en cause va effectivement se produire. On peut ainsi tracer une courbe qui met en regard le seuil considéré et le rapport C/L, et donc estimer une valeur économique de la prévision exprimée en pourcentage du gain occasionné par une prévision parfaite.

Il n'est pas certain, sous réserve de disposer déjà de la totalité de l'information climato/météorologique nécessaire, que ce type de prévision puisse effectivement rentrer dans une chaîne économique opérationnelle sur le basin du Niger. En tous les cas, l'exploration de ce type d'optimisation ne semble pas totalement prioritaire au stade actuel ou d'autres actions, moins consommatrices de très hautes technologies, peuvent être engagées.

Le couplage de modèle : pour une gestion intégrée des bassins versants

La construction de modèles explicitant la dynamique à long terme des systèmes environnementaux complexes est un défi posé à la recherche, mais aussi à ses applications, et qui est loin d'être gagné si l'on s'intéresse à la dynamique globale des systèmes. Par dynamique globale, on entend classiquement celle des phénomènes physiques, mais aussi écologiques, ainsi que celle des groupes sociaux actifs sur les territoires concernés. Le simple fait de concevoir un modèle pertinent intégrant dans une dynamique systémique unique le fonctionnement de ses trois composantes principales en interaction est déjà un défi en soi. Même si l'on accepte de réduire le champ de l'intégration à la thématique « eaux et territoires », c'est-à-dire de ne conserver que deux entrées : l'organisation sociale (territoires) et l'eau dans tous ses états (donc jusqu'à la production agricole et aquacole – y compris la pêche – dans le lit majeur du fleuve), on n'a *a priori* pas beaucoup plus d'exemples opérationnels auxquels se référer.

Bien entendu, des modèles sectoriels existent sur le bassin du Niger, certains disposant d'un réel niveau d'intégration – y compris en écologie (captures et activités des pêcheurs) – et d'un haut niveau scientifique et/ou technique intrinsèque. La réelle complexité du fonctionnement du « système Niger » et sa grande richesse fonctionnelle, militent d'ailleurs, autant que faire se peut, pour une approche systémique de la modélisation. Par ailleurs, la gestion intégrée du système est plus qu'un objectif ou une ambition, c'est déjà une réalité inscrite dans le fonctionnement hydroécologique du fleuve et de son delta intérieur. Le séquencement dans le temps des types d'activité mobilisant les étapes successives de la montée puis de la descente des eaux, de l'agronomie à la pêche en passant par la navigation, est un exemple de gestion intégrée sans doute plus optimisée qu'il n'y paraît.

L'écueil à éviter est celui de l'intégration sans valeur ajoutée dont le résultat ne satisfera que les techniciens en charge de l'outil final qui risque, d'ailleurs, ne n'être qu'un outil de couplage, voire une simple juxtaposition de modèles. Il n'existe pas, à ma connaissance, de modèle global qui intègre le fonctionnement hydroclimatique d'un bassin versant (de cette taille et de cette variété naturelle et anthropique), ses dynamiques sociales et économiques (en relation avec les éléments principaux caractérisant son écologie) et sa biodiversité au sens large ; ceci, à toutes les échelles spatiales et temporelles nécessaires à la gestion opérationnelle de son développement. Par ailleurs, la question de la structure institutionnelle qui fasse fonctionner cet hypothétique outil, forcément à l'échelle du bassin versant dans sa globalité, se pose et, s'agissant du fleuve Niger, implique de conforter les institutions en place pour leur donner toute leur place (et toute l'autorité nécessaire) en matière de gestion opérationnelle ; ce qui n'est pas un problème simple.

Il est plus pertinent de se concentrer plutôt sur le confortement, l'extension et la structuration d'un système d'information environnementale (SIE) plus global qui prépare à un futur pilotage plus intégré des dynamiques territoriales du bassin versant. Les prémisses de ce SIE existent déjà, en particulier dans le domaine de l'exploitation piscicole en eau douce, ainsi que dans celui de la production agricole organisée. Ce SIE, dont il convient avant tout de décrire la structure, peut s'organiser à l'échelle du bassin versant et être utile aussi bien en gestion des crues (données hydroclimatiques) qu'en appui au développement territorial. Ceci doit être une priorité de l'action avant de songer à une savante intégration de modèles qui ne saurait être opérationnelle avant des

années et qu'il faudra, de toute manière, alimenter en données et en informations de toute nature.

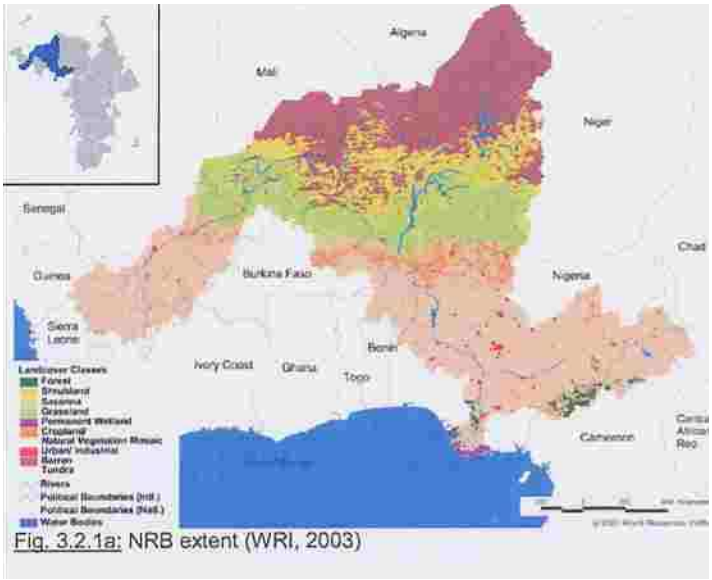
Évolution climatique : connaissances actuelles et schémas explicatifs

Les fréquentes sécheresses qu'a subies la région de Sahel en Afrique occidentale au cours des années 1970 et 1980 ont sérieusement entamé la résistance des écosystèmes et la capacité d'adaptation des sociétés humaines (IPCC, 2001). Le regain d'attention de la communauté scientifique qu'a provoqué ce phénomène s'est traduit par une forte augmentation du nombre de publications portant sur le climat ayant un rapport direct avec le bassin du Niger et permettant ainsi de mieux comprendre la complexité du climat régional et local.

Une combinaison unique de forçages externes et internes fait de l'Afrique occidentale l'une des régions les plus sensibles au monde au niveau climatique (Ning-Zeng, 2003) et probablement l'une des plus difficiles à schématiser (Jenkins *et al*., 2002). La superposition de plusieurs modes antagoniques de variabilité rend particulièrement difficile le déchiffrage et l'interprétation de l'évolution climatique**.** Cette question complexe sera traitée en quatre parties successives traitant des déterminants climatiques du bassin du Niger (connaissances actuelles), de ses modes de variabilité (observations), des schémas analytiques (outils expérimentaux) et de l'évolution des ressources en eau (prévisions).

Connaissances : les déterminants climatiques dans le bassin du Niger

Le bassin s'étend sur une grande partie du bloc continental de l'Afrique occidentale, entre le 4e et le 24e degré nord et entre le 12e degré ouest et le 16e degré est. Il occupe environ le tiers du bloc continental tropical de l'Afrique occidentale, ce qui en fait le plus grand bassin hydraulique de la région et le 4e plus grand d'Afrique (figure 1). La plupart des régimes climatiques d'Afrique occidentale sont le résultat d'interactions entre une variété unique de forçages qui rendent particulièrement difficiles l'identification et l'explication de l'évolution climatique. Une étude des mécanismes d'action s'avère nécessaire pour comprendre la variabilité et l'évolution à plus long terme du bassin. On s'attardera tout particulièrement sur les précipitations qui sont le paramètre climatique le plus important car il détermine les saisons, comme c'est le cas dans la majeure partie des régions où les températures ne sont pas restrictives (Le Barbé *et al*., 1997). D'autres variables jouant un rôle essentiel dans la présence de ressources en eau seront abordées dans les parties suivantes.



Source : World Resources Institute

Figure 1 - Bassin du fleuve Niger

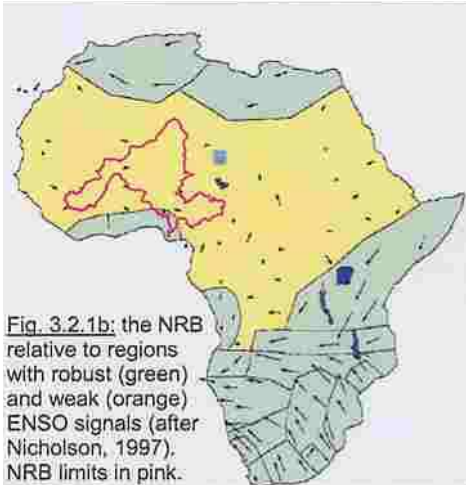
La localisation et les forçages astronomiques déterminent la saisonnalité du climat

L'immense bloc continental tropical, l'une des particularités de l'Afrique occidentale, exerce une influence unique sur le climat régional et planétaire grâce à la redistribution convective de la chaleur du soleil. Situé près d'immenses sources d'énergie (l'océan Atlantique et l'océan Indien) et de grands reliefs (les montagnes d'Afrique de l'Est et du Futa Djalon), il est propice à un transfert d'énergie en grande partie modulé par les conditions à la surface de la Terre. La chaleur saisonnière du soleil (lors de l'été, au nord) provoque la circulation de moussons, illustrée par le déplacement méridional de la Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT) associée aux phénomènes de convection résultant de l'interaction d'une instabilité atmosphérique, de conditions à la surface de la Terre et de couches limites**.**

Des forçages océano-atmosphériques conditionnent la circulation dans la région et déterminent le potentiel saisonnier

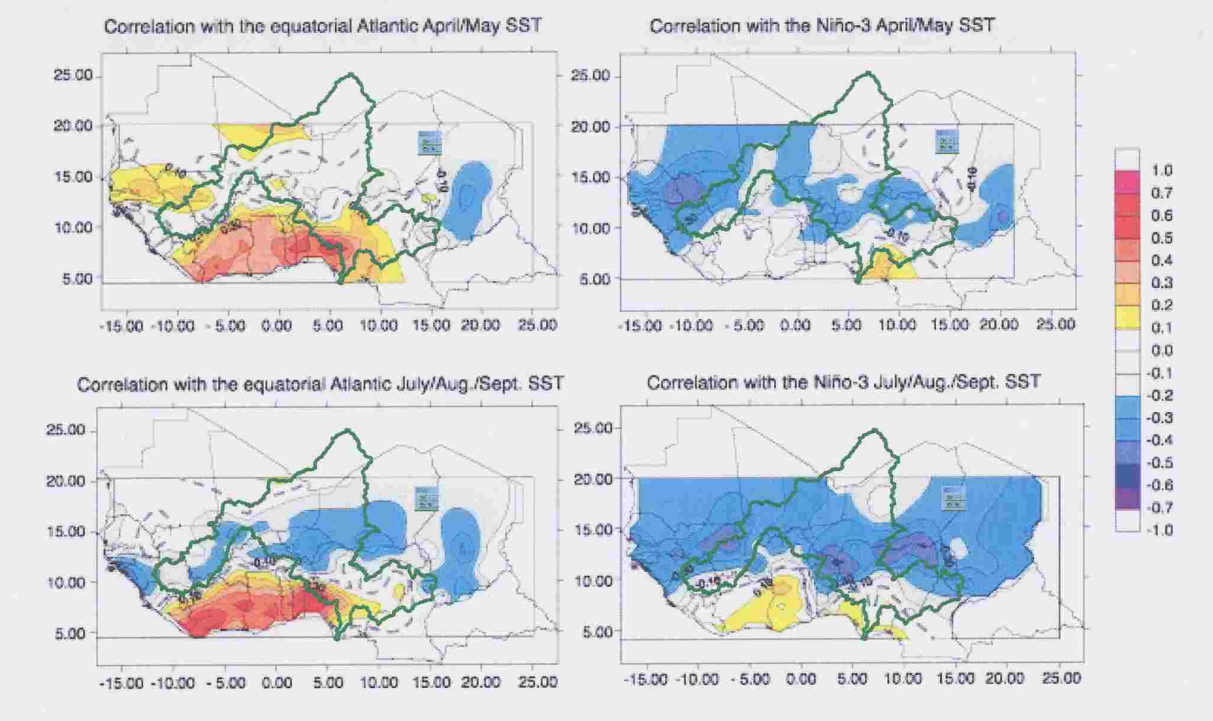
La saisonnalité du climat du bassin du Niger dépend de plusieurs signaux lointains lancés par le système océano-atmosphérique en réponse à des stimuli astronomiques. L'inertie thermique d'immenses masses d'eau ne permet pas un grand mouvement océanique ; ce qui maintient les conditions atmosphériques dans la région à travers des liens lointains (téléconnections) pendant plusieurs mois, voire plusieurs années. On peut faire une distinction dialectique entre les forçages atmosphériques stochastiques sur lesquelles les océans n'auraient aucun retour dynamique et la variabilité interne des océans forcée non pas par des variations atmosphériques mais par une combinaison océano-atmosphérique (Willebrand, 1998). Le phénomène d'oscillation océano-atmosphérique le plus connu qui touche le climat du bassin du Niger est *El Niño* (ENSO) qui influence le système mondial des moussons d'été, de la Chine à l'Afrique occidentale, à travers les circulations de Walker et Hadley (Quan *et*

al., 2003). Une simple analyse harmonique a cependant montré que les téléconnections de l'ENSO avec les précipitations de l'Afrique occidentale tropicale sont moins nettes que dans d'autres régions d'Afrique (Nicholson et Kim, 1997 et figures 2 et 3). L'abondante documentation sur ce sujet révèle encore un manque de consensus sur la relative importance de l'influence de l'ENSO sur la région (pour les thèses contradictoires, voir Rowell, 2001 cité par Lister *et al*., 2001 et Mason *et al*., 2001). De nouvelles études sur le rôle modulateur de la variabilité SST de l'Atlantique (reconnue depuis longtemps comme un déterminant clé des précipitations en Afrique occidentale mais liée en partie à l'ENSO) devraient permettre de s'accorder sur des découvertes manifestement contradictoires obtenues sur différentes périodes. Camberlin (Camberlin *et al*., 2001) montre que la relative puissance de la téléconnection du Pacifique (ou de l'Atlantique) a augmenté (ou diminué) au cours des 30 dernières années. Pour la même période, Janicot (Janicot *et al*., 1998) détaille un possible mécanisme qui expliquerait l'influence lointaine de l'ENSO sur les SST de l'Atlantique (et donc les pluies en Afrique occidentale) sous la forme d'une zone de connexion atmosphérique entre deux océans (pont troposphérique).



Source : Nicholson et Kim, 1997

Figure 2 Le bassin du Niger et les régions où la présence d'El Niño est forte (en vert) ou faible (en orange) (les limites du bassin sont en rose)



Source : adapté d'après O. Baddour, Clivar 1999

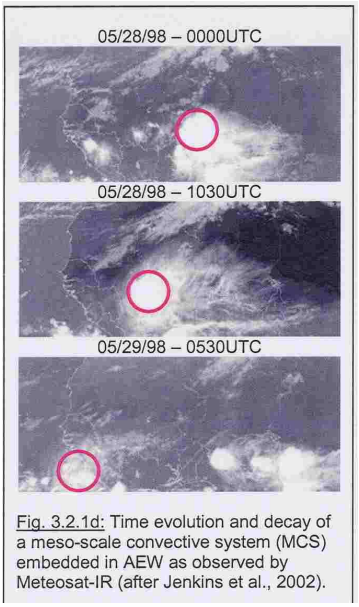
Figure 3 - Corrélations des précipitations (Juill., Août et Sept.) avec la SST Atlantique et El Niño

La figure 3 illustre la modulation du signal de l'ENSO par les SST de l'Atlantique équatoriale révélant des influences et des réponses contrastées entre deux régions climatiques adjacentes représentées dans les limites du bassin du Niger. Les régimes de précipitation de ces deux régions se sont souvent révélés en décalage (Clivar, 1999). On les schématise sous la forme d'un dipôle méridional avec des précipitations négatives (ou positives) sur le Sahel (ou sur la côte du golfe de Guinée) et des SST chaudes dans l'Atlantique sud (pour des détails sur ces mécanismes, Vizy *et al.*, 2001).

En fait, plusieurs études suggèrent que la sécheresse sahélienne n'est pas liée à un seul modèle d'anomalie des SST. Elle dépend plutôt d'influences combinées venues, d'une part, des anomalies mondiales de la SST et, de l'autre, de modèles de contributions océaniques liées (Folland *et al.*, 1986). Récemment, Giannini (Giannini *et al.*, 2003) qui s'intéresse, lui aussi, à l'influence de l'océan Indien a justifié ce point de vue. De nombreuses autres téléconnections (méditerranéennes : Raicich *et al.*, 2003) et autres forçages potentiels (des oscillations quasi biennales : Lister *et al.*, 2001) ont été proposées. Aujourd'hui encore, la multiplicité des interactions entre les signes océano-atmosphériques au niveau local ou planétaire rend très difficiles l'analyse et la compréhension des dynamiques qui en découlent ; mais la poursuite d'un ensemble de recherches commence à porter ses fruits (Giannini *et al.*, 2003).

Des éléments synoptiques et sub-synoptiques contrôlent les véritables schémas climatiques et déterminent la réalisation des saisons

En Afrique occidentale, un vent thermique mi-troposphérique d'est créé par le puissant gradient thermique situé entre l'atmosphère saharienne sèche et la mousson humide du sud-ouest fait naître une succession de vagues provoquées par le vent qui survole les montagnes d'Afrique de l'Est (Cook, 1999). Ces caractéristiques synoptiques, appelées également ondes d'Est africain, sont les suivantes : une période dominante de 3 à 5 jours (El Oussein Taleb et Bruyan, 2003), une longueur de vague de 2 000 à 4 000 km et une latitude moyenne de 11 à 12° N (Lister *et al*., 2001). Fixées dans les ondes, des cellules convectives se déplacent vers l'ouest. La présence de ces cellules, organisées sur des lignes d'orage de plusieurs centaines de km de long, s'explique par la chaleur à la surface de la Terre, la topographie et l'évaporation. L'activité des lignes d'orage est la principale responsable, au moyen de boucles de rétroaction sur des périodes météorologiques moyennes, des pluies de l'Afrique occidentale et du développement de cyclones atlantiques (Landsea *et al*., 1999). Cette dernière évolution implique souvent la transformation de lignes d'orage en complexes convectifs de mésoscale, un autre élément synoptique en Afrique occidentale ayant une forme concentrique (Jenkins *et al*., 2002). La figure 4 illustre le déplacement vers l'ouest et l'évolution dans le temps de tels systèmes convectifs mésoscales et le développement d'un autre CMC sur l'onde suivante, 2 500 km plus à l'est.



Source : observations Météosat-IR, reproduites dans Jenkins *et al*., 2002

Figure 4 - Évolution d'un système convectif mésoscale

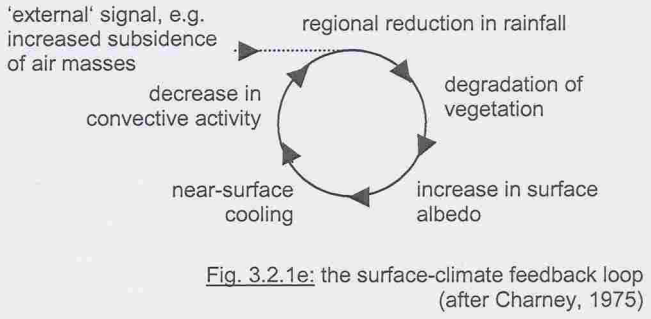
Le rapport Clivar (1999) souligne cependant que notre connaissance actuelle sur les détails synoptiques de la convection africaine est encore insuffisante en dépit de nombreux travaux en la matière (la théorie du courant d'Est africain fut proposée par Burpee en 1972). De récents travaux de Gu (Guojun Gu *et al*., 2004) désignent ces ondes comme l'un des mécanismes clefs qui déterminent les précipitations dans le Sahel (au-dessus d'une latitude de 10° N) au plus haut de la saison des pluies (juillet-août). Gu

avance également l'hypothèse que les ondes ne descendent pas plus bas que le 10° N, les moteurs de l'activité convective étant les gradients SST et les forçages thermiques. Selon les données de Taleb (El Houssein Taleb et Druyan, 2003), les perturbations associées au courant d'Est africain ne représentent qu'une partie des précipitations saisonnières. Des résultats obtenus par D'Amato (D'Amato et Lebel, 1998) et Le Barbé (Le Barbé *et al*., 1997) identifient, quant à eux, la variabilité dans le nombre – plutôt que dans la magnitude – de chaque chute de pluie comme la source principale de variabilité des précipitations au Sahel.

La nécessité de la poursuite des études se justifie par le rôle critique que les éléments synoptiques revendiquent sur les schémas climatiques et sur la variabilité climatique *in fine*. Il s'avère nécessaire de mieux comprendre les phénomènes et les processus qui lient des événements synoptiques à la circulation régionale et mondiale, comme les oscillations Madden et Julian (Matthews, 2004), et la dynamique des vents troposphériques dont le vent thermique d'est (Nicholson *et al*., 2003). Il est également utile de mieux caractériser les rétroactions entre ce vent et les conditions à la surface au moyen de la couche limite (Fontaine *et al*., 2000).

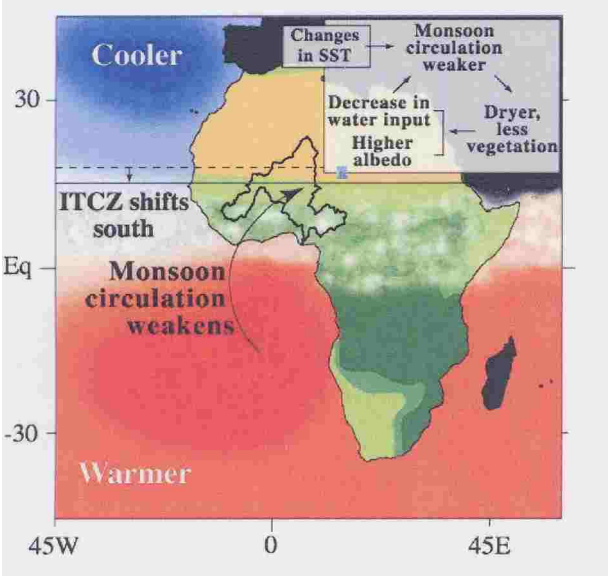
Les conditions à la surface de la Terre : les post-combustions de l'appareil climatique régional

On a longtemps suggéré que les boucles de rétroaction entre les conditions à la surface de la Terre et l'atmosphère fonctionnaient également sur des périodes climatiques plus longues avec des répercutions sur la variabilité des précipitations interdécennales et la tendance à la désertification. Charney avança en 1975 l'idée selon laquelle la dégradation de la couche végétale entraînerait une augmentation de l'évapotranspiration**,** une baisse des précipitations et enfin une dégradation supplémentaire de la couche végétale**,** créant ainsi un cycle rétroactif d'albédo-précipitations (figure 5). De nombreuses études suggèrent que la couche de végétation et l'humidité des sols sont nécessaires pour simuler le plus justement possible les variations de précipitations, notamment à des périodes interdécennales (Ning-Zeng *et al.*, 1999). Elles jouent le rôle d'amplificateurs des forçages océaniques à basse fréquence (Giannini *et al*., 2003 et figure 6) et amortissent le « bruit » à haute fréquence trop peu puissant pour perturber des cycles interdécennaux. De même, la désertification consistant bien plus en une dégradation des lieux de capacité de production au-delà des déserts de sable qu'à une inexorable avancée du sable sur la terre (IPCC, 2001), plusieurs études (Xue, 1997 ; Xinyu Zheng et Eltahir, 1998) soulignent les effets à plus long terme sur les pluies sahéliennes des changements de l'albédo, de l'humidité des sols et de la dureté de la surface dans les zones soudaniennes et guinéennes avoisinantes. Nicholson (Nicholson et Kim, 1997) souligne la rétroaction positive entre la désertification et le changement climatique provoqué par le CO_2, à travers les effets d'interaction de la dégradation végétale, de l'augmentation de l'exposition des sols, de la baisse de l'humidité des sols et de l'érosion des sols. L'érosion par le vent est notamment responsable de l'augmentation des aérosols qui modifient l'équilibre des radiations et les processus atmosphériques comme la convection ; ce qui a des conséquences sur le climat saisonnier (Clivar, 1999).



Source : Charney, 1975

Figure 5 - Cycle rétroactif d'albédo-précipitations



Source : adapté d'après Ning-Zeng *et al.*, 1999

Figure 6 - Influence rétroactive de la SST, des précipitations et de la végétation sur les précipitations de mousson sur le bassin du Niger

De nombreux documents portant sur ce sujet en Afrique occidentale ont été publiés depuis les excellents travaux de Charney au milieu des années 1970 afin de trouver, parmi les facteurs anthropogéniques et naturels responsables du changement climatique, le principal mécanisme de causalité. Les expériences Hapex-Sahel de 1991-93, motivées par cette idée, ont montré, d'une part, l'équilibre complexe entre les influences à la surface de la Terre et les schémas de flux à grande échelle et, d'autre part, la nécessité de plus de couplage terre-atmosphère pour comprendre les mécanismes impliqués dans l'interaction des processus mésoscales et les phénomènes à plus grande échelle (Dolman *et al.*, 1997).

Depuis, des progrès ont été accomplis dans ce domaine. Tout d'abord, on a couplé des schémas atmosphériques avec de simples modèles de biosphère (Xue *et al.*, 2004), puis avec des schémas de végétation dynamiques, afin d'identifier de multiples états d'équilibre dans les dynamiques climat/végétation et d'affirmer l'influence sur le climat des conditions à la surface de la terre face aux SST ou de l'humidité face à

l'albédo à la surface de la Terre, le rôle de ce dernier étant toujours controversé (Hunt, 2000). L'hypothèse d'une sécheresse provoquée par des forçages semble maintenant écartée par la plupart des études qui avancent l'idée que les changements climatiques observés dans la région proviennent de forçages externes à grande échelle (Long *et al*., 2000), c'est-à-dire de variabilités naturelles et peut-être d'un réchauffement planétaire anthropogénique (Ning-Zeng, 2003). Cependant, il faut souligner le rôle essentiel des conditions à la surface de la Terre dans la perpétuité des conditions de sécheresse et d'humidité créées par les forçages océaniques et leur effet modérateur sur les variations interanuelles via la réponse des surfaces végétales (De Ridder, 1998 ; Ning-Zeng *et al.*, 1999). Enfin, les travaux originaux de Semazzi (Semazzi *et al*., 1997) suggèrent que les montagnes de l'Atlas-Ahaggar apportent un vent orographique sahélien qui, affaibli, pourrait contribuer à renforcer les épisodes de sécheresse au Sahel. L'auteur émet l'hypothèse selon laquelle le contrôle orographique pourrait être un autre facteur important permettant de déterminer certaines caractéristiques primaires de la variabilité climatique en Afrique occidentale ; point de vue que partage Sultan (Sultan *et al*., 2003a et 2003b).

Conséquence : un ensemble complexe de périodes

Une multitude de forçages ayant des origines astronomiques, océaniques, atmosphériques et continentales déterminent le climat du bassin du Niger. Les dynamiques de chacun de ces déterminants suivent un schéma d'oscillation sur plusieurs périodes et impliquent que des phénomènes interfèrent à différentes échelles spatiales. Contrairement à l'Afrique de l'est ou du sud où l'ENSO exerce un véritable contrôle sur le climat régional, la distribution des influences entre diverses forçages produit des données variables difficiles à démêler et qui ne permet pas de déterminer une évolution climatique claire. La partie suivante sera consacrée aux différentes modes de variabilité du climat dans le bassin du Niger allant de températures moyennes à des phases glaciaires et, surtout, aux modes les plus appropriés aux périodes humaines : les variabilités saisonnales et décennales. Une attention particulière sera accordée au « Sahel » des climatologues (ce terme généralement utilisé dans un sens large incluant les régions d'Afrique occidentale au régime pluviométrique monomodal) et non à la « côte guinéenne », au sud (régime pluviométrique bimodal), car cette dernière ne représente qu'une petite partie de la région du bassin de Niger.

Un climat marqué par de nombreux modes de variabilité

Quand Hulme (2001) déclare qu'il n'existe pas de précipitations « normales » au Sahel, il occulte l'une des caractéristiques fondamentales du climat en Afrique occidentale : sa « normalité » varie en fonction des périodes. L'imbrication des modes de variabilité observés a longtemps empêché, et c'est encore le cas aujourd'hui, de comprendre les principaux processus qui déterminent les climats régionaux et locaux et donc de schématiser les changements et d'identifier une « évolution ».

Ce concept d'« évolution » peut être trompeur et demande à être précis dans la période. Ce qui peut sembler être une tendance sur une période limitée, correspond généralement à une partie d'un cycle compris dans un ensemble plus large de variabilité. L'évolution serait alors un « signal » qui détecte des bruits « variables » qui resteraient à caractériser. Suite à la théorie de Ward (1998) qui a démontré l'intérêt de séparer des oscillations qui apparaissent à différentes fréquences, on fractionne le

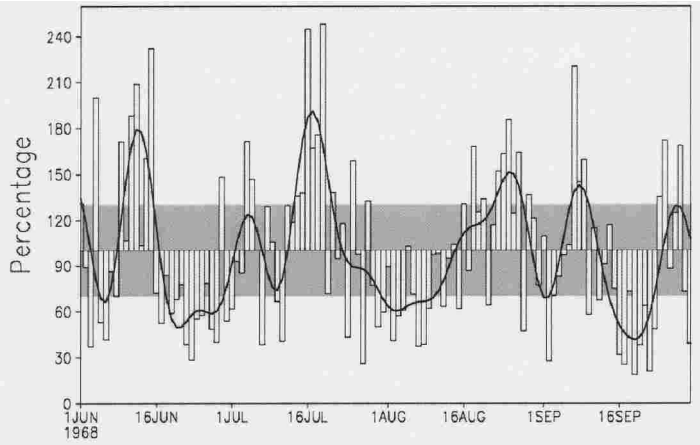
comportement du climat du bassin entre chaque constituant de sa variabilité et on montre comment ces constituants sont liés à une évolution sur une période donnée (souvent une décennie).

Variable intrasaisonnière : le rôle des ondes de l'est

On peut avancer que les variabilités intersaisonnières n'ont pas grand-chose en rapport avec l'étude de l'évolution climatique calculée sur plusieurs années. Cependant, des changements peuvent apparaître dans la structure interne de la saison. En effet, les dynamiques des systèmes synoptiques jouent un rôle prépondérant dans l'apparition d'anomalies climatiques saisonnières. Par exemple, les ondes de l'est agissent lors de périodes intra-saisonnières reliant des données climatiques individuelles à des variations interannuelles. Cette influence pourrait même avoir des effets plus importants sur les fluctuations climatiques de plus basses fréquences (Clivar, 1999).

Des travaux de Le Barbé (Le Barbé *et al*., 1997) montrent que la diminution des précipitations dans le Sahel au cours des dernières décennies s'expliquait surtout par la baisse des pluies en juillet-août, sans que la durée de la saison des pluies ne change de façon significative. Des résultats complémentaires apportés par d'Amato (D'Amato et Lebel, 1998) illustrent la variation de la quantité de pluie entre le cœur et les extrêmes de la saison des pluies. D'après ces résultats, la baisse des précipitations est principalement fonction de la baisse de la fréquence des tempêtes en plein cœur de la mousson. Cette conclusion soulève la question des facteurs contrôlant la périodicité – c'est-à-dire le développement, la vitesse de déplacement, le timing (Shinoda *et al*., 1999) – et le cycle de vie des systèmes synoptiques se déplaçant vers l'ouest.

Il est extrêmement important de bien comprendre les modèles de variabilité intra-saisonniers comme l'apparition de périodes de sécheresse ou le début difficilement prévisible de la saison des pluies et, ce, pour les processus écologiques, en particulier l'agriculture (Ati *et al*., 2002 ; Dodd *et al*., 2001 ; Omotosho *et al*., 2000 ; Ward *et al*., 1999). Prenons deux années successives, 2003 et 2004, qui ont eu des précipitations saisonnières comparables mais des distributions intra-saisonnières différentes (dans la partie ouest du Mali, par exemple). En conséquence, on a enregistré une différence nette d'effets sur la croissance de la végétation avec des retours différents sur les variables climatiques locales sur une période interannuelle ou plus longue. Donc, les analyses de variabilité et d'évolution à long terme, fondées sur des totaux sub-saisonniers (comme les précipitations JAS) doivent prendre en compte la variabilité intersaisonnière afin de corriger toute erreur possible lors de l'analyse de l'évolution climatique. Tous ces aspects justifient le besoin de renseignements adéquats sur les dynamiques des moussons en Afrique occidentale lors de la poursuite des travaux prometteurs de Sultan (Sultan *et al*., 2003a , 2003b et figure 7).

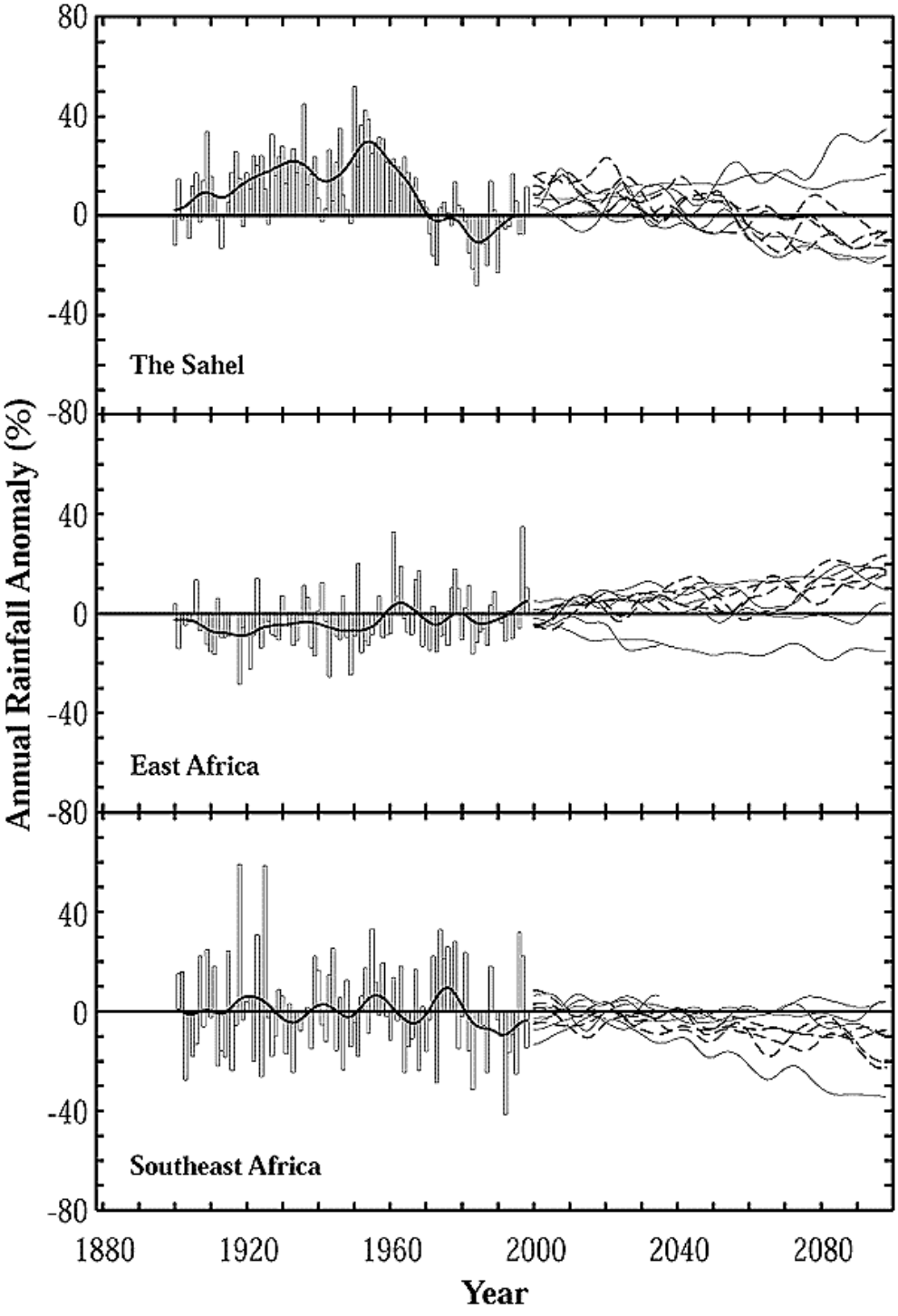


Source : Sultan *et al*., 2003a

Figure 7 - Variabilité intra-saisonnale en 1968, dans la région soudano-sahélienne, sous la forme de précipitations journalières du cycle saisonnier de 1968

Les variabilités saisonnières (interannuelles) : ce ne sont pas les plus longues !

L'intégration de variations intra-saisonnières à des périodes annuelles permet de détecter les anomalies dans les précipitations annuelles touchées par des variabilités de haute fréquence (interannuelles : HF) et de basse fréquence (interdécennales **:** BF) qui doivent être découplées et comptées séparément (Ward, 1998). Des travaux de Moron (1997) utilisant des analyses de spectres multi-élémentaires (MSSA) démontrent que le Sahel se différencie d'autres régions d'Afrique par le fait que ses fréquences sub-décennales contribuèrent très peu à la variation des précipitations pendant la période 1900-94. Par exemple, des oscillations quasi-quinquennales (OQQ : 5,1-5,8 ans), quasi-triennales (OQT : 3,2-3,6 ans) et quasi-biennales (OQB : 2,0-2,8 ans) n'expliquaient respectivement que 5 % (20 %), 5-10% (20-25 %) et 5 % (10 %) des variations pluviométriques du Sahel (Afrique de l'Est et Afrique équatoriale). On peut tirer des conclusions similaires en lisant la figure 8 de la page suivante (d'après IPCC, 2001). Il apparaît clairement que les variabilités interannuelles au Sahel, même longues (Hastenrath, 2000), ne sont pas aussi significatives que dans les régions de l'Est et du Sud-est africain. Cette spécificité ne s'applique pas à la côte guinéenne directement au sud.



Source : IPCC, 2001

Figure 8 : Anomalies des précipitations annuelles

Des variabilités interdécennales inégalées sous les tropiques

En effet, la grande proportion d'anomalies annuelles dans le climat du Sahel s'explique (ou est « contaminée ») par des oscillations qui ont lieu sur de plus longues périodes. Cette variabilité, qu'on appelle souvent fluctuation BF « basse fréquence » (Ward, 1998) intéresse tout particulièrement la communauté scientifique après la succession de plusieurs années sèches qui débutèrent au début des années 1970 et les sécheresses qui en résultèrent. Moron (1997) observa une pulsion quasi-décennale de 12-13 ans qui représenta 12 à 14 % de la variabilité de la saison des pluies.

D'après les résultats d'une simulation faite par Hunt (2000) sur 500 ans, les périodes typiques de sécheresse ou d'humidité au Sahel s'étendent sur 5-10 ans. Ceci montre bien que la période sèche de 1968 est tout à fait anormale. « *Le Sahel africain […] est l'exemple le plus inquiétant au monde de variabilité climatique mesurée directement et quantitativement* » (Hulme, 2001).

En Afrique occidentale, les précipitations ont été l'objet de fortes variations décennales et interdécennales au cours du XXe siècle. La principale caractéristique est la réduction du nombre de précipitations au cours de la deuxième partie du siècle avec une amélioration à la fin (Paeth *et al*., 2004).

Les conditions à la surface de la Terre jouent le rôle d'amplificateur des signaux climatiques (la sécheresse : anomalie interdécennale) contrairement aux variations interannuelles qui ne peuvent être considérées individuellement comme une sécheresse.

De la variabilité à l'évolution : les changements climatiques du passé perçus par les humains

De récents documents historiques montrent que l'Afrique occidentale s'est réchauffée au cours du dernier siècle en même temps que le reste du monde avec un réchauffement légèrement supérieur lors de la saison de la mousson d'été. Une succession de périodes sèches et humides est apparue depuis le début des années 1800 avec, même, une sécheresse très sévère lors de la première partie du XIXe siècle que l'on pourrait comparer en magnitude et en durée aux conditions climatiques qui se développent depuis les années 1970 (Nicholson, 1982, cité par Hulme, 2001 et figure 8). D'après les souvenirs de personnes âgées encore vivantes qui connurent la sécheresse qui s'abattit sur le Sahel aux alentours de la première Guerre Mondiale, le gouvernement colonial organisa, de manière préventive, des enterrements en masse, pour éviter les épidémies.

En l'espace de quelques années, la sécheresse et son corollaire, la désertification, sont devenues, sous la pression de donateurs venus d'agences internationales, des sujets de recherche très prisés provoquant des débats passionnés sur la nature et la signification de la sécheresse au Sahel. Ces opinions n'étaient pas toujours totalement apolitiques, manquaient parfois de justesse scientifique (Chappell et Agnew, 2004) et changeaient presque autant (Gregory, 1982, cité par Le Barbé *et al*., 1997) que les conditions de précipitation !

Mais en dépit du flot de publications provoqué par la sécheresse des années 1970-80, la question cruciale posée par Hulme (2001) reste, elle, entière : à quel point cette désertification qui s'est produite récemment dans le Sahel est un événement unique ?

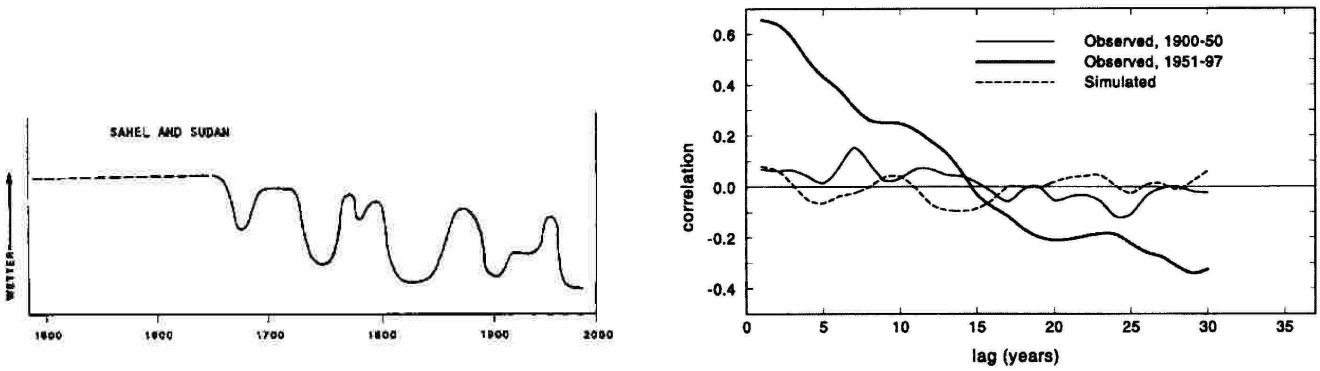


Figure 9 : Possibles précipitations à long terme dans le Sahel et le Soudan

Un prochain refroidissement planétaire ?

Des données paléoclimatologiques sur la dernière période glaciaire (20 000 – 14 000 avant JC) indiquent des températures plus basses qu'aujourd'hui (de 4 à 7 degrés), une aridité plus intense et une avancée latitudinale du désert due à la baisse des précipitations associée à de plus faibles moussons, des vents plus violents et des SST plus faibles. Cette période fut suivie d'une phase climatique « hypsithermale » de réchauffement pendant l'ère holocène, culminant vers l'an 7 000 avant JC, avec des cycles saisonniers étendus, une humidité et un recul du désert au profit de prairies et même de lacs (Zuppi *et al.*, 2004). Damnati (Damnati, 2000) cite un brusque développement de palustres, de l'an 7 000 à 6 500 avant JC, dans les 73 bassins lacustres du Sahara alimentés par une mousson plus longue et moins violente qu'aujourd'hui et dont les précipitations annuelles s'élevaient à au moins 300 mm sur la partie nord du bassin du Niger. L'auteur suggère également que les caractéristiques climatiques actuelles se sont développées vers l'an 4 500 avant JC.

Quel climat en Afrique occidentale ? Prévisions, principes et technique

La compilation des connaissances exposées plus haut apporte une base théorique sur le climat et peut être considérée comme un modèle conceptuel d'explication. De nos jours, quand on parle de « modèles climatiques », on pense généralement à des applications informatiques complexes dont on tire des connaissances. En principe, il n'est pas obligatoire d'avoir confiance en de tels modèles quand on fait des recherches sur les variabilités climatiques passées pour savoir si des observations directes (listes de températures) et indirectes (cernes d'arbres) sont disponibles. Dans la pratique, la maigreur des archives et la pauvreté des observations font que ces modèles sont largement utilisés pour créer des périodes synthétiques lors de recherches sur les cycles climatiques. Enfin, le système climatique étant complexe en général, et en Afrique

occidentale particulièrement, ces modèles sont indispensables à l'étude du climat futur. Un court résumé de leur justification, de leurs principes et de leur fonctionnement est indiqué pour faire apparaître les projections actuelles pour le bassin du Niger.

Les deux prochaines parties donnent un bref aperçu des deux grandes approches de la modélisation climatique fondée sur une synthèse de Lister qui peut être consultée pour plus de détails (Lister *et al* 2001).

Les méthodes empiriques/statistiques

Les méthodes empiriques reposent sur des indicateurs (surtout les anomalies de température à la surface de la mer : les SSTA) considérés comme des éléments prévisionnels du climat d'une région donnée au moyen d'analyses statistiques de leurs relations avec un ensemble de données prévisionnelles observées. Des premières approches comprenaient l'analyse de périodes historiques à extrapoler fondée sur la persistance d'évolutions**,** sans chercher la cause possible de ces évolutions. Une autre option simple est l'utilisation de séquences climatiques analogues en partant du fait qu'il y a une persistance dans les comportements. Au cours des dernières décennies, ont été mises au point des méthodes toujours plus inventives d'analyse statistique :

- la simple corrélation qui quantifie la force de la relation entre une période de prédictants et des prédicteurs ; ce qui nécessite souvent une moyenne de SSTA (notamment au moyen des fonctions orthogonales empiriques, les FOE), mais qui ne constitue pas une technique de modélisation prévisionnelle ;
- la régression multiple, véritable outil prévisionnel qui demande généralement une réduction dans la dimension du jeu des prédicteurs pour éviter les « faux mouvements parfaits » ;
- des techniques d'analyse linéaire très variées qui relient des modèles du champ prédictant aux modèles du champ prédicteur 'notamment des analyses des corrélations canoniques, les ACC), la décomposition en valeurs singulières (la DVS) et la modélisation inversée ;
- des méthodes d'optimisation non linéaire fondées sur la préparation de variables prédictrices parmi lesquelles des analyses discriminantes et des liens neuraux capables de gérer de très nombreuses données, donnant des produits de probabilité liés à la climatologie à long terme (et non un simple résultat dans le cas d'analyses de régression).

Les méthodes numériques/dynamiques

Si les approches empiriques/statistiques permettent l'identification de liens entre prédicteurs et prédictants, des techniques plus élaborées, basées sur des lois physiques, sont nécessaires pour faire des recherches sur les processus en jeu qui se cachent derrière ces liens. On peut les catégoriser comme une fonction de leur maniement des interactions océan/atmosphère. À l'origine, les méthodes semi-dynamiques dépendaient des SSTA comme d'une frontière absolue (et persistance, comme on le croyait) et se focalisaient sur la simulation de la réponse atmosphérique. Elles ont été largement supplantées par l'approche à « deux niveaux » selon laquelle les GCM prédisent l'évolution des SSTA utilisées à leur tour comme limite aux GCM atmosphériques (AGCM). Ces dernières approches, plus complexes, donnent des modèles océano-atmosphériques totalement couplés qui permettent aux deux composantes d'évoluer en

toute liberté et d'interagir. Des modèles océano-atmosphériques plus récemment couplés ont commencé à inclure également les couches limites à la surface de la Terre.

On peut reprendre la même classification pour les modèles de prédiction des SSTA qui varient, en devenant de plus en plus complexes, de modèles océaniques intermédiaires à des modèles océaniques hybrides et pour les modèles totalement couplés. Selon Stockdale, les méthodes dynamiques ont des avantages sur les approches empiriques/statistiques car elles peuvent gérer des situations sans précédent et traiter des combinaisons de facteurs qui ne peuvent être, d'après les quelques rares observations dont nous disposons, analysées de façon empirique (Stockdale *et al*. 1998 cité par Lister *et al*., 2001).

Cependant, de nombreux défauts subsistent : le manque d'observations locales empêche toute estimation certaine sur plusieurs décennies, impose donc des limitations pratiques à la validation des modèles climatiques et entrave leur fonctionnement dans la région (Ward, 1998). Si les systèmes d'observation par satellite pallient la pauvreté des mesures, leur faible couverture dans le temps (environ deux décennies) ne peut soulager les contraintes imposées par le manque de données historiques requises pour valider les simulations des variations climatiques en Afrique occidentale à des périodes interdécennales ou plus longues.

Clivar (1999) note que les modèles les plus actuels ont été réglés de façon à maximiser les fonctionnements dans la région pacifique pour des périodes interannuelles. Dans l'ensemble, ils ne semblent pas bien fonctionner sur l'Afrique occidentale tropicale pour la période interannuelle à l'inverse des régions où l'ENSO est le principal modulateur climatique. Une interprétation saisonnière des modèles couplés de l'Océan atlantique et de l'Océan indien apparaît elle aussi bien modeste.

Les divergences de prévisions des précipitations saisonnières sont dues à la mauvaise simulation d'un cycle saisonnier, à la sous-représentation des forçages planétaires et à la faible interaction entre la convection de cumulus et la surface sous-jacente (paramétrisation inadéquate des processus de convection en Afrique). Les interactions entre les systèmes de circulation hémisphériques et locaux risquent de ne pas apparaître dans les données de ré-analyse, à cause d'un manque d'observations en Afrique et sur les moussons océaniques avoisinantes (Clivar, 1999).

La plupart des modèles couplés océano-atmosphériques prévoyaient des changements climatiques sans tenir compte des conditions à la surface de la Terre (Hulme, 2001). Il en va de même pour les simulations de GCM atmosphériques forcées par les SST (Quan *et al.*, 2003).

Schéma d'ensemble pour des prévisions plus avancées

Outre l'apport d'une meilleure compréhension (et schématisation) du climat régional, savoir faire des prévisions justes peut s'avérer très avantageux (notamment lors de périodes saisonnières et interannuelles) pour l'hydrologie et l'agriculture, deux facteurs particulièrement importants pour les populations vivant dans le bassin du Niger. Cependant, le niveau d'incertitude que contiennent les prévisions de GCM a été démontré par des différences entre les modèles sur plusieurs régions (Braconnot *et al.*,

2000 sur le Projet d'Intercomparaison de Schématisation Paléoclimatique). Cela a provoqué une plus grande dépendance de l'ensemble des prévisions incluant des schémas multiples.

Evolution et projections des ressources en eau dans le bassin du Niger

On a vu que de complexes rétroactions entre un ensemble unique de facteurs façonnent l'exceptionnelle sensibilité climatique de l'Afrique occidentale illustrée par de multiples modes de variabilité qui empêchent l'interprétation de modèles actuels et même la prévision du climat passé. Face à ce lot d'incertitudes, comment prévoir le climat de la région au XXIe siècle ? Dans quelle mesure peut-on se fier à ces projections ? Les conditions de sécheresse vont-elles persister, régresser, empirer ? Quel sera l'impact sur les ressources en eau dans le bassin ?

Le climat SRES change les scénarii : l'ensemble de référence des projections pour le XXIe siècle

Cela comprend : les variabilités naturelles à l'échelle planétaire et des forçages anthropogéniques par des émissions de GHG (gaz à effet de serre). Cela ne comprend pas : l'impact de l'accroissement de la population sur l'utilisation de la terre et du sol.

L'évolution des précipitations révèle un résultat incertain pour le Sahel et pour l'Afrique occidentale : est-ce un témoin des limites actuelles des modèles ? Seront abordées ici les incertitudes toujours grandes des prévisions climatiques sur le bassin du Niger (schémas du SRES, IPCC, 2001).

Évolution des températures : réchauffement très probable du bassin, entraînant une très probable hausse des taux d'évapotranspiration.

Forte probabilité d'une hausse des températures et évolution incertaine du régime des précipitations avec, pour conséquence, des modifications du budget eau/énergie (plus de catastrophes climatiques, changement possible des LGP (gaz de pétrole liquide) et de la durée des précipitations, redistribution intrasaisonnière des pluies). Possible impact négatif d'une trop grande évapotranspiration sur les ressources en eau, sur l'ensemble du bassin.

Le delta du Niger : un futur Lac Tchad/Okavango ?

Un titre volontairement provocateur pour aborder la géographie du bassin du Niger et ses effets sur l'évolution des ressources en eau du bassin.

Dans quelle mesure le changement climatique aura un impact sur le bassin du Niger ? La publication en 2001 du « Changement environnemental dans la région de Sahel de l'Afrique occidentale » a permis de revoir notre vision pessimiste de l'avenir des zones semi-arides et sub-humides englobant une grande partie du bassin. Batterbury et Warren (2001) affirment que si les recherches environnementales dans la région se sont concentrées sur « l'urgence de la sécheresse », peu de progrès a été fait pour la compréhension des processus biophysiques (notamment climatiques) en jeu et que ces recherches ont eu peu d'impact sur notre mode de vie et nos comportements sociaux. L'auteur a démontré les capacités d'adaptation propres aux sociétés et à la nature

façonnée par des siècles de variabilités climatiques. Il suggère également que les dynamiques humaines (croissance de la population, urbanisation, diversification des systèmes, décentralisation...) sont davantage responsables des changements climatiques dans la région (Raynaut, 2001). Il remet en cause le mythe de la dépendance (Mortimore *et al*., 2001) incluant la dépendance climatique et d'autres « paradigmes d'équilibre » de l'écosystème évalués depuis longtemps par des chercheurs et d'autres acteurs du développement « externes ».

Tendances des ressources en eau

Introduction

Les populations du bassin du Niger sont confrontées à plusieurs types de problèmes liés à l'eau tels que les pénuries en eau, les maladies hydriques, les inondations, etc. Ces problèmes ont des causes dans lesquelles se conjuguent intimement :

- des contraintes naturelles résultant des conditions environnementales peu favorables à la reconstitution et à la mobilisation des ressources en eau : climat , végétation, sol et sous-sol ;
- des facteurs humains contribuant à la surexploitation et à la dégradation des ressources : croissance démographique, pauvreté, urbanisation, industrialisation, développement de l'agriculture, etc.

Des conditions naturelles, en particulier une sécheresse prolongée et l'augmentation de la pression humaine sur un milieu fragile, ont provoqué des ruptures profondes d'équilibre des ressources en eau et des écosystèmes du Bassin du fleuve Niger. Les principaux constats relevés sont :

- une dégradation des conditions de vie des populations ;
- une diminution significative des ressources en eau (sévérité des étiages et baisse du niveau des nappes) ;
- une réduction de la diversité biologique, en particulier par perte d'habitat ;
- une prolifération des végétaux flottants ;
- un ensablement des lits et des cuvettes ;
- une pollution due à un contrôle insuffisant des rejets dans le fleuve ;
- et le manque de synergie entre les différentes institutions responsables de la protection et de la gestion des ressources au niveau des pays et pour l'ensemble du bassin du fleuve Niger.

Climat

Le climat au Mali est de type tropical caractérisé par l'alternance d'une longue saison sèche (de 6 à 9 mois) et d'une courte saison humide au cours de laquelle se produit la presque totalité des précipitations dont les moyennes varient de 1 200 mm à 150 mm ou moins.

La période de sécheresse qui a commencé en 1970 a entraîné des déficits pluviométriques de l'ordre de 30 % et un déplacement des courbes isohyètes de près de 200 km vers le sud (figure 10).

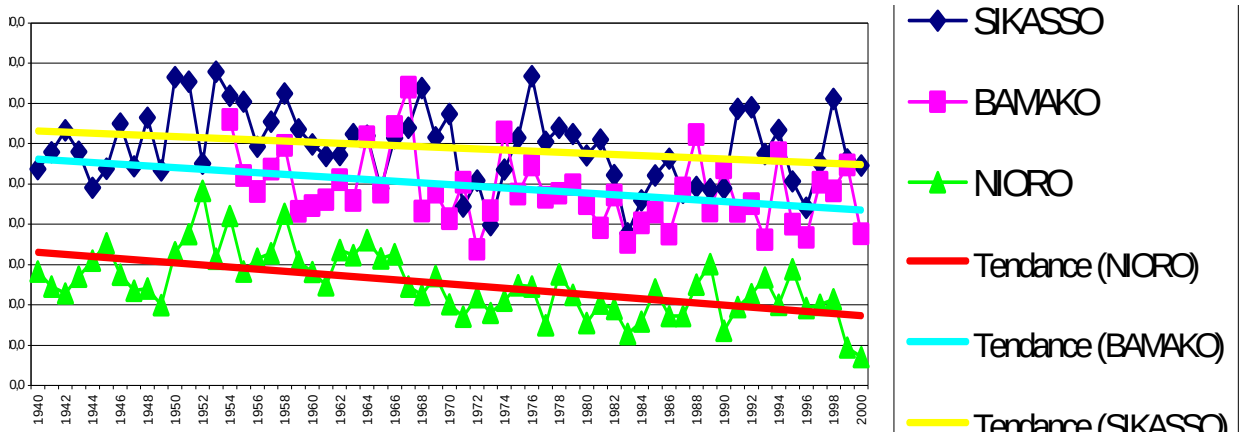


Figure 10 - Tendances de la pluviométrie au Mali

La collecte des données sur le climat est réalisée grâce à un réseau de stations permettant d'obtenir des informations sur les précipitations, l'évaporation et leurs facteurs conditionnels (température, humidité et vents). Par rapport à l'immensité du bassin au Mali, la densité du réseau de stations est plutôt lâche par rapport aux normes recommandées par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM) :

- 1 poste pluviométrique pour 2 500 km^2 contre 1 pour 600 à 900 km^2 pour les régions tropicales planes ;
- 1 station climatologique pour 12 500 km^2 contre ;
- 1 station synoptique pour 27 000 km^2.

Le tableau 1 donne quelques caractéristiques climatiques sur l'ensemble du bassin du Niger (température T, humidité relative U et précipitations interannuelles).

Le climat du bassin du Niger supérieur est caractérisé, au Mali, par l'alternance très prononcée entre une saison sèche dominée par des vents secs venant du Sahara (Harmattan) et une saison pluvieuse de 3 à 6 mois (entre mai et octobre) avec des vents humides venant du Golfe de Guinée (mousson). Les vents sont en général plus forts dans la zone soudano-sahélienne que dans la zone soudanaise.

Sur l'ensemble du bassin, les températures les plus élevées sont enregistrées en avril et en mai, tandis que les minimales sont observées dans la période de décembre à janvier (tableau 1).

L'humidité relative (rapport entre la tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère et la tension de vapeur saturante à même température) est, contrairement aux températures, plus faible au nord qu'au sud du bassin. Elle est en moyenne de 40 % dans la région de Ségou-Markala-Mopti et se situe autour de 60 % au sud du bassin (tableau 1).

En général, les valeurs de l'ETP sont assez fortes au sud (200 mm/an) mais encore plus élevées dans le nord du bassin, notamment pendant la période de mars à mai. Cette caractéristique résulte de l'effet conjugué des températures souvent élevées, des humidités relatives faibles et, surtout, de l'effet desséchant de l'Harmattan.

Paramètre	Bamako	Ségou	Mopti	Tombouctou
T°moy. Annuelle	28,5	28,6	27,7	29,1
T°max - (mois) *	39,4 - (4)	41,2 - (4)	40,0 - (5)	4 3,2 - (5)
T°min - (mois) *	17,6 - (1)	15,4 - (1)	14,0 - (1)	(1)13,0 - (1)
Ü max ann en % **	73	74	75	54
Ü min ann en % **	33	32	30	21
(Ü max + Ü min) en mars	26	31	30	21
(Ü max + Ü min) en août	79	80	78	68
P (précipitations interannuelles en mm)	985	650	415	180
Nbre de mois secs ***	7	8	8 à 9	10

* Entre parenthèses, le numéro du mois de température maximum (max) et minimum (min).
** Ü max et Ü min sont respectivement les humidités relatives moyennes annuelles maximales et minimales. (Ü max + Ü min)/2 correspond aux humidités relatives moyennes du mois le plus sec (mars) et du mois le plus humide (août).
*** Suivant la définition de Gaussen, un mois est dit sec lorsque Pmm < 2 T°C.

Sources : Quensière, 1994

Tableau 1 : Quelques caractéristiques climatiques du bassin du fleuve Niger

Le bassin du fleuve au Mali est sous l'influence du climat tropical dans lequel les précipitations annuelles varient de moins de 200 mm au nord à plus de 1 100 mm au sud. Les régimes pluviométriques sont caractérisés par l'alternance d'une saison sèche (dont la durée varie de 5 mois dans la partie sud à 9 mois au nord) et d'une saison humide, ou hivernage, qui débute en avril-mai et se termine en octobre-novembre.

La hauteur annuelle de pluie et la durée de la saison des pluies sont les principaux facteurs déterminants les quatre zones agro-écologiques ci-après (du sud au nord) :

- la zone soudano-guinéenne située sur et au sud de la ligne Bougouni-Sikasso et couvrant le Niger supérieur et le Haut Bani, avec une saison de pluies durant sept à huit mois (avril - mai à octobre - novembre) et des précipitations annuelles dépassant 1 100 mm (*cf.* Sikasso sur la figure 11),

- la zone soudanienne centrée sur la ligne Bamako–Ségou-San avec une saison pluvieuse de six mois (mai à octobre) et des précipitations annuelles variant de 1 100 à 600 mm (*cf.* Bamako - Sénou sur la figure 11),
- la zone sahélienne centrée sur la ligne Mopti–Gao et couvrant le delta central et la partie sud de la boucle du Niger avec une saison des pluies de trois mois (juillet à septembre) et des précipitations annuelles comprises entre 600 et 200 mm (figure 12),
- et la zone saharienne ou désertique centrée sur la ligne Diré – Tombouctou – Bourem et couvrant la partie nord de la boucle du Niger avec une saison des pluies réduite à deux mois (mi-juillet à mi-septembre) et des précipitations annuelles inférieures à 200 mm (figure 13).

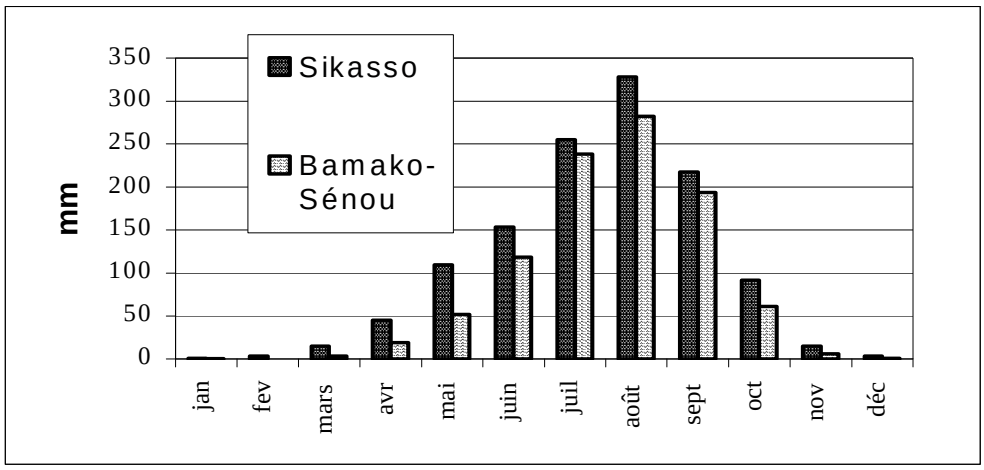


Figure 11 – Histogramme des pluies mensuelles à Sikasso et à Bamako-Sénou (normale climatologique 1951-80)

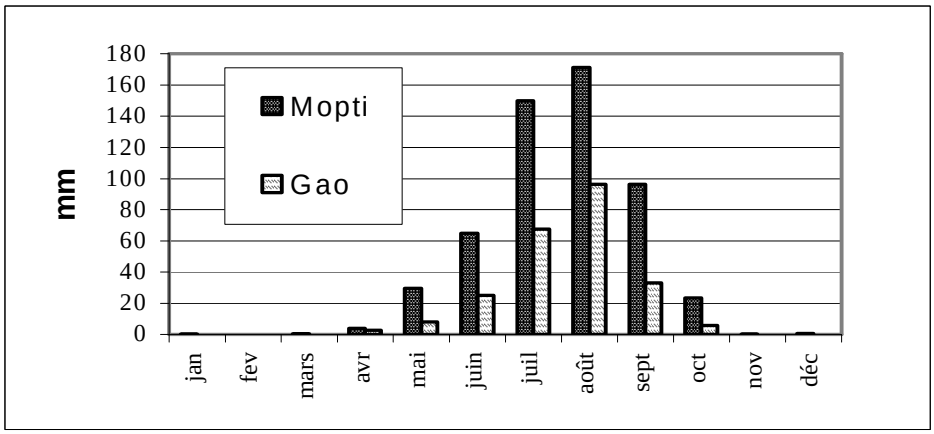


Figure 12 - Histogramme des pluies mensuelles à Mopti et Gao (normale climatologique 1951-80)

 © IRD éditions 2007

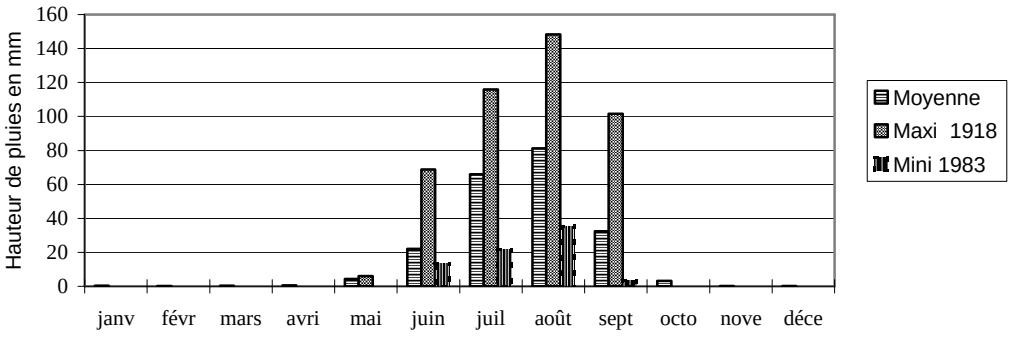


Figure 13 - Répartition mensuelle de la pluie à Tombouctou

Depuis 1970, le déficit pluviométrique se caractérise non seulement par une rigueur et une persistance exceptionnelles, notamment dans les régions sahéliennes, mais également par une extension spatiale vers les régions plus humides au sud. Le déficit pluviométrique de la période après 1970 s'est traduit par une réduction des hauteurs annuelles de pluie de l'ordre de 20 à 50 % par rapport à la période avant 1970, soit 50 à 500 mm par an ; ce qui correspond à une descente vers le sud d'environ 100 km.

Eaux de surface

L'une des caractéristiques du fleuve Niger et ses affluents est la variabilité interannuelle et intersaisonnière des écoulements (figures 14 et 15). En effet, le régime hydrologique commun à tous ces cours d'eau est fortement dominé par les facteurs climatiques (précipitations) des hauts bassins situés en République de Guinée. Il est marqué par une importante variation saisonnière des débits entre la période de hautes eaux (crue) qui se situe entre juillet et novembre selon les cas, et celle de basses eaux (étiage) avec des débits quasi nuls dans certains cas vers avril - mai. Les crues démarrent vers la fin du mois de juin. La montée des débits est très rapide. Le maximum est atteint entre fin septembre et début octobre pour le haut Niger à Koulikoro, soit avec un léger décalage par rapport au maximum des pluies.

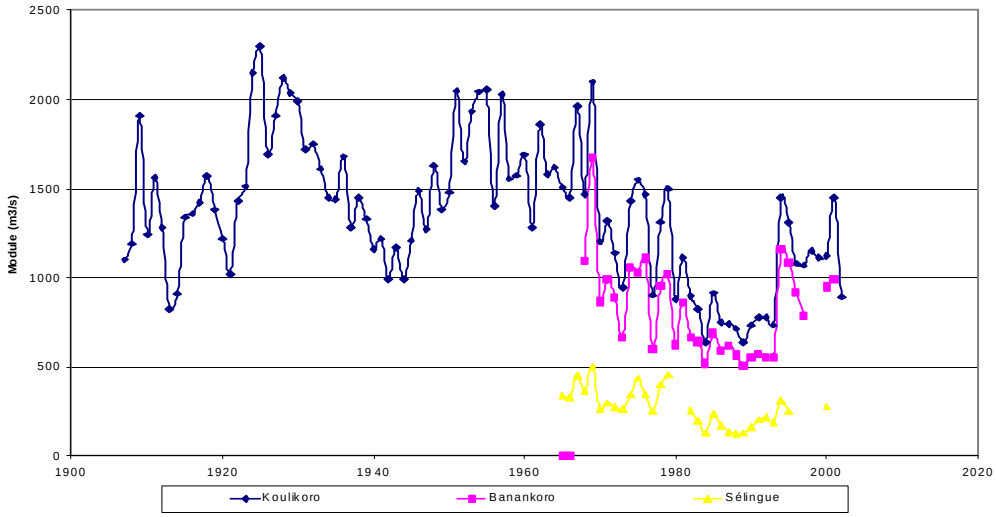


Figure 14 - Module du Niger et du Sankarani (période 1907-2002)

Plus de 80 % du volume des crues s'écoulent entre août et fin octobre sauf dans le delta central du fleuve Niger et en aval où la propagation des crues est plus lente compte tenu de la topographie des lits et du niveau avancé de leur encombrement par les bancs de sable.

Dans le delta central du fleuve qui couvre une superficie estimée à plus de 30 000 km^2 , les pertes d'eau par évaporation, infiltration et alimentation des lacs et des mares sont de 40 à 60 % des débits d'entrée du haut Niger et du Bani.

En raison de sa morphologie générale, le delta intérieur fonctionne à l'inverse d'un bassin versant, le fleuve et ses principaux bras jouant le rôle de « distributaires » de l'eau dans la cuvette.

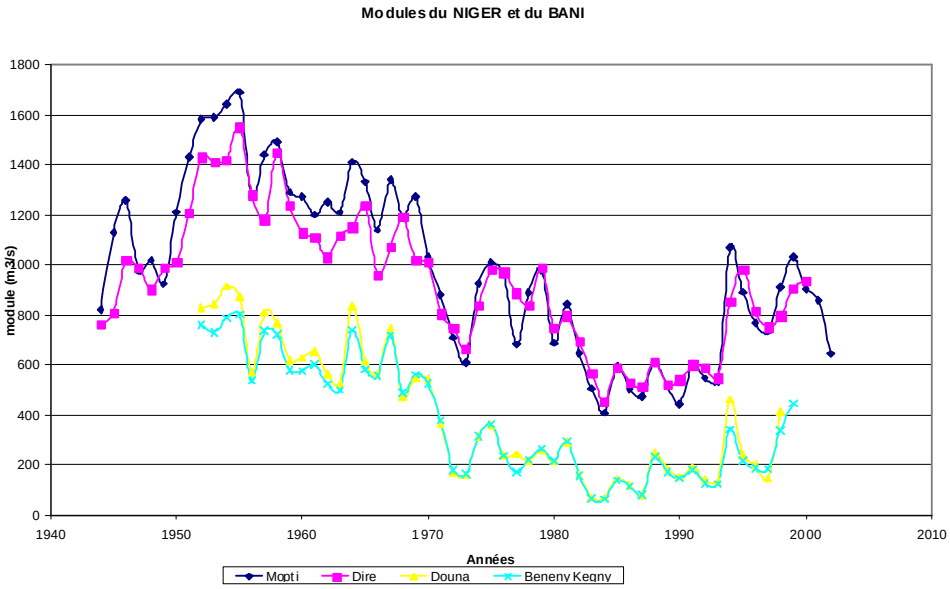


Figure 15 - Modules du Niger et du Bani à Diré, Mopti, Douna et Bénény Kégny

Potentialités des eaux de surface

Le débit moyen annuel du Niger à Koulikoro est de 1 330 $m^3.s^{-1}$, soit un volume annuel de 42 milliards de m^3. Les valeurs extrêmes observées en année humide comme en 1967 et en année sèche comme en 1984 sont, respectivement, de 1 959 $m^3.s^{-1}$, soit 62 milliards de m^3, et de 636 $m^3.s^{-1}$, soit 20 milliards de m^3.

Le débit moyen annuel du Bani est de 423 $m^3.s^{-1}$, soit un écoulement annuel de 13 milliards de m^3. Les valeurs extrêmes observées en 1967 et en 1984 sont, respectivement, de 753 $m^3.s^{-1}$, soit 24 milliards de m^3, et 70,1 $m^3.s^{-1}$, soit 2 milliards de m^3.

Les apports du Sankarani à Sélingué varient entre 200 et 400 $m^3.s^{-1}$, soit un volume de 6 à 12 milliards de m^3 selon l'hydraulicité de l'année.

La mise en eau du barrage en 1982 a fortement modifié le régime du fleuve Niger en aval de la confluence avec le Sankarani. En effet, les débits retenus dans la retenue entre août et septembre sont entièrement restitués à l'aval dès que les apports du Sankarani sont inférieurs aux besoins d'eau pour la production électrique. Les débits turbinés augmentent au fur et à mesure que la retenue se vide compte tenu, d'une part, de l'augmentation de la demande d'énergie pendant les fortes chaleurs et, d'autre part, de la baisse de la chute utilisable du barrage faute d'apports suffisants pendant la saison sèche. Le barrage soutient ainsi considérablement les étiages du fleuve Niger.

Ainsi, le fleuve Niger et ses principaux affluents (le Sankarani et le Bani) ont un écoulement moyen annuel de 1 750 $m^3.s^{-1}$, soit un volume de 55 milliards de m^3. Les

valeurs extrêmes observées sont de 2 703 $m^3.s^{-1}$, soit 85 milliards de m^3 en 1967, et de 706 $m^3.s^{-1}$, soit 22 milliards de m^3 en 1984.

En dépit des apports supplémentaires du Bani (environ 500 $m^3.s^{-1}$ à Douna), le module du Niger à Mopti est nettement inférieur à celui à Koulikoro.

Les écarts à la moyenne du module annuel sont illustrés dans les graphiques 16 et 17.

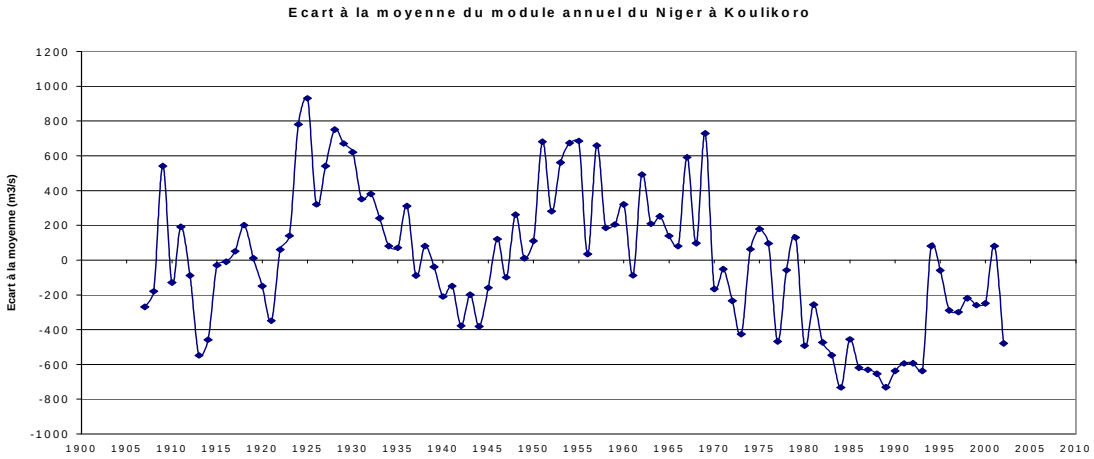


Figure 16 - Écarts à la moyenne du module moyen annuel du Niger à Koulikoro

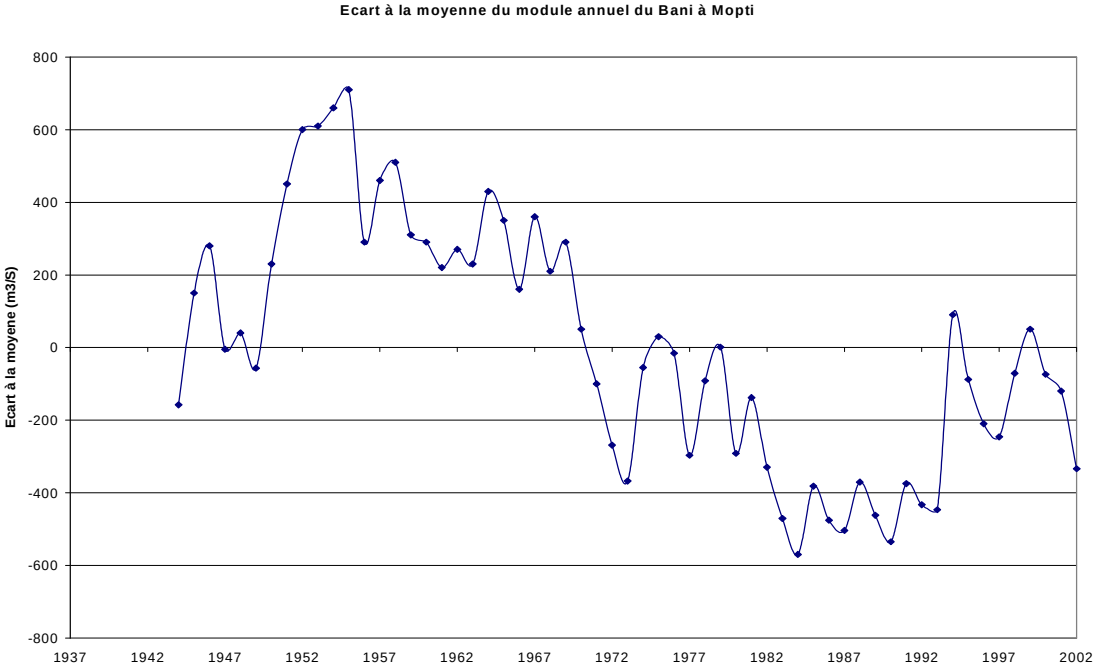


Figure 17 - Écarts à la moyenne du module annuel du Bani à Mopti

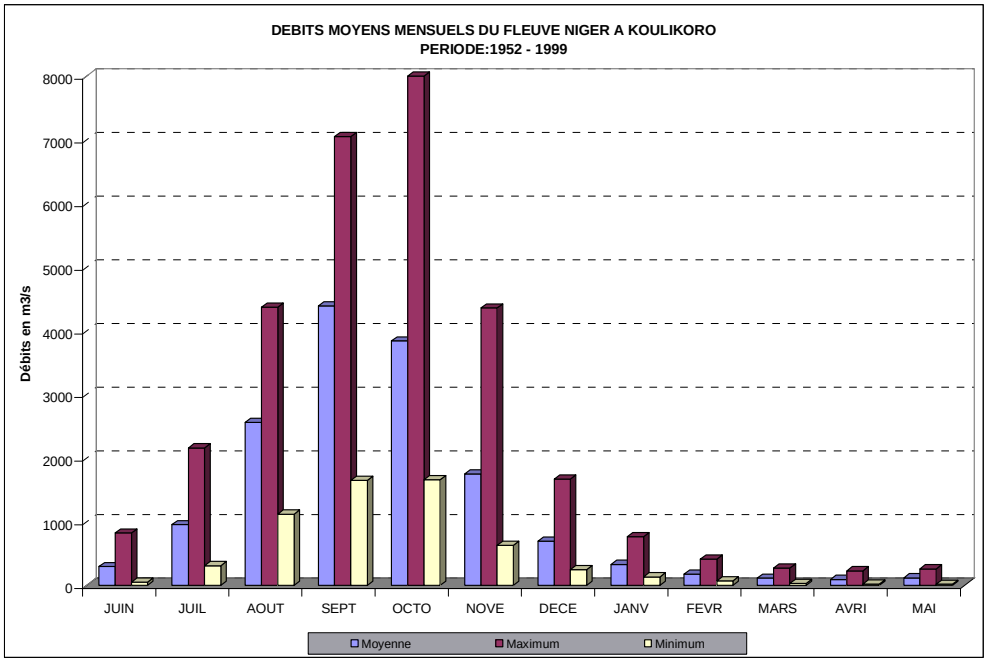


Figure 18 - Débits moyens mensuels du Niger à Koulikoro

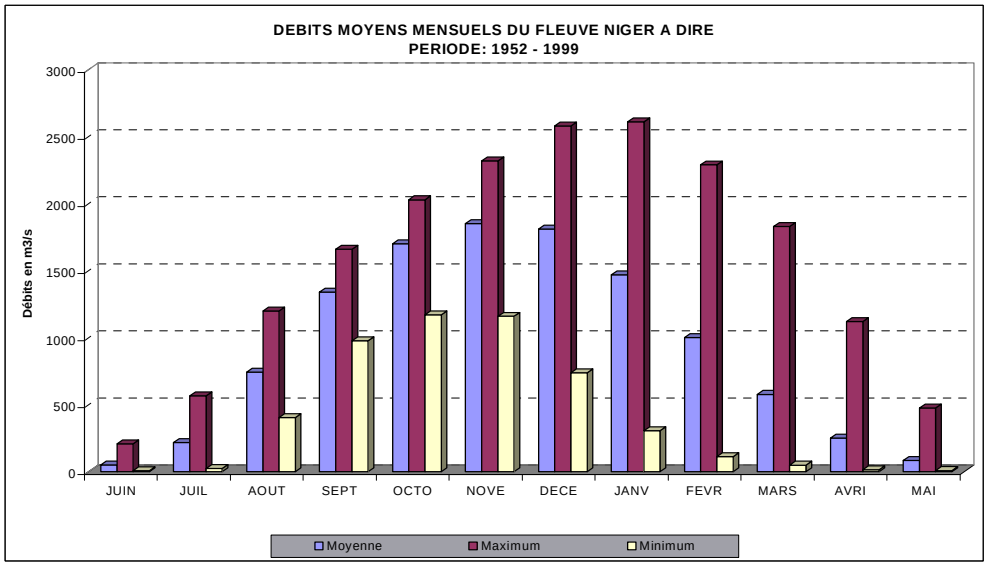


Figure 19 - Débits moyens mensuels du Niger à Diré

Fleuves	Stations	Modules (m^3/s)	Volumes écoulés milliards m^3
Niger	Koulikoro	1 280	40,366 08
Bani	Douna	424	13,371 264
Niger	Mopti	974	30,716 064
Niger	Dire	926	29,202 336
Niger	Ansongo	864	27,247 104

Tableau 2 - Volumes moyens interannuels écoulés dans les principaux cours d'eau du Mali entre 1952 et 1999

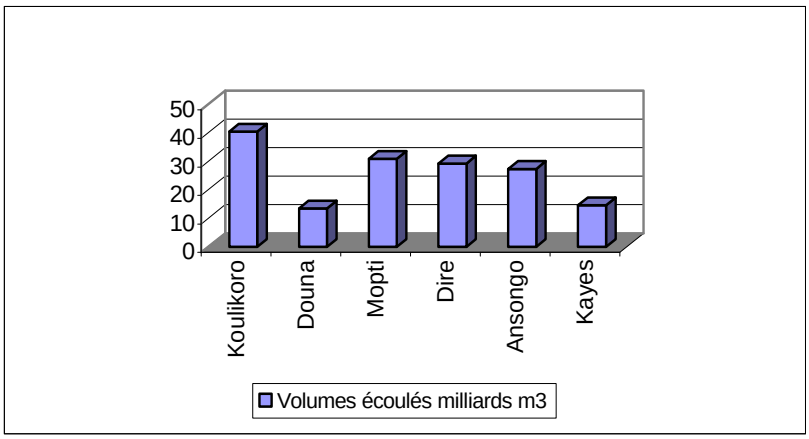


Figure 20 - Volumes moyens interannuels écoulés dans les principaux cours d'eau du Mali (1952-99)

Eaux souterraines

Les eaux souterraines représentent un potentiel très important et généralement de bonne qualité mais inégalement reparties et parfois difficilement mobilisables. Elles contribuent cependant pour 85 à 90 % à l'approvisionnement en eau potable des populations, mais ne jouent qu'un rôle très accessoire pour l'irrigation en raison de leur coût de mobilisation.

Les réserves sont classées en trois grandes catégories selon le mode de gisement des eaux : les aquifères généralisés, les aquifères fissurés et les aquifères superficiels (tableau 3).

Les aquifères généralisés

Les aquifères généralisés sont associés aux formations détritiques peu ou non consolidés et d'origine essentiellement continentale qui se sont accumulés dans les bassins sédimentaires au Secondaire et au Tertiaire. Ces aquifères sont généralement multicouches avec une porosité intergranulaire et occupent un peu plus de la moitié du territoire national. Ils renferment des eaux anciennes et généralement non renouvelables à cause de la faiblesse des précipitations et de leur profondeur souvent trop élevée ne permettant pas leur réalimentation périodique.

Les débits des forages de ces aquifères sont supérieurs à 10 $m^3.h^{-1}$ pour plus de la moitié des cas et peuvent même dépasser 50 $m^3.h^{-1}$ dans certains cas.

Les aquifères fissurés

Ces aquifères sont associés aux formations cristallines (socle) ou sédimentaires anciennes du Précambrien et du Primaire. Ils sont caractérisés par des nappes semi-continues ou discontinues en fonction de la densité des réseaux de fracturation qui les affectent.

Les aquifères discontinus

Ces aquifères sont localisés en zone sahélienne ou désertique avec des précipitations annuelles inférieures à 500 mm. Les formations de recouvrement sont peu importantes et ne renferment que des nappes superficielles d'extension locale dans les bas-fonds et perchées au-dessus de la nappe fissurée du substratum. La réalimentation de ces nappes par infiltration directe est significative pour les zones à pluviométrie supérieures à 400 mm. Pour les zones à plus faible pluviométrie, elle se fait d'une manière indirecte par infiltration des eaux de ruissellement. Les débits des forages de ce type sont supérieurs à 5 % dans 30 % des cas.

Les aquifères semi-continus

La situation géographique de ces aquifères leur permet de bénéficier d'une pluviométrie élevée, de plus de 600 mm, et donc d'une recharge saisonnière qui se manifeste par des remontées de plusieurs mètres pendant l'hivernage. Le débit moyen des forages est de l'ordre de 5 $m^3.h^{-1}$. Environ 30 à 40 % des forages ont des débits supérieurs à 5 $m^3.h^{-1}$ tandis que 10 à 20 % ont des débits supérieurs à 10 $m^3.h^{-1}$.

Les aquifères superficiels

Les aquifères superficiels gisent dans les formations de recouvrement et d'altération du Quaternaire. Dans les zones à faible pluviométrie, ces aquifères sont perchés et localisés dans les bas-fonds tandis que, dans les zones soudaniennes et soudano-sahéliennes, ils sont semi-continus.

Le régime des eaux souterraines

Les résultats du suivi des niveaux piézométriques ont mis en évidence les évolutions suivantes :

- tous les aquifères fissurés situés dans les secteurs de pluviométrie supérieure à 400 mm présentent des fluctuations de niveaux saisonnières notables (de moins de 1 m à plus de 15 m), tandis que les variations interannuelles ne sont que de quelques dizaines de cm : ce qui témoigne de la faible capacité de régularisation de ces aquifères. Ceci explique l'abaissement généralisé du niveau des nappes depuis le début des années 1970 consécutif à la longue période de sécheresse ;
- les aquifères généralisés, hormis les secteurs rechargés par les eaux de surface (delta intérieur du Niger notamment), ne présentent pas de variations piézométriques notables.

Type d'aquifère	Stratigraphie	Lithologie dominante	Superficie (km^2)	% superf. du Mali	Profond moy (m)	Débit moyen (m^3/h)
Aquifères généralisés	Continental terminal du Quaternaire	Argile, argiles sableuses, latérites	202 830	16	62	9,0
	Crétacé supérieur et Éocène inférieur	Calcaires, marnes, argiles, sables	138 910	11	136	7,3
	Continental terminal et Continental intercalaire	Sables, argiles sableuses, argiles	208 870	17	88	10,8
	Continental intercalaire	Sables, grés, conglomérats	82 320	7	249	10,4
Aquifères fissurés	Primaire de Taoudeni	Calcaires, grés	112 700	9	116	20,4
	Cambrien	Schistes, sables, calcaires, grés	66 060	5	57	6,3
	Infracambrien tabulaire	Grès, grès schisteux, schistes	174 810	14	63	5,6
	Infracambrien plissé et métamorphique	Schistes, calcaires, quartzites	97 420	8	92	7,0
	Socle granitique et métamorphique	Granites,schistes, micaschistes,	156 080	13	58	5,3
Aquifères superficiels	Quaternaire	Argiles, sables, graviers	dispersée	–	–	–

Tableau 3 - Principaux aquifères du Mali

Les réserves des aquifères du Mali sont estimées à 2 700 milliards de m^3 avec un taux de renouvellement annuel de 55 milliards m^3. Seulement 106 millions de m^3 sont actuellement exploités par an, soit 0,2 % des réserves.

Amplitude des fluctuations saisonnières

Cette amplitude dépend de plusieurs facteurs : la pluviométrie, les caractéristiques hydrauliques des aquifères, leur épaisseur, la nature lithologique et la granulométrie des terrains dénoyés.

Les fluctuations saisonnières ont des amplitudes variant entre 0,8 m (à Yanfolila en 1989) et 12 m (à Sirakoroba en 1988) pour les aquifères du socle (figure 21). Les oscillations des nappes de l'infracambrien tabulaire (figure 22) ont des amplitudes variant entre 0,51 m (à Sikasso en 1993) et 17,7 m (à Koutiala en 1988).

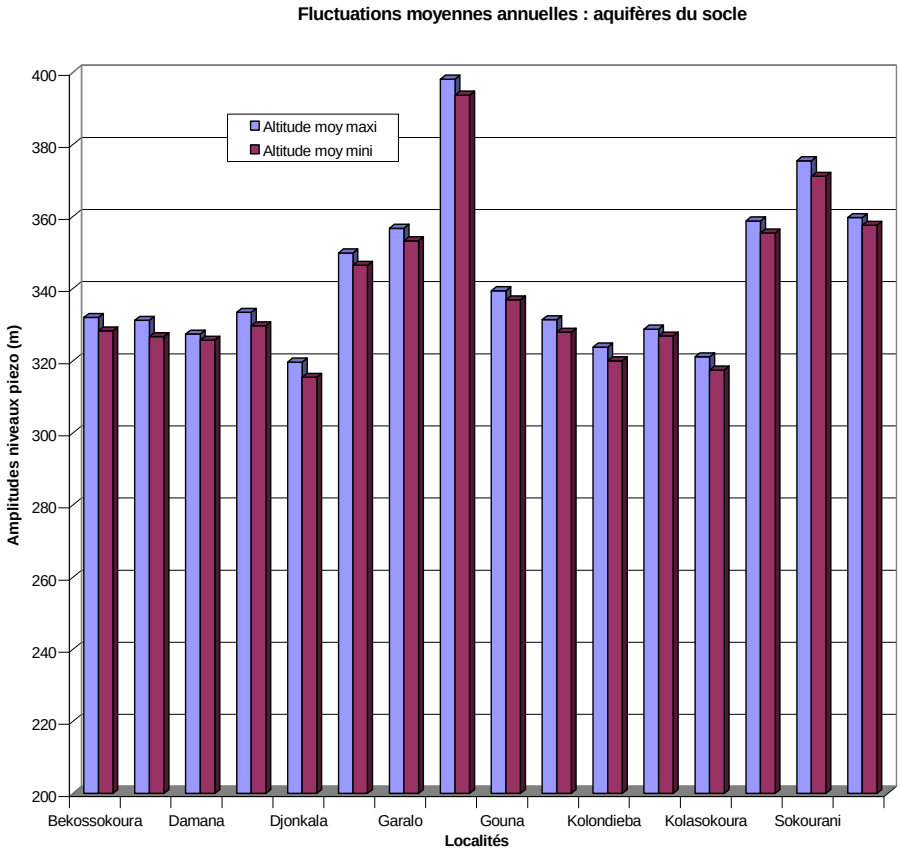


Figure 21 - Fluctuations moyennes annuelles (aquifère du socle)

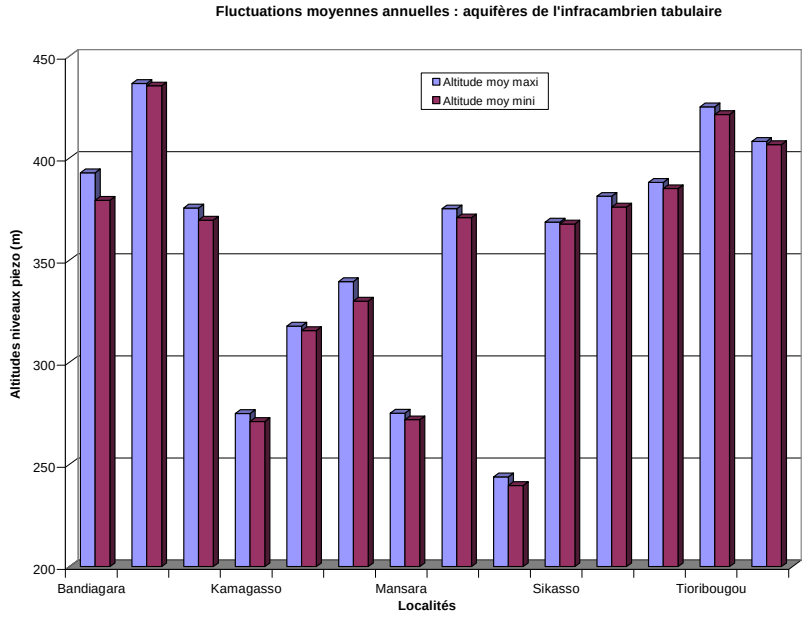


Figure 22 - Fluctuations moyennes annuelles (aquifère de l'infracambrien tabulaire)

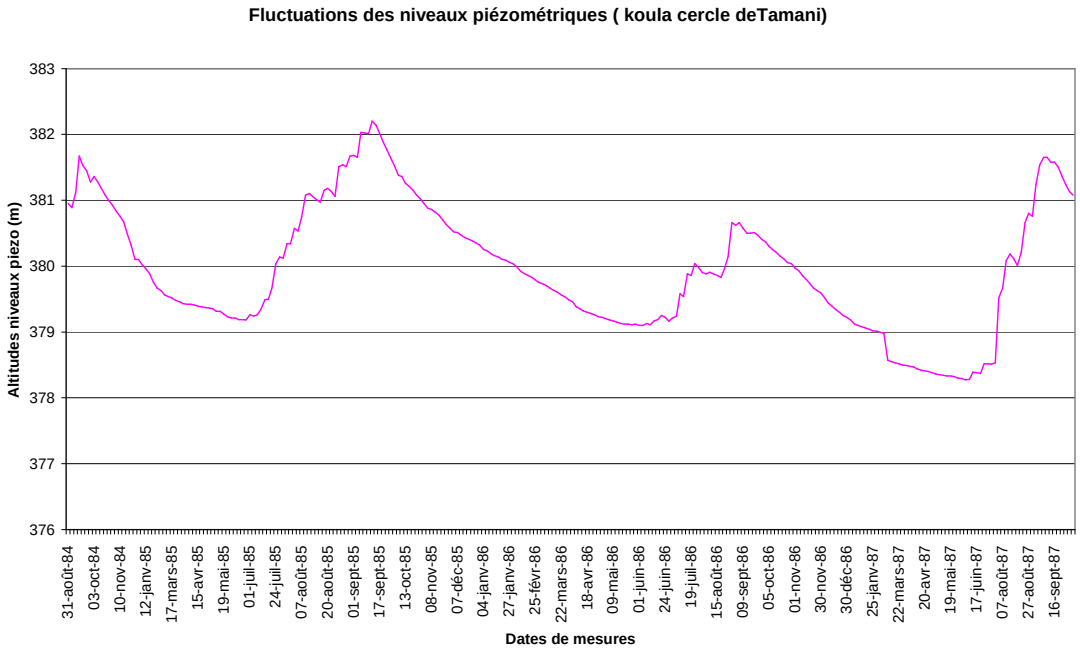


Figure 23 - Fluctuations du niveau piézométrique (à Tamani)

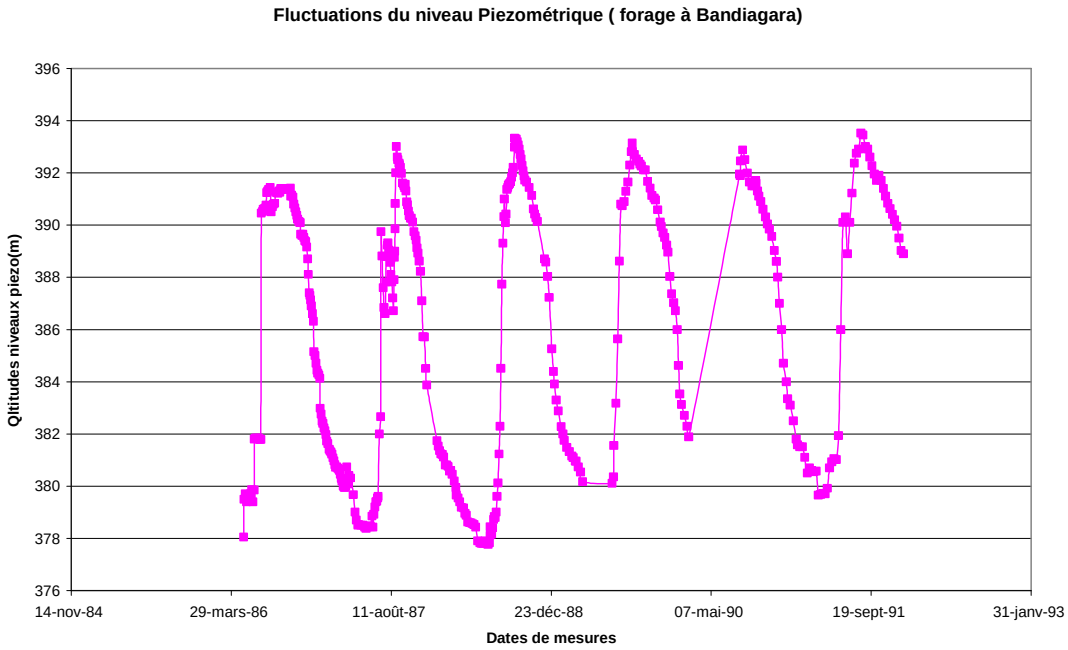


Figure 24 - Fluctuations du niveau piézométrique (Bandiagara)

Qualité de l'eau du fleuve Niger

Qualité des eaux de surface

Il existe plusieurs études récentes sur la chimie de l'eau du fleuve Niger (Pallangié, 1998 ; Picouët, 1999). Grâce au projet Ghenis, un réseau d'alerte et de suivi de la qualité de l'eau pour l'ensemble du bassin supérieur a été établi. Dans le cadre de ce projet, les analyses ont été effectuées de manière régulière de 1999 à 2001 afin de compléter une série chronologique suffisante de données.

Les analyses ont été effectuées en partie sur le terrain et, en partie, au laboratoire. Elles portent sur des paramètres physico-chimiques généraux (pH, température, turbidité, conductivité électrique, oxygène dissous) et sur les concentrations en éléments majeurs et en composés azotés. Certaines analyses de DBO, de coliformes, de pesticides et de métaux lourds ont été ponctuellement réalisées.

Les analyses ponctuelles de pesticides et de métaux lourds ont été effectuées aux Pays-Bas en 1995 et 1996. Certains échantillons prélevés en septembre 2000 ont subi des analyses pour la recherche de métaux lourds et de pesticides au Laboratoire National de la Santé et au Laboratoire Central Vétérinaire de Bamako.

Les résultats des mesures effectuées jusqu'ici sur les eaux du Niger et de ses affluents indiquent que la pollution physico-chimique n'est pas alarmante. Par contre, la qualité bactériologique est mauvaise (coliformes totaux et fécaux > 100 colonies pour 100 ml). Le cachet chimique des eaux du Niger et du Bani reste fortement tributaire du lessivage du substratum rocheux et des sols cultivés (usage d'engrais) par les eaux météoriques chargées de gaz carbonique. Ainsi, les eaux du Niger provenant du haut bassin dominé par des roches granitiques (socle Birimien) ont un excès de sodium et de silice avec un aspect légèrement bicarbonaté tandis que les eaux du Bani drainant un domaine gréseux (Infracambrien) ont un excès de calcium et de bicarbonates (figure 25).

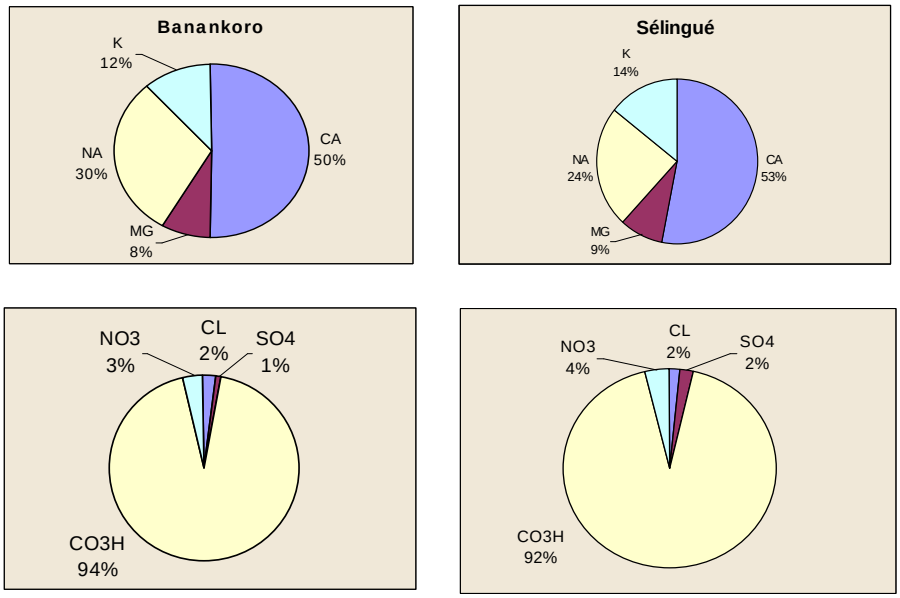


Figure 25 - Composition ionique des eaux du Niger à Banankoro et du Sankarani à Sélingué (proportion moyenne interannuelle de chaque cation et anion en mg/l)

Les concentrations en éléments majeurs vérifient ainsi les relations suivantes qui doivent être obtenues pour les eaux de surface naturelles :

$HCO_3^- > Cl^- + NO_3^- + SO_4^{2-}$

$Ca^{2+} > Na+ > K+ \geq Mg^{2+}$

La composition ionique est la même pour les eaux du Niger et de son affluent, le Sankarani.

La mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement, mais très approximativement, la minéralisation globale de l'eau et d'en suivre l'évolution (tableau 4).

La conductivité électrique à 25° C mesurée au laboratoire est en moyenne de 41,1 $\mu S.cm^{-1}$ et de 44,5 $\mu S.cm^{-1}$ pour les mesures effectuées sur le terrain. La conductivité étant un paramètre très variable, il faut se référer aux mesures de terrain. La moyenne étant inférieure à 100 $\mu S.cm^{-1}$, on peut considérer que les eaux du fleuve Niger supérieur sont très peu minéralisées.

Conductivité électrique à 25°C (µS/cm)	Point du réseau	Oct 1999	Fév 2000	Nov 2000
Bamako - Collecteur ENSUP	RSM 22	207	546	35
Bamako - TAO	RSM 19		70	
Bamako - Abattoir et TAMALI	RSM 20		698	250
Bamako - ITEMA	RSM 18			
Koulikoro - Huicoma	RSM 15	224	46	52,3
Ségou - COMATEX	RSM 08	41	192	70,8
Sélingué - rejets agricoles	RSM 29	86	293	39,2

Tableau 4 - Conductivité électrique mesurée au niveau de différents points de rejet pour octobre 1999, février et novembre 2000

Le pH moyen pour les eaux du Niger aux stations de Banankoro, de Koulikoro, de Ké-Macina et à Sélingué est de 7. La concentration des nitrates est comprise entre 0.2 et 15,0 $mg.l^{-1}$.

Les données moyennes pour l'ensemble des stations du réseau de suivi et pour les cinq campagnes d'analyses figurent sur le tableau 5. Nous présentons les valeurs moyennes interannuelles pour les stations de Banankoro, de Koulikoro, de Sélingué et de Ké-Macina dans le tableau 6. Ces stations réparties régulièrement le long du réseau de suivi nous permettront de donner une idée de la qualité globale des eaux du Niger supérieur.

D'autre part, des prélèvements ont été effectués au niveau des rejets d'eaux usées domestiques, agricoles et industrielles afin d'identifier et de quantifier les pollutions potentielles du fleuve (tableau 7).

	CA	MG	NA	K	FE	CL	SO_4	CO_3H	NO_3	TAC	TH	TU	*TT*
Minimum	2	0	0,7	0,2	0,01	0	0	0	0	1	5	7	0
Maximum	44,5	21,5	425	27	1,73	178	16	279	9	239	200	147	43,3
Moyenne	4,69	1,00	4,85	1,43	0,41	2,22	0,42	23,56	1,17	20,4	15,7	25,3	27,1
Ec.-Type	2,03	0,93	14,8	1,42	0,16	8,97	0,92	11,4	0,54	12,9	7,61	10,5	2,68
Coef. Var.	0,45	0,86	1,90	0,87	0,52	3,01	2,07	0,44	0,74	0,58	0,48	0,47	0,10

	COL	COT	PHL	PHT	BI	MADIS	NO_2	PO_4	NH_4	O_2d	% sat O_2
Minimum	16	0	5,8	0	-10,9	17,47	0	0	0	0,04	11,2
Maximum	614	698	11,3	11,6	10,9	1524	0,8	7,4	1,82	10,4	120
Moyenne	54,1	50,7	6,92	6,98	3,55	49,68	0,02	0,36	0,32	6,92	90,16
Ec.-Type	90,2	41,8	0,45		5,59	52,94	0,10	0,51	0,20	0,89	11,3
Coef. Var.	1,22	0,73	0,06	0,25	3,99	0,85	5,42	1,42	0,74	0,12	0,12

Tableau 5 - Données moyennes sur les analyses chimiques réalisées sur 5 campagnes (mai et octobre 1999 ; février, septembre et novembre 2000) pour l'ensemble des points de suivi

	Banankoro	Koulikoro	Ké-Macina	Sélingué	Moyenne
Nb de camp	7	6	7	7	
Débit ($m^3.s^{-1}$)	853.5	1085	969	265	
COL	**45.2** +/-0.3	**38.1** +/- 0.2	**40.2** +/- 0.2	**40.9** +/- 0.1	**41.1**
COT	**49.7** +/- 0.3	**45.6** +/- 0.6	**38.7** +/- 0.2	**43.9** +/- 0.3	**44.5**
TT	**27.1** +/- 0.1	**28.7** +/- 0.1	**27.0** +/- 0.2	**27.5** +/- 0.1	**27.6**
PHT	**7.2** +/- 0.1	**6.8** +/- 0.2	**6.9** +/- 0	**7.1** +/- 0.1	**7.0**
PHL	**7.0** +/- 0.1	**7.0** +/- 0.1	**7.3** +/- 0.1	**7.1** +/- 0.1	**7.1**
O_2 dissous	**7.0** +/- 0.2	**7.3** +/- 0.2	**7.3** +/- 0.1	**7.2** +/- 0.7	**7.2**
% sat	**90.5** +/- 0.1	**92.5** +/- 0.1	**91.3** +/- 0.1	**90.8** +/- 0.1	**91.3**
Ca	**4.6** +/- 0.3	**4.2** +/- 0.2	**4.4** +/- 0.3	**4.5** +/- 0.2	**4.4**
Mg	**0.9** +/- 0.7	**1.3** +/- 0.3	**1.0** +/- 0.4	**0.9** +/- 0.6	**1.0**
Na	**3.1** +/- 0.5	**2.7** +/- 0.3	**2.6** +/- 0.4	**2.4** +/- 0.3	**2.7**
K	**1.4** +/- 0.6	**1.2** +/- 0.2	**1.4** +/- 0.2	**1.3** +/- 0.1	**1.3**
Cl	**0.6** +/- 0.9	**0.8** +/- 0.7	**0.9** +/- 0.6	**0.4** +/- 0.2	**0.7**
CO_3H	**25.5** +/- 0.3	**22.6** +/- 0.2	**23.8** +/- 0.3	**18.7** +/- 0.4	**22.7**
NO_3	**0.8** +/- 0.7	**0.9** +/- 0.9	**0.8** +/- 1	**0.9** +/- 0.9	**0.8**
NH_4	**0.2** +/- 0.8	**0.2** +/- 0.6	**0.3** +/- 0.7	**0.2** +/- 0.6	**0.2**
PO_4	**0.38** +/- 0.9		**0.5** +/- 1	**0.4** +/- 0.7	**0.4**
MADIS	**42.2** +/- 0.2	**41.6** +/- 2	**42.7** +/- 0.1	**42.0** +/- 0.1	**42.1**
TU	**20.3** +/- 0.7	**22.2** +/- 0.8	**27.2** +/- 0.6	**17.1** +/- 0.5	**21.7**

Ca., Mg., Na. ,… : Concentrations en $mg.l^{-1}$; TAC : alcalinité totale ($mg.l^{-1}$ de $CaCO_3$) ; TH : dureté totale ($mg.l^{-1}$ de CaCO3) ; TU : turbidité en UNT ; TT : température mesurée sur le terrain (℃) ; BI : balance ionique (%) ; COL : conductivité électrique à 25℃ mesurée au laboratoire ($\mu S.cm^{-1}$) ; COT : conductivité électrique à 25℃ mesurée sur le terra in ($\mu S.cm^{-1}$) ; PHL : pH mesuré au laboratoire ; PHT : pH mesuré sur le terrain ; MADIS : matières solides totales ($mg.l^{-1}$), O_2d : concentration en Oxygène dissous ($mg.l^{-1}$) ; %sat. : pourcentage de saturation de l'Oxygène (%).

Tableau 6 - Composition chimique moyenne des eaux du Niger à Banankoro, Koulikoro et Ké-Macina et du Sankarani à Sélingué, débit moyen interannuel calculé sur la période 1996-99

	Collecteur - effluent			Collecteur - mélange			TAO		Tamali - effluent			Tamali - mélange	
Date	10/99	02/00	11/00	10/99	02/00	11/00	10/99	02/00	10/99	02/00	11/00	10/99	11/00
SO_4	1.25	4	0	0	0	0		0.5	1.25	0.25	3	0.5	0.25
CO_3H	71.5	279	21	24	40	17		39	17	125	35	57	24
NO_3	1.2	0.5	1.9	1.2	0	1.9		0	1.2	4.4	1.9	1.1	2
Fe			0.51			0.47					0.36		0.34
TAC		239	17		33	14		32		102.4	29	47	20
TH		200	14.4		17.2	12		16		40	22	30	14
TU	32	40	12	30	17	12		19	25	86	15	40	10
TT	34.2	22.9	25.3	32.8	23.7	24.8	32	24.5	29.4	23.1	24.9	24.4	24.8
COL	155	490	43	53	67	36		71	45	391	108	165	56
COT	207	546	0	0	112	35		70	0	420	250	90	35
PHL	6.9	7.6	6.6	6.6	7.2	7		7	7	7.7	6.5	6.7	6.8
PHT	6.4	7.3	6.9	6.8	7.5	7.1	7.4	7.5	7.1	6.8	7.1	6.8	0
MADIS	117.55	280.7	46.96	40.2	50.81	39.31		53.85	49.14	223.96	81.91	125.1	42.47
NO_2		0.8	1.02		0	0.4		0.05		0.04	0.61	0	0.58
PO_4		2	0.32		0.28	0.39		0.08		7.4	0.42	4.8	0.58
NH_4		1.38			0.47			0.35		1.82		1.55	
O_2 dissous				5.2		7.9	-	6.9	-	0.28	6.2	6.7	7.5
% sat.			96	72.3		97	-	89	-	34	80	87	94
C.F													
C.T													
DCO								8		350	50		

	ITEMA			Huicoma			COMATEX effluent		COMATEX mélange		Sélingué - effluent		
Date	02/00	11/00	02/00	10/99	02/00	11/00	02/00	11/00	02/00	11/00	10/99	02/00	10/99
SO_4	0	4.75	0.25		0	4.5	2.5	0.5	0	0.5	0.25	0	0
CO_3H	31	24	28		11.7	70	13.42	0	16.5	39	17	18	18
NO_3	0	4.5	0.2		9	2	1.1	1.9	1.5	2.3	1.8	0.5	0.8
Fe		0.33				0.15		0.35		0.17			
TAC	25	20	23		84	57	105	178		32		15	
TH	14	30	15.2		14.4	10	9.2	43.2		13		10	
TU	16	12	16		98	50	16	7	40	13	52	29	24
TT	24.7	24.9	23.7	39.2	30.1	31	20.3	33	26.1	24.2	30.6	21.2	29.3
COL	50	126	45		174	133	215	2 510	32	69	36	37	54
COT	46	52.3	42		192	0	293	0	77	70.8	86	35.4	88
PHL	7	6.5	7.2		9.8	7.9	9.8	11.3	6.5	7.8	5.8	7	7
PHT	8	0	7.9	2.5	10.3	9.4	10.9	11.6	7	9.5	5.6	6.8	5.9
MADIS	54.6	95.56	49.14		107.2	100.9	132.4	1 524.1	34.94	52.33	39.31	40.4	40.95
NO_2	0	1.67	0		0.04	0.38	0	3.3		1.09		0	
PO_4	0.24	0.47	0.44		0.66	0.5	0	0.45		0.4		0.26	
NH_4	0.42	7	0.05		0.12		0					0	
O_2 dissous	8.1		8.6		6.4		7.2	0.04	5.2	6.8	5.1	7.6	6.6
% sat.	105		106		87	114	93	96.8	66.4	117	70.9	90	89
C.F			>200				>200						
C.T			>200				>200					>200	

DCO					645				0				

Tableau 7 - Résultats des analyses au niveau des effluents et des zones de mélange des rejets. En grisé, valeur dépassant les concentrations maximales acceptables fixées par l'OMS

La teneur en oxygène est un paramètre extrêmement variable. Une variation importante peut être due à la présence de végétaux, de matières organiques oxydables, d'organismes et de germes aérobies, ainsi que de la perturbation des échanges atmosphériques à l'interface (présence de graisses, d'hydrocarbures, de détergents, etc.).

Pour l'ensemble des points de rejet industriel et domestique analysés, la teneur en oxygène est inférieure à 7 $mg.l^{-1}$. Les teneurs en oxygène dissous et les pourcentages de saturation les plus faibles sont observés au niveau des rejets de la COMATEX (5,2 $mg.l^{-1}$ et 66 %) et de l'abattoir à Bamako (0,28 $mg.l^{-1}$ et 34 %) du fait de la présence de beaucoup de matières organiques biodégradables dans les rejets de l'abattoir consommant l'oxygène présent dans l'eau.

La présence d'oxygène dans les eaux de surface joue un rôle primordial dans le maintien de la vie aquatique et dans les phénomènes d'auto-épuration. Sa solubilité est fonction de la température, de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité.

Les résultats des analyses peuvent être exprimés de deux façons :

- la teneur en oxygène dissous (en mg.l-1) ;
- le pourcentage de saturation qui exprime le rapport entre la teneur effectivement présente dans l'eau analysée et la teneur théorique correspondant à la solubilité maximum.

La teneur de l'oxygène dans les eaux de surface dépasse rarement 10 $mg.l^{-1}$. Pour les eaux du Niger supérieur et du Sankarani, elle est en moyenne de 7,2 +/- 0,2 $mg.l^{-1}$.

La concentration en oxygène dissous est directement fonction de la température de l'eau. La figure 26 illustre cette relation pour les analyses effectuées à Koulikoro.

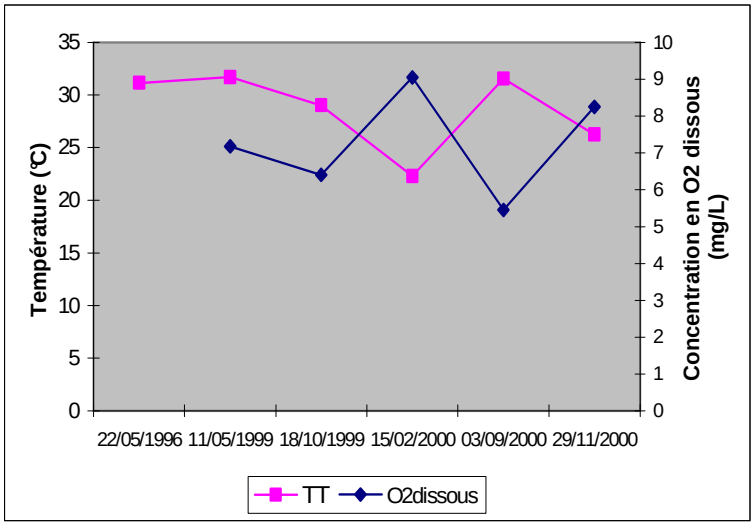


Figure 26 - Évolution de la teneur en oxygène dissous en fonction de la température de l'eau à Koulikoro

Les éléments nutritifs

Les éléments nutritifs sont des éléments chimiques tels que l'azote, le phosphate et le potassium dont les plantes ont besoin pour croître. Ils sont présents naturellement dans l'environnement et rendus accessibles à la végétation par les précipitations, par la désintégration mécanique et chimique des roches et des minéraux du sol et par la décomposition de la matière organique (plantes et animaux morts). Leur présence peut également résulter de l'activité humaine, en particulier de l'agriculture, de l'évacuation des déchets industriels et municipaux et des émissions atmosphériques. L'apport d'éléments nutritifs est souvent considéré comme la plus grave menace posée par l'agriculture à la qualité de l'eau. Pour maintenir un rendement élevé et une bonne qualité de leurs cultures, les agriculteurs ajoutent des éléments nutritifs au sol, principalement par l'application de fumier animal, de déchets végétaux et animaux et d'engrais minéraux.

L'azote devient assimilable par les plantes lorsqu'il est sous une forme soluble, c'est-à-dire principalement sous forme de nitrates. Bien que les nitrates eux-mêmes soient relativement peu toxiques, ils peuvent être réduits dans l'appareil digestif des nourrissons et des ruminants (bovins et moutons) en nitrites qui sont, eux, toxiques. Les nitrites causent la méthémoglobinémie qui réduit la capacité du sang à transporter l'oxygène. Chez les humains, la plupart des cas de cette intoxication est liée à une consommation d'eau renfermant au moins 40 milligrammes d'azote en nitrates par litre. Les nitrites jouent également un rôle dans la formation des nitrosomines qui peuvent causer le cancer. Les fortes concentrations en nitrates peuvent également nuire à la faune. Les fortes concentrations d'ammoniaque, une autre forme soluble d'azote, peuvent être toxiques pour les poissons.

Le phosphate et l'azote qui passent des terres agricoles aux eaux superficielles n'atteignent généralement pas des niveaux présentant un risque direct pour les humains ou les animaux. Toutefois, ils peuvent être assez abondants pour causer l'eutrophisation, phénomène qui se produit parfois naturellement mais qui peut être accéléré par l'activité humaine.

Les normes internationales indiquent qu'une eau contenant plus de 45 $mg.l^{-1}$ de nitrates (exprimés en NO_3), soit 10 $mg.l^{-1}$ de nitrates (exprimés en N), peut provoquer une méthémoglobinémie infantile.

Pour l'ensemble des points, la teneur moyenne en nitrates (exprimés en N) varie de 0,8 à 0,9 $mg.l^{-1}$, ce qui est une valeur très basse et témoigne la bonne qualité de l'eau du Niger en dehors des points de rejet.

La valeur des nitrates semble augmenter en fonction du débit. Pour les eaux usées, les concentrations en phosphates varient de 0,0 à 7,4 $mg.l^{-1}$ alors que, déjà, avec une valeur de 0,2 $mg.l^{-1}$, le phénomène d'eutrophisation peut commencer : ce phénomène est surtout accentué au niveau des rejets de pollution domestique et se traduit, entre autre, par la présence de jacinthes.

Les matières organiques

L'eau usée domestique contient un mélange complexe de produits. Parmi ceux-ci, une grande quantité qui est le sous-produit de notre consommation, est constituée de matières organiques biodégradables.

Celles-ci vont être décomposées par les micro-organismes qui sont présents dans l'eau et qui vont se servir de nos déchets pour se développer et se reproduire. Leur consommation de matières organiques va s'accompagner d'une respiration de l'oxygène dissous dans l'eau.

Cet oxygène est présent en très petite quantité, souvent grâce aux remous de l'eau à sa surface qui mélange de l'air à l'eau, mais aussi grâce à la photosynthèse de végétaux qui sont immergés dans l'eau.

A l'endroit d'un rejet, il y aura beaucoup de matières organiques à consommer et donc beaucoup de micro-organismes qui vont respirer la faible quantité d'oxygène présente dans l'eau. La concentration d'oxygène dissous va alors diminuer et les autres organismes présents vont s'en ressentir. Les poissons exigeant beaucoup d'oxygène seront souvent les premiers à subir ce déficit. Ce phénomène s'appelle l'auto-épuration : l'écosystème cours d'eau s'adapte lui-même aux matières organiques en excès.

Si l'oxygène est presque absent, il y a alors asphyxie de nombreuses espèces d'organismes animaux et végétaux et l'écosystème est profondément modifié.

La biodégradation opérée par les micro-organismes produit elle-même un déchet qui est rejeté sous forme de sels minéraux dans l'eau en plus de l'apport, par lessivage, des engrais qui est une autre source de sels minéraux. Ces sels, surtout les nitrates et les phosphates, vont permettre la croissance de végétaux tels que des algues et des mousses qui se développent dans le lit d'un cours d'eau. Si ces sels sont très abondants, les plantes vont se développer et se multiplier de façon exubérante : c'est ce qu'on appelle l'eutrophisation. Cette évolution provoque un nouveau besoin d'oxygène accru pour la respiration de tous ces êtres vivants. Même si la photosynthèse fournit, le jour, de l'oxygène jusqu'à saturation, la respiration peut asphyxier le milieu en une seule nuit : ce qui peut entraîner la mort des poissons et des invertébrés sensibles.

Une autre conséquence du rejet d'eaux usées domestiques dans un cours d'eau est la formation de dépôts que l'on appelle sédiments parce qu'ils se forment à la suite de la sédimentation de particules plus lourdes au fond du cours d'eau. Ces sédiments s'accumulent tout d'abord près de l'endroit du rejet, mais ils peuvent aussi se déplacer en étant remis en suspension par les crues. S'ils sont constitués de matières organiques, ils sont colonisés rapidement par des micro-organismes dits anaérobies qui se développent sans oxygène et fermentent sur place. Les gaz produits se volatilisent dans l'air ambiant et, à de très faibles teneurs, peuvent provoquer des odeurs incommodantes.

On mesure la quantité de pollution organique facilement biodégradable, souvent d'origine domestique, en laissant incuber une eau usée dans des conditions standard et en mesurant la quantité d'oxygène respirée par les micro-organismes. On appelle cette mesure la demande biochimique en oxygène ; elle est souvent mesurée après 5 jours et

son abréviation est $DB0_5$. Cette mesure étant longue, un raccourci consiste à mesurer la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques par voie chimique. La durée de la mesure est de 2 heures. Le résultat s'appelle la demande chimique en oxygène (DCO). Les résultats de ces deux mesures sont d'autant plus élevés qu'il y a de matières organiques oxydables dans l'eau (DCO plus élevé que DBO).

Les éléments-traces

Les éléments-traces sont des métaux ou des métalloïdes qui sont naturellement présents dans le sol mais qui peuvent être aussi exogènes.

Ils sont notamment apportés par :

- les engrais ;
- les amendements ;
- les pesticides ;
- les déchets ;
- et les retombées de pollution atmosphérique.

Certains sont indispensables en faibles quantités, mais tous sont dangereux au-delà d'un certain seuil.

Les principaux éléments-traces potentiellement toxiques pour l'homme sont le cadmium, le mercure, le plomb et l'arsenic. Le nickel, le cuivre, le zinc, le chrome et le sélénium sont toxiques pour les végétaux.

Les éléments-traces présents dans le sol peuvent être fixés (notamment par absorption, adsorption ou précipitation) ou solubilisés. La solubilisation leur permet d'être absorbés par les plantes ou de migrer vers les eaux.

Les éléments-traces se trouvent sous forme de métal ou de sel métallique oxydé ou réduit. Ils sont plus ou moins dangereux suivant leur forme chimique.

Ils présentent un danger de contamination de la chaîne alimentaire avec accumulation le long de celle-ci. Ils peuvent avoir, sur l'homme et sur les animaux, des effets toxiques, cancérigènes, tératogènes ou mutagènes.

Les plus préoccupants sont :

- l'arsenic (As) provoquant des troubles digestifs et neurologiques. L'arsenic est utilisé dans les tanneries, les peintures et colorants ;
- le cadmium (Cd) provoquant des maladies osseuses et rénales. Le cadmium est utilisé dans les industries textiles, les batteries et comme stabilisant pour les plastiques et les pigments ;
- le mercure (Hg) touchant le système nerveux. Le mercure est utilisé pour extraire l'or, dans la production du chlore et dans les tanneries ;

- le plomb (Pb) provoquant anémie et des lésions nerveuses. On l'utilise dans l'imprimerie, les peintures, les batteries et les carburants automobiles ;
- le chrome (Cr) toxique pour le tube gastro-intestinal. Le chrome se rencontre dans les eaux usées des usines textiles et des tanneries ;
- viennent ensuite le nickel, le cuivre, le zinc et le sélénium qui sont toxiques pour les végétaux.

Il ressort des résultats sur les métaux lourds analysés dans les prélèvements de la campagne de septembre 2000 une absence de métaux lourds.

Les pesticides

Les pesticides sont des substances toxiques utilisées pour lutter contre des êtres vivants nuisibles à l'homme. Les principaux types de pesticides sont les fongicides (contre les champignons), les insecticides (contre les insectes) et les herbicides (contre les mauvaises herbes). On peut séparer les pesticides en plusieurs familles dont celle des hydrocarbures organochlorés (aldrine, DDT, chlordane, hexachlorocyclohexane, etc.) et celle des composés organophosphorés (malathion, …).

Dans le sol, les pesticides subissent des dégradations chimiques et micro-biologiques sous l'action des bactéries et des champignons. Des réactions chimiques peuvent aussi les transformer lorsqu'ils ne sont pas décomposés ou volatilisés dans l'atmosphère. Les pesticides peuvent être dissous dans les solutions du sol et entraînés petit à petit vers les nappes phréatiques ou les nappes superficielles.

La durée de vie des pesticides est très variable : ainsi, les composés organophosphorés ont une vie courte et certains hydrocarbures chlorés (le DDT par exemple) sont très persistants : ce qui en fait des poisons cumulatifs, c'est-à-dire des substances provoquant une toxicité chronique insidieuse.

De façon générale, les pesticides sont caractérisés à la fois par une toxicité aiguë et par une toxicité chronique, celle-ci pouvant être évaluée en déterminant des doses létales (en abrégé DL). Par exemple, la DL 50 d'une substance pour le rat est le nombre de milligrammes de substance par kilogramme d'animal qui tue 50 % d'une population de rats en une durée et un nombre d'applications à préciser (une seule application pour la toxicité aiguë, plusieurs pour la toxicité chronique).

Les organochlorés ont la propriété de pouvoir s'accumuler dans les organismes. Les principaux dangers présentés par les pesticides sont, outre leur manque de sélectivité, la contamination des aliments (avec accumulation le long de la chaîne alimentaire) et celle des nappes phréatiques et superficielles.

En plus de leur caractère toxique, dû à la présence d'éléments-traces, certains organochlorés possèdent des propriétés tératogènes et cancérigènes.

Les analyses de pesticides effectuées en septembre 2000 montrent une absence de pesticides dans les eaux du fleuve Niger.

Qualité des eaux souterraines

On distingue les nappes superficielles et les nappes profondes. Toutes deux sont protégées par opposition aux eaux de surface.

Les nappes superficielles sont exploitées à partir des puits traditionnels. Elles sont polluées à partir des infiltrations provenant essentiellement :

- des eaux usées domestiques. Ceci est surtout accentué au niveau des vieux quartiers des grandes villes. À Bamako, on enregistre plus de 150 $mg.l^{-1}$ de NO_3- et 100 $mg.l^{-1}$ de Cl^- dans l'eau de puit des vieux quartiers : ces eaux font l'objet de contaminations fécales ;
- des eaux usées artisanales : effluents provenant des teintureries et des savonneries traditionnelles ;
- des eaux usées industrielles et minières ;
- des graisses et des hydrocarbures ;
- des intrants agricoles.

Les nappes profondes sont exploitées à partir des forages et des puits modernes. Elles présentent très peu de problèmes de qualité (pollution bactériologique 5 %). Cependant, les pollutions chimiques peuvent survenir plus tard. Compte tenu des différentes formations géologiques, nous trouvons des eaux très peu minéralisées au sud avec :

- une conductivité inférieure à 50 $\mu S.cm^{-1}$;
- une dureté inférieure à 75 $mg.l^{-1}$ de CaCO3 ;
- et une concentration en chlorures inférieure à 5 mg/l.
- et des eaux fortement minéralisées dans les régions nord avec :
- une dureté supérieure à 500 $mg.l^{-1}$;
- une conductivité supérieure à 3 700 $\mu S.cm^{-1}$;
- et une concentration en chlorures supérieure à 1 000 $mg.l^{-1}$.

Transport solide par les eaux du Fleuve Niger et érosion

Les travaux de recherche sur les transports solides du fleuve Niger au Mali ont été nombreux et ont donné lieu à de nombreuses thèses et publications scientifiques. En effet, durant plus de 10 ans, différentes équipes hydrologiques de chercheurs, ingénieurs et techniciens de l'Orstom puis de l'IRD, dans le cadre de projets de recherche successifs avec des partenariats maliens de la DNHE, devenu DNH (Direction Nationale de l'Hydraulique) et de l'Université du Mali ont réalisé les observations et mesures de terrain, sans lesquels rien de ce qui va être présenté ici n'aurait été possible. On peut lister par ordre alphabétique toutes les personnes ayant participé à notre connaissance, à la collecte et/ou au traitement de la banque de données IRD de Matières en Suspension du bassin du fleuve Niger au Mali : Arfi R., Audollent M., Bamba F., Bénech V.,

Bricquet J.P., Dembélé L., Des Tureaux, T.H., Diabaté M., Diallo D., Diarra M., Gourcy L., Gréard M., Guiguen N., Kondé C., Kuper M., Leroux J.F., Mahé G., Mahieux A., Marieu B., Nguyen P., Olivry J.C., Orange D., Picouët C., et Soumaguel A.

Cette note de synthèse fait tout particulièrement référence aux travaux de thèse de D. Orange (1992), Gourcy (1994), Picouët (1999) et aux publications suivantes : Bricquet *et al*. (1997), Picouët *et al.* (2000), Picouët *et al.* (2002).

Introduction : questionnement scientifique et base de données

L'étude du transport de matières par les eaux de surface s'inscrit dans le cadre des problématiques de géodynamique actuelle liées à l'étude des grands fleuves du globe. Dans un hydrosystème aussi complexe que celui du bassin du fleuve Niger au Mali, il est nécessaire de séparer l'étude du bassin versant amont de l'étude du delta lui-même. Ces deux entités répondent en effet à deux problématiques différentes : l'une est davantage axée sur les taux d'érosion et de transport ainsi que sur les différentes formes sous lesquelles les éléments sont transportés, la seconde est davantage liée à l'estimation des taux de sédimentation dans les plaines inondables et leur rôle dans les bilans de matières terrigènes exportées par la rivière. Dans tous les cas, le point de départ de toute étude sur le transport de matières est l'acquisition de données fiables de débit et de concentration nécessaires aux calculs des quantités de matière transportée. Cette étude sur la géodynamique actuelle du bassin amont et du delta intérieur du Niger se base ainsi essentiellement sur une base de données correspondant à un suivi journalier des débits et à un échantillonnage régulier (souvent hebdomadaire) des eaux du Niger pour l'analyse des éléments majeurs et des matières en suspension. Réalisé dans le cadre d'un réseau mis en place par l'IRD (ex-Orstom) de 1991 à 1999, l'échantillonnage regroupe 8 stations principales représentatives des différents biefs du bassin versant au Mali : amont du bassin versant (Banankoro et Koulikoro), le Sankarani (Sélingué), entrées du delta (Ké-Macina sur le Niger et Douna sur le Bani), confluence du Bani et du Niger (Sensé), sortie du lac Débo situé au milieu du delta (Akka) et enfin sortie du delta (Diré).

L'ensemble des données de débit (sur au moins 30 années) et de concentration (sur 8 années d'étude) ont permis d'appréhender la variabilité spatiale et temporelle des paramètres étudiés. L'étude des apports hydriques a ainsi montré que la période d'étude était contrastée et représentative des fluctuations hydroclimatiques de ces 25 dernières années déficitaires. Ce contraste hydrologique entre années sèches (1991-92, 1992-93, 1993-94), années humides (1994-95, 1995-96) et années moyennes (1996-97, 1997-98) présente un des intérêts majeurs de ce travail. Il a permis de comparer les différentes réponses du milieu (du point de vue du transport fluvial particulaire) à cette variabilité hydroclimatique.

La caractérisation des apports liés au bassin amont du Niger

Sur l'ensemble des stations de suivi du bassin amont du fleuve Niger, les relations entre concentration en MES (matières en suspension) et débit forment des cycles d'hystérésis temporels : le maximum de MES arrive avant le maximum de débit, et les concentrations sont plus importantes en crue qu'en décrue. Ces relations mettent

en évidence la variabilité des sources de MES à l'échelle du bassin versant : on observe, d'une part, les apports de particules liés à l'érosion provoquée par la pluie et le ruissellement sur les versants et, d'autre part, les apports liés à l'érosion des dépôts anciens (ou à l'érosion de berges et de fond du lit) de l'ensemble du réseau hydrographique, des cours d'eau de tête à l'exutoire.

L'étude des flux de matières en suspension met également en évidence la variabilité spatiale d'une station à une autre des flux annuels et la faiblesse relative des tonnages exportés par le Bani, principal affluent du Niger : sur la période d'étude (1991-98), les apports du Bani ne représentent en moyenne que 20 % des apports de MES au delta. Cette faiblesse des apports du Bani réside dans la faiblesse des lames annuelles écoulées qui est, à l'échelle des bassins versants étudiés, le principal facteur déterminant les taux de transport de MES. Il apparaît également que la lithologie du bassin et les sols qui en découlent sont aussi des facteurs explicatifs des taux d'érosion observés sur le Niger. L'étude des variations spatiales des flux de MES a ainsi montré que, malgré des bassins intermédiaires de faible superficie et malgré l'influence du barrage de Sélingué (qui agit comme un véritable décanteur pour les apports du Sankarani), l'érosion augmente d'amont en aval sur le bassin versant du Niger du fait uniquement du changement des conditions climatiques et lithologiques. En effet, une des particularités du fleuve Niger au Mali est de se diriger vers des zones de plus en plus désertiques dont l'érodabilité est de plus en plus importante. Le facteur limitant l'érosion est alors la faible quantité d'eau de pluie tombant sur ces régions. Si on compare le Niger aux autres grandes rivières du globe, la faiblesse des exportations de matière sur le bassin amont du Niger s'explique surtout par le relief peu marqué de la zone géographique étudiée. Les activités humaines ont donc très peu d'influence sur les exportations de matières par le fleuve Niger.

Les changements observés lors de la traversée du delta intérieur du Niger

La caractéristique principale du delta est que d'importantes pertes en eau s'y produisent (de 30 à 45 % des entrées suivant l'hydraulicité de l'année). Elles correspondent essentiellement à des pertes par évaporation et évapotranspiration à partir des surfaces inondées. La partie amont – proprement deltaïque – et la partie aval – caractérisée par des zones inondées plus réduites et une morphologie différente – ont des fonctionnements hydrologiques très différents. La partie amont montre un comportement assimilable à un canal distribuant des eaux dans une multitude de plaines et de mares qui stockent puis restituent des volumes d'eau conséquents lorsque que le seuil de remplissage est atteint. À l'inverse, la partie aval ne montre que des périodes de stockage du fait de l'existence de lacs périphériques ne se remplissant que les années de bonne hydraulicité. L'eau capturée par les lacs est alors définitivement perdue pour le système hydrologique majeur que constitue le bras principal du fleuve Niger.

L'approche par le calcul des bilans de matières entre entrées et sorties souligne le rôle du delta intérieur du Niger dans le stockage des sédiments quelles que soient les années. Mais la disparité amont/aval existe aussi pour les processus de transferts des sédiments.

Les bilans des flux de matière en suspension transportée par le fleuve entre les entrées du delta (Ké-Macina et Douna) et la sortie (Diré) montrent que, tous les ans, il y

a accumulation de sédiments dans le delta. Le delta intérieur du Niger retient entre 0,15 millions de tonnes de sédiments pour les années dites sèches (à plus faible superficie d'inondation, comme lors du cycle hydrologique 1992-93) et environ 1,3 million de tonnes lors des années dites humides, comme en 1994-95 (tableau 8). En fait, les pertes en sédiments sur l'ensemble du delta représentent une fonction croissante, presque linéaire, des flux de MES entrants : les pertes de MES dans le delta sont d'autant plus importantes que les pertes hydriques (pertes par évaporation) le sont aussi (figure 27). Seul le cycle sec 1992-93 ne répond pas à cette loi. En effet, ce cycle est caractérisé par une hydraulicité très faible et une grande partie des eaux du fleuve est restée dans le drain principal sans pouvoir déborder des berges, d'où des pertes en MES extrêmement faibles. Le fonctionnement du delta intérieur du Niger se caractérise donc par une hauteur d'eau minimum à atteindre, seuil minimum pour que les eaux du Niger puissent fertiliser les terres du delta.

Sédiments en 10^3 t	**1992-93**	**1993-94**	**1994-95**	**1995-96**	**1996-97**	**1997-98**
Module annuel entrant (m^3 s^{-1})	820	780	1780	1400	1110	1110
Entrées delta (1)	944	1343	2703	2090	1645	1587
Sortie lac Débo (2)	696	747	1250	1162	1032	957
Bilan delta amont	-248	-596	-1453	-928	-613	-630
Sortie delta (3)	784	766	1487	1183	962	887
Bilan delta aval	+88	+19	+237	+21	-70	-71
Bilan Total	-160	-577	-1 216	-907	-683	-700

(1)Somme des flux des deux entrées (Ké-Macina et Douna),
(2) Somme des flux des trois émissaires sortant du lac Débo (Akka, Awoye et Korientze),
(3) Flux à la sortie unique du delta (Diré).

Tableau 8 - Module hydrologique annuel entrant et bilan des flux de matières particulaires transitant dans le delta intérieur du fleuve Niger (exprimés en milliers de t par an). Les bilans négatifs indiquent une accumulation de sédiments dans le delta

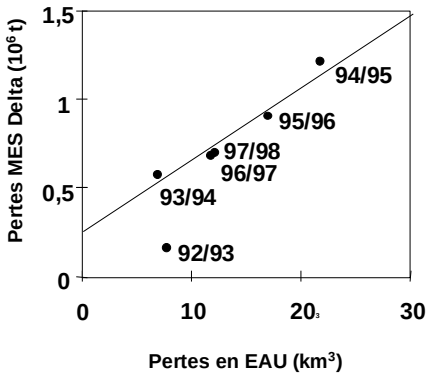


Figure 27 - Évolution annuelle des pertes en sédiments (en t) dans l'ensemble du delta versus les pertes hydriques (en km^3)

Cependant, les comportements entre delta amont et delta aval sont différents : s'il y a toujours accumulation de sédiments dans le delta amont, les bilans sur le delta aval sont relativement équilibrés avec, curieusement, une propension à délivrer du sédiment lors des deux années hydroclimatologiquement opposées, à savoir 1992-93 et 1994-95 (tableau 8). En effet, dans la partie amont, le delta est une immense plaine d'inondation classique où les nombreux méandres d'alimentation des innombrables

mares et l'importante couverture végétale constituent des pièges à sédiments majeurs. Dans cette partie du delta, la quantité de matière déposée est une fonction directe de l'importance de l'hydraulicité de la crue et de sa compétence érosive sur les versants avant son arrivée dans le delta. La figure 28a montre que les deux cycles hydrologiques extrêmes de notre population d'étude (1992-93 pour le sec et 1994-95 pour l'humide) ne répondent pas exactement à cette norme. Pour le cycle sec, comme évoqué précédemment, la crue n'a pas atteint le seuil minimum pour déborder suffisamment du lit majeur. Par contre, la figure 28a met en évidence que, lors du cycle 94-95, trop de sédiments sont perdus par rapport à la norme : l'inondation, du fait de la forte hydraulicité, a pu atteindre de nombreux endroits très reculés du drain majeur qui constituent autant de pièges à sédiments supplémentaires. Sur la partie aval, la figure 28b met en évidence le comportement extrême du cycle 1994-95 : les fortes pertes en eau sont accompagnées de gains en sédiments significatifs.

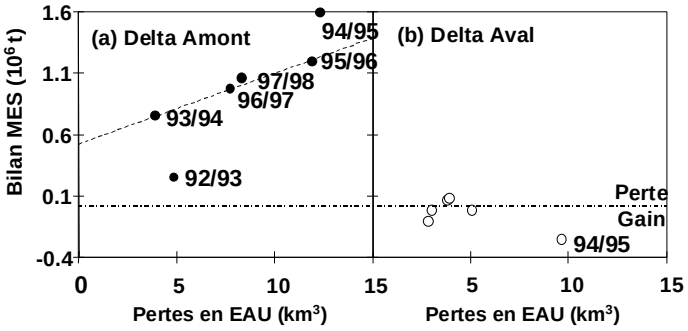
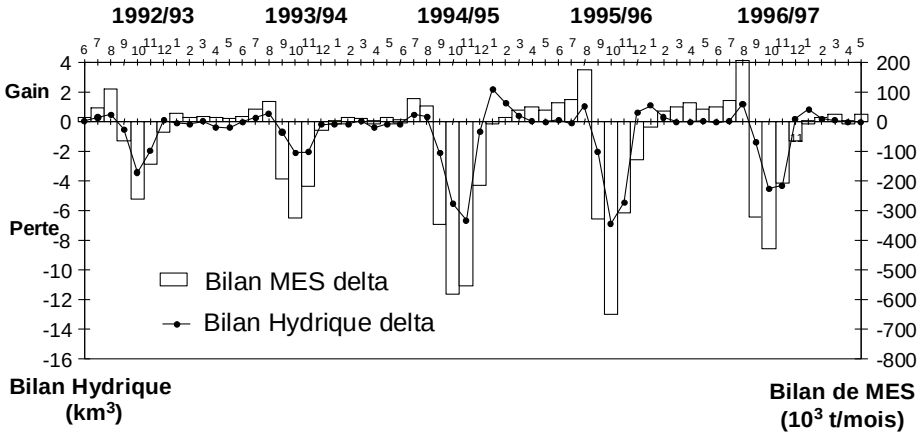


Figure 28 - Évolution annuelle des pertes en sédiments (en t) versus les pertes hydriques (en km^3) pour le delta amont (a) et pour le delta aval (b)

L'étude de ces bilans de MES au pas de temps mensuel permet de comprendre ces disparités. Les bilans mensuels des pertes en MES sont caractérisés par l'alternance (figure 29) de périodes de reprise (aussi appelée gain en sédiments, c'est-à-dire exportation de sédiments en dehors du delta) et de sédimentation (perte en sédiments par le fleuve), cette dernière étant largement prédominante en termes de flux. Dans le delta amont (figure 29a), comme vu précédemment, les périodes de sédimentation correspondent aux périodes de pertes hydriques centrées sur les mois de septembre à décembre (saison de crue). Dans la partie aval du delta, on a vu que le bilan entrée-sortie des flux de matières est relativement à l'équilibre et ne semble pas dépendre de l'hydraulicité de l'année (figure 29b). En fait, après le passage de la plaine amont et des lacs centraux, les eaux sont très peu chargées et les quantités de sédiment mises en jeu sont donc faibles. Les périodes de reprise semblent toutefois être prépondérantes par rapport aux périodes de pertes (figure 29b). Des reprises de sédiment sont, par exemple, observées en décembre-janvier, au début de la saison sèche. Elles sont surtout importantes pour les cycles 1992-93 et 1994-95 (figure 29b). Pour les années sèches telles que 1992-93, ces gains sont sans doute liés à l'effet de l'érosion éolienne sur des versants secs non ou peu végétalisés du fait de la quasi « non-inondation ». Au contraire, pour les années humides, comme lors du cycle 1994-95, les flux d'eau de décembre sont encore importants. Des apports de sédiment par une érosion des berges encore humides ou par une forte remobilisation des sédiments déposés sur les sols inondés et sur les végétaux (lors du retour d'eau des plaines vers le fleuve) sont alors possibles. Pour le cycle 1994-95, la dynamique mensuelle montre également des gains

de matière en début de crue sur le delta aval. L'importance des écoulements en début de crue a probablement eu un effet de « chasse d'eau » sur les sédiments. Bien que la forte hydraulicité de l'année 1994-95 ait entraîné, sur le delta aval, une forte perte en eau (figure 29b) liée à une inondation importante, en superficie et en temps, et surtout à un remplissage des lacs périphériques (vérifié sur le terrain), et du fait de la faible concentration en matières en suspension dans les eaux sur cette partie du delta lors de la période d'inondation, le processus de piégeage des sédiments n'apparaît pas comme un processus majeur dans les bilans sédimentaires (voir bilans septembre-novembre de la figure 29b). La reprise des laissés de crue dans les lits mineurs et la probable érosion de versant en début de crue, puis la remobilisation de décrue et l'érosion éolienne après crue en début de saison sèche sont sans doute largement les processus majeurs pour le fonctionnement sédimentologique du delta aval. Ainsi, contrairement au bilan hydrique, les lacs périphériques ne jouent pas un rôle majeur sur le bilan de matière transportée par le fleuve Niger au cours de sa traversée du delta.

(a) Delta amont



(b) Delta aval

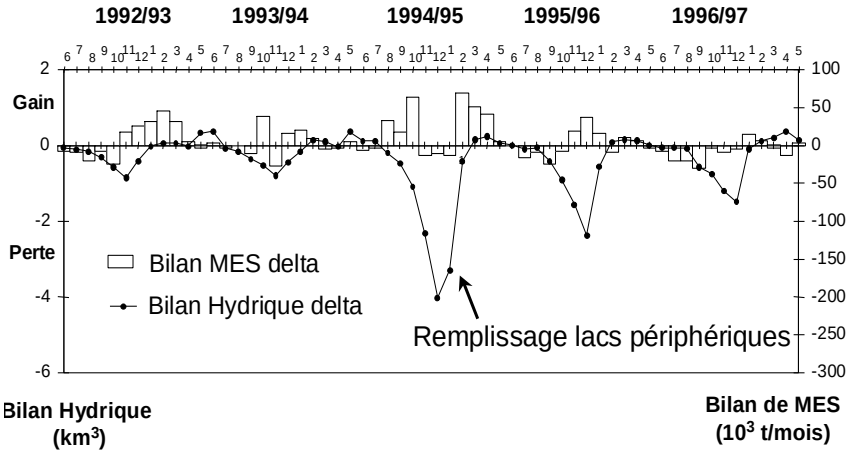


Figure 29 - Évolution comparée des bilans mensuels (sortie-entrée) du transport hydrique et du transport particulaire de 1992-93 à 1996-97 dans le delta amont (a) et dans le delta aval (b)

Finalement, on peut retenir que les pertes annuelles en MES observées lors de la traversée du delta correspondent de 26 à 54 % des entrées suivant les années. Les pertes en MES correspondent à un phénomène d'alluvionnement favorisé par différents facteurs agissant sur les vitesses du courant : pentes faibles, topographie et morphologie particulières (levées de berge, méandres, zones mortes multiples), végétation aquatique abondante, caractéristiques de la crue (intensité et durée de l'inondation). Ces pertes diffèrent suivant les deux parties du delta et sont donc liées à la variabilité spatio-temporelle de l'inondation annuelle :

- sur le delta amont (la zone deltaïque), il y a alternance de périodes de reprise et de dépôt de sédiments, les périodes de dépôt étant largement prédominantes du point de vue des pertes de matière et concordantes avec les périodes de pertes en eau ;
- sur le delta aval, les bilans de MES ne sont pas reliés aux bilans hydrologiques du fait de la faible quantité de sédiments transportés mise en jeu et du fait du rôle des facteurs édaphiques. Dans ces conditions, les lacs périphériques ne représentent pas des pièges particuliers à sédiment, rôle joué par la grande plaine d'inondation que constitue le delta amont.

Ainsi les eaux du Niger à leur sortie du delta intérieur du Niger sont très faiblement chargées en MES. Les transports solides dans la boucle du Niger vont donc être, avant tout, constitués du sapement des berges (faible à cet endroit) et, surtout, des mouvements éoliens de sable : le fleuve traversant alors un erg.

Conclusion

En termes d'indicateur d'érosion du bassin versant, les matières en suspension transportées par le fleuve Niger indiquent que l'exportation en dehors du bassin de matière solide par le fleuve est faible. Le transport solide est surtout marqué sur la branche amont du fleuve et il se trouve réparti dans l'ensemble du delta amont durant la crue annuelle pendant la phase d'inondation. Le fleuve Niger transporte peu de sédiments.

Enfin, cette grande banque de données sur les matières en suspension du fleuve Niger recueillies par les équipes de l'IRD pendant plus de 10 ans est une source d'informations exceptionnelles dans cette région du monde où l'acquisition des données est difficile, rare et coûteuse. En termes de qualité environnementale des eaux, elles pourront être utilisées comme référence pour les années à venir dans la perspective d'un futur observatoire de l'environnement du fleuve Niger au Mali.

Tendances des ressources et de l'environnement biotique

La végétation

État des lieux

La végétation du delta intérieur du Niger (DIN) comporte deux grandes composantes : celle des plaines inondables colonisées essentiellement par des plantes herbacées et celle des reliefs non-inondables (toggué, berges des chenaux et du lit majeur, sommet des dunes) où, en plus des herbacées, se développe une strate ligneuse dont la composition varie en fonction de l'écologie. « Toggé » est le nom traditionnel des buttes exondées dans le delta et sur les bordures sèches : c'est donc une végétation très contrastée. Sur les togués et les bordures exondées, la végétation varie de la savane arbustive au sud et à l'est à une végétation très pauvre au nord du delta.

La végétation du DIN a été étudiée par plusieurs auteurs. En 1950, une esquisse des types de formation végétale a été établie par Duong-Huu-Thoi. Puis, dans le cadre du programme de l'OICMA, les travaux de J.T. Davey (1957) ont abouti à une cartographie des étages floristiques de l'aire grégarigène du delta central du Niger réalisée par le BDPA pour la FAO à l'échelle 1/50 000. Signalons enfin la carte pastorale dressée par l'IEMVT et couvrant l'ensemble du delta et ses bordures ; mais l'échelle de travail (1/500 000) en limite la précision et les utilisations.

Les données sur la végétation que nous présentons pour cette expertise ont été tirées essentiellement de l'étude réalisée par les chercheurs du Centre international pour l'élevage en afrique (Cipéa).

Forêts

Selon le Projet inventaire des ressources ligneuses (Pirl), les formations forestières couvrent 4.5 millions d'hectares tandis que les cultures et les jeunes jachères s'étendent sur 1.8 million d'hectares pour l'ensemble de la région de Mopti. Il s'agit essentiellement de savanes arbustives, rarement arborées ainsi que de palmeraies diverses. Des fourrés dominés par diverses espèces s'observent également.

En zone exondée, on les rencontre essentiellement dans la bordure ouest et dans le sud du delta mais aussi sous forme d'îlots dispersés jusqu'au nord-est. *Acacia seyal*, *Piliostigma reticulata* et *Acacia raddiana* constituent l'essentiel de ces formations forestières. Au sud, on trouve des vergers à *Vitelaria paradoxa* et *Terminalia macroptera*, deux espèces qui marquent la limite nord de l'isohyète 600 mm.

En zone inondée, les formations forestières sont encore dominées par divers acacias. *Acacia kirkii* est bien représenté au nord, autour du lac Debo, mais aussi au sud de Ouro Modi et de Mopti. Selon les chercheurs du Cipéa, les formations forestières du delta occupent 578 373 ha dont 74 % en zone exondée.

La production de bois-énergie (quantité exportable annuellement sans entamer le capital forestier) des formations forestières était de 1,8 million de tonnes selon le Pirl.

Quant au stock de bois-énergie, il a été estimé à 40 millions de m^3 pour l'ensemble de la région de Mopti, dont 3,5 millions en bois mort.

Sur la base des travaux du Pirl, le projet Stratégie énergie domestique (SED) a recalculé les productions annuelles ainsi que les superficies occupées par les différentes formations forestières du delta (tableau 9).

Cercle	Surface des forêts en ha	Volume de bois-énergie en m^3	Volume de bois mort en m^3
Youwarou	204 400	1 628 695	423 571
Ténenkou	262 550	2 773 040	Nd
Mopti	178 800	1 465 825	60 000
Macina	240 750	2 429 896	201 457
Djenné	118 200	939 590	40 000
Total	1 004 700	9 297 046	725 028

1 m^3 = 2 ,3 stères et 1 stère = 330 kg
Source : SED 1999

Tableau 9 - Potentiel ligneux de cinq cercles du delta intérieur du Niger

Il apparaît que le stock de bois mort était relativement important. Ce dernier, qui est surtout abondant au nord, assurait plus de 70 % de l'approvisionnement en bois de feu.

Pâturages herbacés

Excepté la végétation des reliefs non submersibles et quelques plaines irrégulièrement ou tardivement inondées, les pâturages du delta intérieur du Niger sont, dans leur grande majorité, des savanes herbeuses et des prairies aquatiques constituées, essentiellement, de graminées et/ou de cypéracées pérennes (Wilson *et al.*, 1983).

Grâce à l'inondation, ces plaines constituent un espace privilégié dans le Sahel, ce qui se répercute sur leur productivité, notamment sur celle des espèces végétales. Les niveaux de production fourragère sont très élevés mais très variables d'un pâturage à l'autre.

Les graminées à tige flottante forment des pâturages connus sous le nom de bourgou, mot peul désignant les pâturages inondés, la formation végétale elle-même étant appelée la bourgoutière. Celles-ci se développent sur des plaines recevant 4 à 5 m d'eau par an. Il faut quand même signaler qu'elles ne survivent à la submersion profonde que si la montée des eaux se fait progressivement, de façon à permettre la croissance simultanée des tiges.

En considérant l'ensemble des associations végétales dans lesquelles le bourgou a le statut d'herbacée dominante ou codominante, il apparaît que les bourgoutières couvrent 239 884 ha, soit 8,9 % de la superficie des communes qui les englobent (Marie, 2000). Ce sont les parcours les plus productifs du delta avec des productions moyennes de 20 t/ha, mais pouvant dépasser 30 t. La production de repousses en saison sèche atteint 6 000 kg. Les herbacées dominantes sont *Echinochloa stagnina* et *Voscia cuspidata*.

Si 40 communes sur 51 possèdent un bourgou, la superficie occupée par les bourgoutières varie fortement d'une commune à l'autre. Quatre communes, à savoir Déboye, Toguéré Coumbé, Kéwa et Youwarou cumulent 100 000 ha. Par contre, les communes les moins pourvues, au nombre de quatorze, ne disposent que de 8 000 ha (tableau 10).

Les bourgoutières sont abondantes dans le nord, au niveau du lac Debo, mais aussi autour de Toguéré Coumbé, Ténenkou, Mopti et dans la cuvette du Yongari : elles dessinent une forme de fer à cheval autour du lac Debo (Marie, 2000).

Les vétiveraies occupent 639 934 ha, soit environ 30 % du delta. Elles occupent diverses positions topographiques : lit majeur, chenal, ombilic de décantation, plaine d'inondation, haut fond, etc. Leur production moyenne varie de 10 à 12 t selon leur écologie. Dans les zones inondables *Vetiveria nigritana* et *Scirpus maritimus* sont les herbacées dominantes. Mais, en position haute, en plus de *Vetiveria nigritana* on rencontre *Andropogon gayanus* et *Sorghastrum trichopus* comme dominantes. Les herbacées accompagnatrices sont *Panicum anabaptistum* et *Hyparrhenia spp.*

Les rizières sauvages sont aussi bien représentées : elles couvrent 342 391 ha, soit 15,36 % du delta. La production, quoique intéressante, se situe entre 6 et 8 t par hectare. Par rapport aux formations végétales précédentes, la flore est plus riche (14 espèces). *Oriza longistaminata, Aeschynomene sensitiva* et *Nymphea maculata* sont dominantes. On y trouve diverses espèces accompagnatrices parmi lesquelles : *Ipomea aquatica, Melochia corchorifolia* et *Nymphea spp.*

Les pâturages dominés par *Eragrostis barteri*, ou éragrostaies, occupent sensiblement la même superficie que les bourgoutières, mais leur valeur pastorale est moindre avec des productions moyennes oscillant entre 5 000 et 8 000 kg par hectare. *Eragrostis barteri* est l'espèce dominante ; elle est accompagnée par *Ipomea aquatica* et *Melochia corchorifolia.*

À ces formations végétales, il faut ajouter les plaines à *Panicum anabaptistum* qui couvrent 5 % des superficies et les savanes à *Andropogon gayanus* des replats sablonneux qui s'étendent sur 37 805 hectares, soit environ 2 % des superficies.

Biodiversité

L'eau est au centre de la problématique du phénomène de désertification. Dans le delta intérieur du Niger, par le biais de l'inondation, elle génère une grande biodiversité de la faune et de la flore ; ce qui représente, sur le plan écologique et socio-économique, un potentiel de ressources considérable et inestimable en zone sahélienne. Trois systèmes de production exploitent principalement ces ressources : la pêche, l'agriculture et l'élevage. Ces activités tiennent une place prépondérante dans l'économie du pays. Dans ce paragraphe, seules deux ressources seront traitées, à savoir les fourrages et les forêts.

Nom de la commune	Surface de la commune (en km^2)	Superficie en bourgou (ha)	Surface du bourgou défriché en 1989 (en ha)	Pourcentage de la surface de la commune en bourgou	Pourcentage du bourgou défriché
Déboyé	853	34 291	263	40,2	0,8
Toguéré Coumbé	2 544	27 828	4 961	10,9	17,8
Kééwa	1 024	22 834	7 444	22,3	32,6
Youwarou	975	22 685	420	23,3	1,9
Bimber Tama	590	18 124	75	30,7	0,4
Dialloubé	1 497	12 782	1 257	8,5	9,8
Konna	838	12 335	1 642	14,7	13,3
Socoura	733	9 805	5 344	13,4	54,5
Soyé	929	8 031	2 446	8,6	30,5
Ouro Ardo	325	7 462	4 482	23,0	60,1
Togoro Kotia	1 085	6 561	3 780	6,0	57,6
Sio	539	6 242	4 037	11,6	64,7
Diondori	510	5 845	2 739	11,5	46,9
Néma Badenyakafo	1 035	5 724	1 084	5,5	18,9
Ouroubé Doudé	351	4 255	72	12,1	1,7
Ouro Guiré	286	3 737	2 012	13,1	53,8
Fakala	583	3 578	680	6,1	19,0
Sasalbé	309	3 311	2 139	10,7	64,6
Ouro Ali	173	2 811	1 142	16,3	40,6
Togué Mourari	282	2 178	1 313	7,7	60,3
Farimaké	3 591	2 030	6	0,6	0,3
Diaka	1 169	2 007	353	1,7	17,6
Borondougou	114	1 928	401	16,9	20,8
Koubaye	341	1 927	227	5,7	11,8
Pondori	170	1 906	747	11,2	39,2
Sougoulbé	228	1 507	338	6,6	22,5
Kounari	471	1 411	545	3,0	38,6
Macina	1 111	954	18	0,9	1,9
Dianké	961	924	19	1,0	2,1
Djénné	281	840	78	3,0	9,3
Ouro Modi	115	574	69	5,0	12,1
Fatoma	301	564	462	1,9	81,9
Matomo	450	543	83	1,2	15,3
Dandougou Fakala	262	492	24	1,9	4,8
Ténenkou	9	386	248	43,8	64,2
Dérrary	182	376	54	2,1	14,4
Fémayé	162	350	144	2,2	41,0
Madiama	177	290	0	1,6	0,0
Diafarabé	711	235	0	0,3	0,0
Monimpebougou	2 133	137	103	0,1	75,6

Source : Marie, 2000

Tableau 10 - Répartition des bourgoutières dans les différentes communes

Les ressources fourragères

L'inventaire réalisé par les chercheurs du CIPEA fait ressortir, pour le delta, une liste de 189 espèces dont 137 espèces herbacées. Comparée au Gourma voisin qui compte 350 espèces, c'est une flore relativement pauvre à l'instar de la majorité des plaines inondables. Cette pauvreté de la flore contraste toutefois avec une forte production saisonnière de biomasse qui est 15 à 20 fois plus élevée que dans celle des zones sahéliennes avoisinantes.

Les ressources fourragères intègrent trois éléments : les pâturages naturels, les résidus de récolte et les cultures fourragères pratiquées surtout par l'introduction de bourgou.

Sur les plaines inondables, on trouve surtout des graminées (et /ou cyperacées) pérennes parmi lesquelles il faut distinguer quatre types biomorphologiques : les graminées cespiteuses, les graminées à tiges flottantes, les graminées gazonnantes et les géophytes rhizomateux (tableau 11).

Hémicryptophytes			**Géophytes**
Cespiteuses dressées	À tiges flottantes	gazonnantes	Rhizomateuses
Vetiveria nigritiana	*Ehinochloa stagnina*	*Cynodon dactylon*	*Oriza longistaminata*
Andropogon gayanus	*Voscia cuspidata*	*Sporobulus spicatus*	*Echinochloa pyramidalis*
Eragrostis barteri	*Brachiaria mutica*	*Sporobolus helvolus*	*Eleocharis dulcis*
Hyparrhenia rufa		*Brachiaria mutica*	*Scirpus brachyceras*
Panicum anabaptistum			*Cyperus maculatus*

Tableau 11 - Type biomorphologique de quelques-unes des graminées et cypéracées dominantes du delta du Niger

Sigles	**Dénomination de l'association végétale**
AC	Eragrostaie haute à *Eragrostis bacteri* et *Andropogon canaliculatus*
AG	Savane à *Andropogon gayanus* des replats sablonneux
B	Bourgoutière à *Echinochloa stagnina*
BP	Bourgoutière basse à *Voscia cuspidata*
EOR	Eragrostaie basse à *Eragrostis barteri* et *Oriza longistaminata*
ESP	Eragrostaie à *Eragrostis barteri* et *Setaria anceps*
MB	Mosaïque des berges
O	Orizaie haute à *Oryza longistaminata* et *Setaria anceps*
OP	Orizaie basse à *Oryza longistaminata* et *Eleocharis dulcis*
P	Panicaie à *Panicum anabaptistum*
PAK	Plaine à *Acacia kirkii*
PAM	Plaine basse et chenal à *Mytragyna inernis*
PAN	Acacière des basses plaines à *Acacia nilotica*
PAR	Plaine à *Acacia raddiana et Calotropis* - lande à *Indigofera* des lacs sahéliens
PAS	Acacière des hautes plaines à *Acacia seyal*
R	Rizière des casiers de l'Office du Niger et des Opérations Riz
TA	Savane arbustive des *« toggé »* à *Andropogon gayanus* et *Piliostigma reticulatum*
TB	Palmeraie à *Borassus aethiopum*

TC	Végétation anthropique des *« toggé »* à *celtis integrifolia* et *Borassus aethiopum*
TD	Fourré arbustif des *« toggé »* à *Diospyros mespiliformis*
THY	Palmeraie à *Hyphaene thebaica*
TS	Savane arbustive des *« toggé »* à *Acacia sieberiana* et *Acacia seyal*
TT	Savane arborée des *« toggé » à Termimalia macroptera*
VB	Vétiveraie très basse
VH	Vétiverai haute
VOR	Vétiveraie basse
VSP	Vétiveraie moyenne, savane à *Hyparrhenia ruffa*
ZB	Zone de battement des crues maximales

Source : Marie, 2000

Tableau 12 - Dénominations des vingt-huit associations végétales du delta intérieur

Sur la base de l'analyse d'observations faites sur 169 sites échantillonnés dans le delta en 1979 et 1980 (Hiernaux *et al.*, 1983), vingt-huit formations végétales élémentaires dont dix-huit dans les plaines d'inondation et dix autres sur les reliefs non-inondables ont été distinguées (tableau 12). En zone inondée, quatre de ces formations végétales recouvrent plus de 60 % des superficies. Il s'agit des bourgoutières, des rizières sauvages, des vétiveraies et des éragrostaies.

Les ressources forestières

Les ressources forestières du delta proviennent de trois grands types de formation végétale ayant des écologies différentes :

- celles qui supportent une lame d'eau variant de 2,8 à 4 m ;
- celles qui sont inondées par ruissellement, mais qui peuvent l'être secondairement par la crue : la hauteur de la lame d'eau se situe entre 0,1 et 0,6 m ;
- celles qui ne sont pas inondées.

Les tableaux 13 et 14 donnent des informations sur la flore de ces trois types de forêt.

Sigle de la formation végétale	Hauteur de la submersion	Superficie occupée en ha	Espèces dominantes	Espèces accompagnatrices	Espèces occasionnelles
PAK : plaine à *Acacia kirkii*	2,8 - 4 m	5 288	*Acacia kirkii*	*Mimosa pigra*	*Ziziphus amphibius*
PAM : basse plaine et chenal à *Mitragyna inermis*	1,5 – 2,8 m	30 516	*Mitragyna inermis, Mimosa pigra*	*Acacia seyal, Acacia nilotica, Ferethia apodanthera, Pterocarpus santalinoïdes*	*Ziziphus amphibius*
PAN : acacière des basses plaines à *Acacia nilotica*	0,3 – 0,6 m	62 907	*Acacia nilotica*	*Acacia seyal, Mitragyna inermis*	*Dicrostachys glomerata, Piliostigma reticulata, Ziziphus mauritiana*
PAS : acacière des hautes plaines à *Acacia seyal*	0,1 – 0,3 m	50 235	*Acacia seyal, Acacia nilotica,*	*Diospyros mespiliformis, Ziziphus mauritiana*	*Balanites aegyptiaca, Piliostigma reticulata*
PAR : plaine à *Acacia raddiana* et *Calotropis procera*	0 – 0,1 m	2 388	*Acacia raddiana, Calotropis procera*	*Ziziphus mauritiana*	

Source : Marie, 2000

Tableau 13 - Quelques caractéristiques des formations forestières inondées du delta

Sigle de la formation végétale	Superficie occupée en ha	Espèces dominantes	Espèces accompagnatrices	Espèces occasionnelles
TA	161 835	*Piliostigma reticulata, Guiera senegalensis, Ficus gnaphalocarpa, Acacia pennata*	*Acacia sieberiana, Crataeva religiosa, Diospyros mespiliformis, Saba senegalensis, Ziziphus mauritiana*	*Acacia albida, Balanites aegyptiaca, Borassus aethiopum, Dicrostachys glomerata*
TB	27 931	*Borassus aethiopum, Acacia seyal, Piliostigma reticulata*	*Diospyros mespiliformis, Guiera senegalensis, Maytenus senegalensis, Securinega virosa*	*Acacia sieberiana, Boscia senegalensis, Grewia bicolor, Hyphaene thebaïca*
TC	34 916	*Celtis integrifolia, Borassus aethiopium, Ficus gnaphalocarpa, Tamarindus indica*	*Adansonia digitata, Acacia pennata, Acacia sieberiana, Diospyros mespiliformis*	*Acacia nilotica, Balanites aegyptiaca, Hyphaene thebaïca, Piliostigma reticulata*
TD	49 259	*Diospyros mespiliformis, Acacia seyal, Piliostigma reticulata, Ziziphus mauritiana*	*Dicrostachys glomerata Maytenus senegalensis, Acacia nilotica, Securinega virosa*	*Acacia ataxacantha, Balanites aegyptiaca, Guiera senegalensis,Tamarindus indica*
THY	53 905	*Hyphaene thebaïca, Acacia seyal, Piliostigma reticulata*	*Acacia laeta, Acacia senegal, Diospyros mespiliformis, Maytenus senegalensis*	*Acacia sieberiana, Albizzia chevalieri, Balanites aegyptiaca, Boscia senegalensis*
TS	82 161	*Acacia sieberiana, Dicrostachys glomerata, Albizzia chevalieri*	*Acacia campilacantha, Acaccia seyal, Acacia pennata*	*Acacia laeta, Combretum micranthum*
TT	17 032	*Terminalia macroptera, Terminalia avicennoides*	*Vittelaria paradoxa, Diospyros mespiliformis, Piliostigma reticulata, Pterocarpus erinaceus*	*Feretia apodanthera, Gardenia ternifolia, Maytenus senegalensis, Pseudocedrella kotschii*

Tableau 14 - Quelques caractéristiques des formations forestières exondées du delta

Ces forêts inondables sont de véritables refuges écologiques qui permettent la reproduction des oiseaux (hérons, aigrettes, cormorans, anhingas, spatules et ibis) et ce, parce qu'elles répondent à certaines conditions spécifiques : sécurité créée par l'inondation, leur étendue, l'absence de dérangement humain et animal.

Les espèces dominantes sont surtout des acacias. Les plaines à *Acacia nilotica* sont les plus représentées (42 %). On y trouve comme accompagnatrices *Acacia seyal* et *Mytragina inermis.* Viennent ensuite les plaines à *Acacia seyal* (33 %) et *Mitragyna inermis* (20 %). Dans ces dernières, on trouve plusieurs espèces accompagnatrices : *Acacia seyal, Acacia nilotica, Feretia apodanthera et Pterocarpus santalinoides.* Les plaines à *Acacia kirkii* qui ne couvrent que 2 % servent de refuges aux oiseaux paléarctiques : elles font encore du DIN le plus important site de reproduction des oiseaux en Afrique de l'ouest. On y rencontre aussi *Ziziphus amphibius* et *Mimosa pigra* qui indiquent une dégradation des bourgoutières par mauvais drainage.

En zone exondée, les savanes à *Andropogon gayanus* et *Piliostigma reticulata* sont les plus représentées (plus de 160 000 hectares) et, *Guiera senegalensis*, *Ficus gnaphalocarpa* et *Acacia pennata* sont classées, en plus de *Piliostigma reticulata*, comme espèces dominantes.

La jacinthe

1. Généralités

La jacinthe d'eau *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach appartient à la famille des Pontederiacées. Elle est originaire du Bassin amazonien et c'est à partir de cette zone qu'elle a été introduite accidentellement ou intentionnellement par l'homme dans diverses parties du monde (Sculthorpe, 1967).

Au Mali, sa présence remonte à 1990 autour de la ville de Bamako. À partir de ce point, elle a envahi le cours du fleuve Niger et, depuis cette période, elle représente une menace pour les autres plans d'eau du pays et les rizières à l'Office du Périmètre Irrigué de Baguineda (OPIB), à l'Office Riz Ségou (ORS) et à l'Office du Niger (ON).

Très prolifique et envahissante, elle constitue un véritable danger pouvant compromettre le développement par ses effets pervers :

- accroissement de l'évaporation d'un facteur compris entre 3,7 et 7 (Gopal et Sharma, 1981). Elle favorise donc l'évaporation des plans d'eau et entrave ainsi les activités socio-économiques liées à l'utilisation de l'eau ;
- entrave à la navigation et à la pêche ;
- réduction de la production d'énergie électrique ;
- perte de la diversité biologique ;
- développement des moustiques et d'autres parasites cause de maladies hydriques ;
- obstruction des ponts et des canaux d'irrigation.

2. Évaluation du niveau d'infestation des plans d'eau

Pour lutter contre la jacinthe au Mali, un projet de recherche a été entrepris en 1997-98 par l'IER en collaboration avec ses partenaires (projet FAO/MLI/6613A). Les informations fournies par ce projet montrent que le niveau et les zones d'infestation ont varié depuis le déclenchement de la lutte.

3. État en 1999

En aval du fleuve, l'infestation des plans d'eau par la jacinthe était plus étendue, de Bamako jusqu'à Macina, à environ 350 km sur le parcours du Niger. On a retrouvé également la jacinthe d'eau dans la ville de Niono ainsi que dans le fleuve Bani, à plus de 300 km de Bamako. Cette infestation augmentait les chances d'invasion du delta du Niger qui sert de zone de reproduction pour les poissons, de refuge pour les oiseaux migrateurs et de zone de transhumance des animaux au Mali. Cependant, l'infestation n'avait pas la même importance sur tout le trajet. Les cas les plus inquiétants ont été signalés dans les localités suivantes :

- autour de la ville de Bamako où toutes les bordures du fleuve étaient infestées : cela servait de source d'infestation durant la crue pour l'aval du fleuve ;
- le barrage hydroélectrique de Sotuba qui était constamment sous la menace des touffes issues du fleuve par le barrage des Aigrettes ou du canal principal ;
- le canal de Baguineda dont la partie la plus inquiétante était la zone inondée où le canal fait une courbe avant Doukourakoro : cette zone constitue un réservoir même pendant la saison des pluies ;
- le fala (mare) de Sekoro, complètement envahi, où la navigation était fortement entravée ;
- le fala (mare) de Bambougou, à l'embouchure du canal de l'Opération Riz Ségou, avec une infestation plus dense que celle de la berge du cours principal du fleuve : cette infestation constituait une menace pour les rizières de Dioro ;
- la zone d'inondation du barrage de Markala et le canal principal de l'office du Niger qui étaient très infestés ;
- le canal du Sahel, du barrage du point A, à la ville de Dougabougou : cette infestation constituait une menace pour les canaux d'irrigation du Sukala.

4. État en 2002

Après trois années de lutte, le niveau d'infestation a baissé, mais une autre plante envahissante a pu être observée : le salvinia géant (tableaux n° 15 et 16). Les niveaux élevés d'infestation ont été observés dans les points de rejet des eaux usées d'origine diverse favorables à la multiplication de la jacinthe.

Sites	Jacinthe		Salvinia géant		Autres plantes aquatiques	
	notation	% de couverture	notation	% de couverture	notation	% de couverture
Mare de Kalabankoro	1	5	0	0	3	26
Pont des Martyrs	4	75	0	0	2	20
Pont du roi Fadh	4	60	0	0	2	25
URG	2	10	0	0	3	26
N'Golonina	4	50	0	0	2	25
Radio Kledu	4	60	0	0	1	5
Hôtel Mandé	4	60	0	0	1	5
Pont après TAMALI	1	5	3	25	2	25
Abreuvoir des bœufs	1	5	3	25	2	25
Canal de Baguinéda	2	10	4	40	3	25

Tableau 15 - Évaluation de l'infestation du fleuve et du canal d'irrigation de Baguinéda dans la zone de Bamako

Le pont des Martyrs, du roi Fadh, les berges à N'Golonina, derrière la radio Klédu et l'hôtel Mandé sont des points de rejet des eaux usées d'origines diverses favorables à la multiplication de la jacinthe d'eau, ce qui explique le niveau élevé des infestations.

Sites	Jacinthe d'eau		Salvinia géant		Autres plantes aquatiques	
	notation	% de couverture	notation	% de couverture	notation	% de couverture
Collecteur de Niono	4	80	0	0	2	20
Sossé daga (Séribala)	1	5	0	0	4	75
Fala de Secoro	2	25	1	1	4	75
COMATEX (derrière)	3	50	2	10	2	20
Canal de navigation	1	1	2	20	2	10
Fala de Gombougou	0	0	3	40	2	10
Canal adducteur	1	1	1	1	0	0

Tableau 16 - Évaluation de l'infestation du fleuve à Ségou et Markala

5. Méthodes de lutte

Le projet FAO/MLI/6613A propose trois formes de lutte : la lutte par enlèvement manuel qui est la forme la plus utilisée, la lutte biologique et la lutte chimique. Cette dernière a seulement été testée dernièrement.

- Lutte manuelle

Ce moyen de lutte implique une disponibilité en main d'œuvre. La participation de la communauté réduit fortement les coûts. Elle est possible dans les endroits faciles

d'accès et peu profonds tels que les canaux d'irrigation et les fossés. Ce genre de lutte peut être organisée en régie par certains services ou à la suite d'initiatives locales des populations confrontées à l'envahissement des berges ou des infrastructures par la jacinthe d'eau. Les caractéristiques de la lutte manuelle sont reportées dans le tableau 17.

Caractéristiques	Description
Travail	Extraction de la jacinthe à la main en utilisant des outils tels que la fourche et le râteau.
Surface d'action	Limitée au cas des mauvaises herbes marginales et pour de petites surfaces
Efficacité	Pour un homme, 2,5 t / 8 heures (biomasse 24 kg/m$^{2)}$
Restriction d'application	Profondeur, pente, marécage, qualité de l'eau, moustiques
Implications écologiques	Recommandation relative aux contaminants
Avantages	Promouvoir la participation des usagers Assainissement de l'eau Utilisation des mauvaises herbes (artisanat)
Désavantages	Processus très lent limité aux endroits peu profonds, insécurité des travailleurs Efficacité diminuée par la présence des moustiques.

Tableau 17 - Principales caractéristiques de la lutte manuelle

Cependant la portée de cette lutte est très limitée.

- Lutte biologique

Il s'agit d'utiliser deux prédateurs de la jacinthe, à savoir des charançons du genre *Neochetina* (*Neochetina eichhorniae* et *Neochetina Bruchi*) pour le contrôle de la plante. La méthode de lutte comprend plusieurs étapes :

a) Élevage des charançons

Après leur importation, les charançons sont élevés dans des bassines construites à cet effet.

- La récolte

Les plants de jacinthe récoltés doivent être bien verts, jeunes, sains, ni trop âgés ni trop longs et avec des feuilles ne présentant aucun symptôme de maladie, ni de pourritures ou de brunissements.

- Le lavage

Les plants récoltés dans le fleuve sont sales et certainement contaminés par des champignons et des bactéries. Ils peuvent aussi abriter des araignées et des escargots. Ils seront alors soigneusement lavés avec l'eau du robinet malgré les dispositions prises pendant leur collecte au fleuve. L'opération du lavage s'accompagne de l'habillage de

la plante qui consiste à couper les feuilles indésirables qui ont échappé au triage pendant la collecte.

- La stérilisation

Les plants de jacinthe bien lavés et habillés seront plongés dans l'eau de Javel à 10 % pendant 4 à 5 minutes. Les plants seront ensuite rincés deux à trois fois avec l'eau du robinet. C'est un travail minutieux à cause des brûlures que l'eau de Javel persistante peut provoquer sur les racines et sur les feuilles. Cette opération de lavage a un double avantage : d'une part, les plants sont désinfectés de tous les corps étrangers qui leur sont nuisibles et, d'autre part, elle prévient les éventuelles contaminations des insectes qui seront utilisés pour l'infestation de la jacinthe.

- La mise en place des plants

Après la stérilisation, les plants de jacinthe sont placés dans les bassines d'élevage.

- La fertilisation des bassines

La fertilisation est très importante : elle permet d'obtenir des plantes vigoureuses pour alimenter les insectes. Elle se fait avant ou peu après la mise en place des plants et consiste à apporter des engrais afin de rendre le milieu aquatique favorable au développement de la jacinthe. L'engrais bleu a été utilisé à la dose de 40 mg/bassine. C'est un engrais composé soluble de formule 20N-20P-20K ; il est employé par les fleuristes et vendu au détail. Son apport est renouvelé après chaque vidange des bassines qui intervient trois fois par mois.

- L'infestation des plants par les insectes

Les charançons N. bruchi et N. eichhorniae adultes seront capturés manuellement sur les plants de jacinthe puis séparés par espèce et lâchés à raison de 120 couples par bassin. Les deux espèces se distinguent par leurs couleurs et le V caractéristique du N. bruchi. Ils seront placés sous la gaine de la première ou de la seconde feuille, au centre de la rosette.

- Entretien des plants

Ce travail consiste à un changement d'eau dans les bassines et à l'enlèvement des feuilles malades ou mortes. Les changements de l'eau interviennent chaque fois que les moisissures commencent à se développer.

b)- Lâchers des charançons

Les lâchers seront effectués de janvier à mai et consistent à déposer les charançons adultes sur les feuilles de jacinthe. Ils doivent être effectués dans plusieurs points dans les zones d'infestation.

- La lutte chimique

Deux herbicides, à savoir Herbextra dont la matière active est le 2.4D à 720 $g.l^{-1}$ et le Roundup liquide dont le glyphosate est la matière active à 360 $g.l^{-1}$ peuvent aussi contrôler efficacement la jacinthe.

Tendances évolutives

La végétation herbacée

Face à l'ampleur des variations saisonnières et interannuelles, il est parfois difficile d'identifier les tendances évolutives de la végétation à moyen et long terme et encore plus délicat d'en démêler les facteurs multiples et interactifs.

Une vingtaine de sites du delta suivis de 1979 à 1984 dans le cadre du contrat CIPEA / ODEM (Opération de Développement de l'Élevage de la région de Mopti) permet de se faire une idée sur la dynamique de la végétation des savanes herbeuses du delta. Cependant, il faut signaler que les années d'observations se rangent parmi les moyennes, mauvaises et très mauvaises années climatiques et surtout hydrologiques (presque rangées dans une progression décroissante régulière de 1979 à 1984) ; aussi l'impact des fluctuations des pluies et de la crue qui est présenté ne concerne que cette situation particulière.

1- Impact des changements climatiques et de la crue

- Les résultats du suivi ont permis de tirer les conclusions suivantes :
- la majeure partie des plaines inondables est assez stable sur le plan floristique car elle est constituée de graminées pérennes souvent protégées de la pâture pendant la saison de croissance (cinq à six mois),
- la sensibilité des parcours aux fluctuations de la crue est très variable. Les bourgoutières suivies ont été peu affectées dans leur structure comme dans leur production par la baisse considérable du niveau de la submersion parce que la durée de la submersion n'était pas modifiée. Par contre, l'orizaie, l'eragrostaie et la vétiveraie haute ont été très affectées non seulement dans leur production mais aussi dans la structure de leur peuplement. L'état de ces trois parcours fin 1984 était alarmant : le peuplement de l'espèce dominante était décimé et remplacé par un peuplement très irrégulier dominé par des annuelles sahéliennes,
- les variations de la crue et du régime des pluies ont un effet plus visible sur la production que sur la flore. Ainsi, sur un pâturage à *Oriza longistaminata*, la production maximale mesurée en 1979 était de 10 t, mais, en 1980, une arrivée tardive de l'inondation et sa faible profondeur ont empêché *Oriza longistaminata* d'arriver à la floraison : la production a alors chuté de moitié,
- à plus long terme, en plus de la production, un faible niveau des crues combiné à une pluviométrie déficitaire peuvent transformer la végétation (Diarra L., 1985) Deux exemples permettront d'illustrer cette dynamique :

- Savane à *Eragrostis barteri*

Avant la sécheresse, elle était dominée par Eragrostis barteri et accompagnée de quelques touffes d'*Hyparrhenia rufa,* de *Paspalum orbiculare*, d'*Oriza longistaminata*

et de Setaria anceps. On y trouvait rarement *Paniculum fluvicola*, *Andropogon africanus*, *Crotalaria ochroleuca*, *Brachiaria jubata* et *Acroceras amplectans*.

La production végétale atteignait un maximum (3 à 6 t de matière sèche par hectare) en octobre. Le parcours était surtout utilisé pendant la saison des pluies par les bovins de retour de transhumance, mais aussi en saison sèche où il était mis en feu pour faciliter la pâture des repousses par les petits ruminants.

- Savane à *Vetiveria nigritiana*

Avant la sécheresse de 1983-84, cette savane était constituée de grosses touffes espacées de *Vetiveria nigritiana*, *Sorghum trichopus*, *Panicum anabaptistum* et, plus rarement, de *Hyparrhenia exarmata* et de *Panicum fluvicola*. Les dépressions entre les touffes étaient colonisées par des annuelles, principalement *Panicum wallense et Setaria palide fusca*.

La biomasse atteignait un maximum (6 à 8 t de matière sèche par ha) au moment de la fructification, en octobre et en novembre. La production végétale se poursuivait en saison sèche par l'émission de repousses feuillées. Ces savanes étaient surtout pâturées à la suite de cette repousse stimulée d'ordinaire par un incendie qui éliminait les chaumes de l'année précédente.

Après la sécheresse, les pérennes qui dominaient précédemment dans les savanes à *Eragrostis* ont régressé pour céder la place à des espèces annuelles telles que *Panicum subalbidum*, *Setaria pallide-fusca*, *Borreria choetocephala*, *Borreria filifolia*, *Eragrostis pilosa* et *Leptadenia hastata.* Quant aux savanes à *Vetiveria*, elles ont été envahies par *Panicum laetum*, *Panicum subalbidum* et *Setaria pallide-fusca.* La plupart de ces espèces annuelles existaient déjà dans les parcours considérés, mais, la superficie qu'elles occupaient avant la sécheresse était nettement moins importante. L'influence négative de la sécheresse de 1983-84 sur la savane à *Vetiveria* a été accentuée par l'activité accrue des termites jusque-là limitée par des crues régulières et suffisamment abondantes. L'évolution du recouvrement des différents faciès permet d'apprécier les changements survenus (tableau 18)

Savane/ faciès	Recouvrement linéaire (en %)				
	1979	1981	1983	1984	1986
Savane à Vetiveria nigritana					
Touffes vivantes de Vetiveria nigritana	60.0	40.0	20.0	4.6	0.3
Touffes mortes de Vetiveria nigritana	2.0	5.0	9.0	9.6	4.2
Annuelles	7.0	8.5	10.0	13.6	15.1
Termitières	n.d.	0.5	1.0	1.2	1.3
Sol nu	33.0	46.0	60.0	71.0	78.9
Savane à Eragrostis barteri					
Eragrostis barteri	n.d.	55.0	3.5	3.5	3.1
Oriza longistaminata	n.d.	7.4	7.4	7.4	7.1
Leptadenia hastata	n.d.	0.0	1.0	2.0	3.7
Annuelles	n.d.	7.6	15.0	16.1	34.0
Sol nu	n.d.	30.0	73.1	70.0	52.1

Tableau 18 - Évolution du recouvrement linéaire des différents faciès propres aux savanes à Vetiveria et à Eragrostis des plaines d'inondation du fleuve Niger dans le Mali central, 1979-86

2- Impact de l'exploitation pastorale et de l'incendie

À long terme, en plus de leurs effets sur la productivité et la qualité fourragère, le mode et l'intensité d'exploitation fourragère ont un impact sur les peuplements végétaux. Les points suivants méritent d'être signalés :

- la mise en défens intégrale ou l'entrée tardive du bétail dans les bourgoutières alors que le sol est desséché empêche le marcottage naturel des tiges d'*Echinochloa stagnina* ; ce qui risque de compromettre la régénération de son peuplement l'année suivante,
- le maintien du peuplement d'*Echinochloa stagnina* peut aussi être mis en danger par un faucardage trop sévère,
- sur les toggés et dans les plaines périphériques non inondées (comme ailleurs dans les parcours sahéliens et soudano-sahéliens) les tapis herbacés composés d'annuelles sont sensibles à la pression de pâture exercée au cours de la croissance en saison des pluies, surtout lorsque cette pression est permanente tout au long de la saison. Les risques sont d'autant plus élevés pour les toggés du Macina que le bétail résidant s'y retrouve confiné lors de la submersion.

3- Impact de la mise en culture

La culture du riz qui s'est beaucoup accrue avec la généralisation des labours attelés au cours des dernières décennies exerce un impact sur la ressource fourragère. La substitution du parcours naturel par le riz se traduit par une perte fourragère dont

l'importance dépend de la réussite ou de l'échec (assez fréquent puisque l'inondation n'est pas contrôlée) de la culture mais surtout du type de pâturage préexistant.

Pour une oryzaie, une eragrostaie ou une vétiveraie, la substitution d'une plante pérenne par une annuelle supprime la production des repousses, mais la perte globale de biomasse n'est pas très importante. Il faut quand même signaler que, de 1952 à 1989, les superficies cultivées en riz ont augmenté de 30 % (Marie, 2000). Avec l'évolution démographique, ce chiffre devra être revu à la hausse.

Pour les bourgoutières, la substitution se traduit, par contre, par un manque à gagner considérable que l'on peut chiffrer à la perte des rations d'entretien de six bovins par hectare pendant les six mois de saison sèche. Cette importante ressource est fortement menacée par endroits. Selon J. Marie (2000), en 1989, plus de 50 000 ha étaient défrichés et transformés en rizières, notamment autour de Mopti et de Ténenkou, dans le Yongari et dans le Kotia. Avec la persistance de la sécheresse, on peut s'attendre à une augmentation des superficies des bourgoutières cultivées.

La végétation ligneuse

L'évolution du capital ligneux dépend de plusieurs facteurs comme le climat, l'évolution démographique et les systèmes de culture et d'élevage.

1- Impact des variations climatiques

L'analyse de photographies aériennes datant de 1952 et de 1971, complétée par les résultats de prospections aériennes faites en 1985-87, montre que le nombre de forêts inondables a fortement diminué suite aux longues années de sécheresse et aux faibles inondations annuelles. C'est ainsi que de véritables « forêts mortes » ont vu le jour. Si, dans les années 1950, on pouvait dénombrer 25 forêts inondées dans le DIN, en 1985, on n'en comptait que sept qui hébergeaient cinq grandes colonies nicheuses. De nos jours, seules les forêts de Akkagoun et Dentaka sont en bon état. (tableau 19)

2- Impact de l'exploitation pastorale

En période de crue, les forêts constituent une part importante des ressources fourragères. La pression exercée par les troupeaux sédentaires est renforcée, en saison sèche, avec l'arrivée des animaux transhumants. Cependant, suite à la surcharge en bétail et surtout au mode d'exploitation, l'arbre paye un lourd tribut aux déprédations humaines. Pour mettre le fourrage ligneux à la disposition du bétail, les bergers coupent les branches les plus élevées pour les coucher à terre. L'opération présente peu de risque lorsqu'il s'agit des petites branches, mais, lorsqu'elle concerne les grosses branches, les conséquences sont plus graves. La branche qui reste attachée à l'arbre par une zone à moitié coupée est sujette aux attaques des bactéries et des champignons. De plus, la partie qui touche le sol est facilement attaquée par les termites et lorsque le feu passe, toute la plante est la proie des flammes alors que seul le tronc aurait pu être touché. De telles pratiques entraînent la mort des arbres (Diarra L., 1998).

Site, colonie	Années 1940	Années 1950	1985	1998-99	2000-02
DIN Nord : Débo - Korientzé aval					
Kerdial	+	+			
Beima	+	+			
Koussouma	+	+			
Toba	+	+			
Gome	+	+			
In tarouel	+	+			
Owa	+	+			
DIN central : Débo - Korientzé					
Timisobo	+	+	+		
Kepagou	+	+	+		
Gourao	+	+	+		
Dentaka	+	+	+	+	+
Akkagoun	+	+	+	+	+
Kota	+	+			
Sobesaba	+	+			
Barangissé	+				
Korientzé	+	+			
Bora Bora	+	+			
DIN Sud : Débo - Korientzé en amont					
Koumbe Niasso	+	+	+		(+)
Kouakourou	+	+	+		(+)
Tomina	+	+			
Wilibana	+	+			
Ngomi	+	+			
Tilembeya	+				
Djibitaga	+	+			
Kadial	+	+			

Les forêts des colonnes 1940 et 1950 sont des sites potentiels de nidification.

NB. Les sept premiers sites ne sont pas inondés en cas de sécheresse. Les forêts de Timisobo, Gourao, Koumbé Niasso et Kouakourou sont dans un état de dégradation avancé.

Tableau 19 - Évolution des sites à colonie nicheuse dans le DIN au Mali

3- Impact des défrichements et de l'exploitation du bois-énergie

Dans le delta, le taux de croissance de la population est voisin de 1,4 % par an, mais il est nettement plus élevé dans le sud où il atteint 5 % par an (Marie, 2000). Pour satisfaire les besoins en terre agricole et en bois-énergie, d'importants prélèvements sont faits dans les forêts.

Les défrichements entraînent une modification importante du peuplement ligneux des formations végétales mises en culture. Leur impact est aggravé par le raccourcissement de la jachère qui ne permet plus aux ligneux de se régénérer, à l'exception de quelques espèces particulièrement vivaces telles que *Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulatum*et *Ziziphus mauritiana* qui continuent à émettre des rejets après plusieurs années de coupes systématiques.

Dans les zones cultivées autour des villages, la végétation revêt un caractère anthropique très marqué. La végétation est une savane parc où la strate ligneuse est constituée essentiellement d'espèces épargnées par les défrichements. Il s'agit d'*Acacia albida*, de *Vitelaria paradoxa*, etc. (Wilson *et al.*, 1983).

Selon le projet SED, la consommation rurale de bois-énergie dans le delta est de 1,3 million de tonnes sur la base d'une consommation annuelle de 0,6 à 0,8 t/hab/an. Cette consommation absorbe 70 % de la production annuelle ligneuse, mais, dans certaines localités, la consommation est supérieure à la production annuelle et, d'année en année, on assiste à une augmentation du nombre d'intervenants dans l'exploitation du bois-énergie (tableau 20).

Cercle	Production annuelle	Bois mort	Consommation rurale	Exportation (bois +charbon)	Reste de bois mort	Bilan bois vert
Djenné	53810	40000	123040	12202	-	- 41432
Macina	198651	310000	101415	-	208585	198651
Mopti	77557	60000	107224	22170	-	8163
Ténenkou	120844	-	101244	-	-	19600
Youwarou	41390	1243571	65859	22790	1154923	41390

Source : SED

Tableau 20 - Bilan ressources prélèvement de bois du bassin de Mopti (t/an)

Sur la base d'un taux de croissance annuelle des populations rurales de 1,4 %, un taux de croissance de la consommation des combustibles de 5 %, une diminution de la productivité ligneuse suite aux défrichements de 0,5 % et un taux de perte du stock de bois mort de 5 %, le projet SED estime que le bilan global production-prélèvements de bois (bilan « bois vert ») devrait chuter de 1,4 million de tonnes à moins de 100 000 t en 2005. Cette baisse est due à l'épuisement du stock de bois mort et à l'augmentation de la consommation urbaine et de la consommation rurale.

Indicateurs de suivi

L'analyse statistique des observations botaniques et écologiques faites sur 169 sites échantillonnés dans le delta a permis d'établir une fiche signalétique pour chaque formation végétale. Celle-ci comporte des indications sur la composition floristique, la position géomorphologique, la texture des sols, le régime d'inondation et les ressources fourragères établies dans une situation d'utilisation standard.

Par la suite, la carte réalisée par le CIPEA des formations végétales du delta a été digitalisée et intégrée au système d'information géographique Delmasig (Marie, 2000) ; ce qui permet l'expression géoréférencée de toutes les variables utilisées pour la caractérisation des formations végétales (composition floristique, production fourragère) et de leur environnement et le calcul des statistiques de superficie.

Composition floristique

Pour la composition floristique, chaque formation végétale est caractérisée par deux valeurs de référence :

- la valeur indicatrice des espèces, codée de 0 à +++, qui définit l'intensité de liaison entre l'espèce et la formation végétale ;
- l'abondance/dominance des espèces.

La première est indiquée par des seuils de probabilité de présence ou d'absence de l'espèce dans la formation végétale. La seconde est indiquée par la distinction de trois catégories d'espèces : les dominantes, les accompagnatrices et les occasionnelles ; chacune représentant respectivement, 80, 15 et 5 % de la biomasse végétale (tableaux 21, 22 et 23).

Le suivi de l'évolution de ces valeurs de référence peut servir d'indicateur de la dynamique de la flore de la formation végétale considérée.

Code	Signification statistique
+++	L'espèce est significativement sensible à l'état de la variable au seuil de 1/1 000
++	L'espèce est significativement sensible à l'état de la variable au seuil de 1 % mais pas de 1/1 000
+	L'espèce est significativement sensible à l'état de la variable au seuil de 5 % mais pas de 1 %
.	L'espèce n'est pas significativement sensible à l'état de la variable au seuil de 5 %
0	L'échantillon est trop faible pour conclure ou il y a absence de données

Source : Marie, 2000

Tableau 21 - Code représentant l'intensité des liaisons espèces/profil floristique ou profil/état des variables

Code	Statut en termes d'abondance/dominance
HD	Herbacées dominantes
HO	Herbacées occasionnelles
HA	Herbacées accompagnatrices
LD	Ligneux dominants
LO	Ligneux occasionnels
LA	Ligneux accompagnateurs

Source : Marie, 2000

Tableau 22 - Statut des espèces végétales en termes d'abondance/dominance dans les formations végétales

Espèces dominantes ou codominantes		Espèces accompagnatrices		Espèces occasionnelles	
Echinochloa stagnina	+++	*Ipomea aquatica*	+	*Melochia corchorifolia*	+
Voscia cuspidate	++	*Nymphea lotus*	++	*Utricularia inflexa*	+
		Nymphea maculata	+	*Vetiveria nigritiana*	+
		Polygonum spp.	+		

Tableau 23 - Exemple d'une bourgoutière à *Echinochloa stagnina*

Production fourragère herbacée

La production fourragère herbacée est modélisée en formulant des hypothèses tenant compte de la hauteur de crue. Elle est représentée par trois valeurs :

- le maximum qui correspond à des valeurs de pointe mesurées sur le terrain ;
- la valeur médiane qui correspond, en moyenne, à la production escomptée lors d'une bonne crue ;
- la valeur minimale qui est celle obtenue lors d'une mauvaise année.

La production de repousse de saison sèche est décrite aussi par trois valeurs standard : minimale, médiane et maximale.

La connaissance des caractères de l'inondation permet donc, à partir du modèle Delmasig, de caractériser la production fourragère de l'ensemble du delta à partir des valeurs des formations végétales individuelles. Quelques valeurs de production sont données au tableau 24.

Formations végétales	Production annuelle en kg/ha			Production de repousse en kg/hectare (de décembre à juin)		
	minimum	médiane	maximum	minimum	médiane	maximum
AC	3000	5000	8000	300	600	1200
B	15000	20000	30000	3000	6000	10000
O	5000	8000	15000	400	800	1200

AC = Eragrostaie haute à *Eragrostis barteri* et *Andropogon canaliculatus*
B = Bourgoutière à *Echinochloa stagnina*
O = Orizaie haute à *Oriza longistaminata* et *Setaria anceps*

Tableau 24 - Production standard de quelques formations végétales du delta

Production fourragère ligneuse

La production foliaire des ligneux peut être aussi calculée à l'aide des relations d'allométrie établies par le CIPEA (Cissé, 1982). Les équations établies pour les principales espèces sont données au tableau 25. Elles permettent d'évaluer le potentiel fourrager aérien d'une région ou d'une formation végétale lorsque l'on dispose d'un inventaire tenant compte des aspects structuraux des différentes espèces du peuplement ligneux.

Espèces	A	B
Acacia machrostachya	0.60	2.31
Acacia nilotica	0.51	2.36
Acacia pennata	0.60	2.31
Acacia raddiana	0.50	2.35
Acacia sieberiana	0.60	2.13
Acacia seyal	0.48	2.31
Anogeissus leiocarpus	2.36	1.75
Balanites aegyptiaca	6.11	1.58
Bombax costatum	0.46	2.17
Cassia sieberiana	0.95	2.07
Combretum nigricans	1.25	2.12
Detarium microcarpum	0.31	2.71
Feretia canthioides	1.91	1.64
Hexalobus monopetalus	1.55	1.93
Guiera senegalensis	3.09	1.89
Maïtenus senegalensis	3.09	1.89
Prosopis africana	1.01	2.09
Pteleopsis suberosa	0.95	2.07
Pterocarpus erinaceus	0.95	2.07
Pterocarpus lucens	0.95	2.07
Piliostigma reticulata	0.31	2.71
Strychnos spinosa	1.38	1.91
Terminalia macroptera	2.09	2.06
Ximenia americana	3.09	1.89
Vitex madiensis	0.31	2.71
Ziziphus mauritiana	1.38	1.91

La biomasse foliaire (B) est donnée par la formule : B = (a x C b) où a et b sont des coefficients définis pour chaque espèce et C la circonférence du tronc de l'espèce

Tableau 25 - Relations d'allométrie utilisées pour l'estimation de la biomasse foliaire des espèces ligneuses

Production de bois

La production annuelle de bois peut être évaluée à l'aide d'une équation proposée par le projet Stratégie Énergie Domestique (SED) qui utilise deux paramètres (pluviosité et recouvrement ligneux) pour modéliser la productivité des formations forestières.

L'équation est la suivante :

$i = 0{,}3699 \exp(3{,}1652\ P.R^2)$ où i = productivité en m^3/ha/an,

P = pluviométrie annuelle exprimée en m

R = Recouvrement en %

P.R2 = Pluviométrie x Recouvrement au carré

exp = fonction exponentielle

Un inventaire ligneux est donc nécessaire pour appliquer cette équation.

Le stock de bois mort, le niveau d'exploitation et l'accroissement des populations sont des indicateurs qui permettent d'apprécier les tendances évolutives de la ressource ligneuse.

L'avifaune

Le DIN est réputé pour sa faune abondante à cause de la biomasse végétale considérable produite lors de la crue. Même si les sécheresses passées ont négativement influencé les populations animales, le DIN reste toujours parmi les zones les plus riches en Afrique, car il héberge des effectifs d'oiseaux d'eau d'une importance internationale qui contribuent substantiellement à l'évolution de leurs populations en Afrique, en Europe et en Asie.

- Selon plusieurs auteurs, l'avifaune du DIN compte plus de 350 espèces. Elle comporte des espèces locales et des espèces migratrices qui y viennent pour passer la période hivernale.
- Sur les 143 espèces d'oiseaux d'eau que compte l'Afrique subsaharienne, 125 sont signalées dans le DIN. Les inventaires récents (1998-2001) font état de 103 espèces dont 98 dans la zone de Debo Korientzé (Wetlands international, 2003). Avec le retrait des eaux, les oiseaux se concentrent dans la zone centrale (Debo Korientzé) mais aussi à Pora, Koumbe Niasso, Diondiori et Seri (Wymenga *et al.*, 2002).

Ces oiseaux jouent un rôle économique important dans le delta. Ils participent à la protection des cultures par la consommation des criquets, sauteriaux et autres insectes. Une relation a pu être établie entre la production de riz, les attaques de criquets et l'abondance des oiseaux. Pendant les bonnes années, le nombre d'oiseaux est élevé car la niche écologique est plus grande et la nourriture plus abondante.

Ces oiseaux constituent aussi une source de protéines pour les populations. Chaque année, des milliers d'oiseaux sont capturés par les pêcheurs et vendus dans différents marchés.

Populations d'oiseaux d'eau

Comme nous l'avons déjà signalé, à l'instar du fleuve Sénégal et du Lac Tchad, le bassin du fleuve Niger constitue l'une des trois plus grandes aires grégarigènes des oiseaux paléarctiques et éthiopiens de l'Ouest africain. Non seulement il sert de zone d'étape pour quelques millions d'oiseaux, mais c'est aussi le lieu de reproduction pour de nombreuses espèces. Les recensements aériens et les comptages de terrain permettent de voir les tendances évolutives des espèces. Ces recensements montrent une forte influence de la crue sur la dynamique des populations. Ils montrent aussi que les effectifs sont importants.

Les recensements relatifs aux six espèces les plus communes (la Sarcelle d'été, le Dendrocygne veuf, l'Oie de Gambie, l'Ibis falcinelle, la Barge à queue noire et le

Combattant varié) font état de 1 163 881 oiseaux en janvier 1997 contre 1 052 700 en janvier 2001, les sarcelles représentant respectivement 77 et 70 % des effectifs.

Dans le complexe Débo Walado, on a recensé 214 859 oiseaux en 2000-01. Toujours pour ce complexe, il ressort que :

- les effectifs les plus élevés se rencontrent chez deux espèces, à savoir le Bécasseau minute (31 802 individus en avril) et le Combattant varié (47 281 sujets en février) ;
- quatre espèces totalisent chacune plus de 10 000 individus : ce sont le Cormoran africain (10 400 en octobre), l'Aigrette garzette (10 915 en mars), l'Ibis falcinelle (10 651 en février) et le Pluvier pâtre (10 196 en juin) ;
- certaines espèces sont considérées comme vulnérables (l'Aigrette ardoisée, l'Aigrette garzette, l'Ibis sacré, la Mouette à tête grosse) ;
- d'autres sont menacées ou rares (le Pélican gris, le Blongios nain, le Jabiru d'Afrique, l'Ombrette africaine, la Grue couronnée, etc.) ;
- les effectifs des oiseaux augmentent quand les crues se retirent.

Les principales espèces migratrices sont la Sarcelle d'été, le Pilet, le Souchet et le Nyroca. L'analyse des recensements aériens effectués dans les années 1970 a abouti à la désignation du complexe Lac Débo - Walado Débo comme site Ramsar de canards.

Parmi les espèces éthiopiennes, on peut citer le Dendrocygne fauve, le Dendrocygne veuf, l'Oie de Gambie, l'Oie d'Égypte et le Canard casqué.

Dynamique des populations

La comparaison des effectifs à des dates différentes permet de voir les tendances interannuelles de certaines espèces. Ainsi, la population des ibis falcinelles qui comptait 25 000 individus en 1980 a beaucoup diminué. L'effectif total est réduit de moitié dont 30 à 80 % dans le Débo. Contrairement aux falcinelles, les populations de Barge à queue noire observent une relative stabilité (environ 40 000 individus). Il en est de même pour les populations de Combattant varié (300 000 individus). En ce qui concerne la Sterne caspienne, après le déclin dû à la sécheresse passée, on observe un rétablissement de la population (3 334 oiseaux) suite à de meilleurs niveaux de crue.

Si l'on considère les couples reproducteurs, on a une image divergente (tableau 26). Pendant que certaines sont en déclin, d'autres sont en augmentation. Enfin pour certaines, on observe une relative stabilité.

Espèces	1986/1987	1994/1996	1999/2001	État des populations
Héron garde-bœuf	63 000 - 65 000	65 000 - 90 000	50 000 –- 60 000	déc.
Cormoran africain	17 000 - 17 500	16 000 - 17 000	18 000 - 20 000	inc
Grande Aigrette	2 800 - 3 100	500 - 1 000	1 500 - 1 800	déc.
Aigrette garzette blanche	900 - 1 000	500 - 1 000	500 - 1 000	sta.
Aigrette garzette noire	80 - 110	+	80	déc. / sta.
Aigrette intermédiaire	800 - 875	>200	1 700	inc
Crabier chevelu	550 - 650	+	500	sta. ?
Aigrette ardoisée	200 - 250	150	130	déc.
B ihoreau gris	1 - 10	100 - 300	1 - 10	irr
Héron cendré	10 - 15	30 - 50	-	irr
Héron mélanocéphale	10	1 - 5	2	déc. / sta.
Héron pourpré		2 - 10	-	irr
Anhinga d'Afrique	40 - 45	15 - 30	250 - 300	inc
Ibis sacré	30 - 40	50	200 - 250	inc
Ibis falcinelle	-	150	_	irr
Spatule d'Afrique	300 - 350	50	100 - 150	inc
Bec-ouvert africain	30 - 40	0 - 1	-	déc.

Inc. = en augmentation, sta. = stable, déc. = en déclin, irr. = irrégulier.

Tableau 26 - Populations reproductrices (N couples nicheurs) des espèces d'oiseaux d'eau nicheurs des forêts inondées du delta

Les ravageurs

La Direction nationale de l'appui au monde rural (DNAMR) par son service régional (DRAMR) et ses bases phytosanitaires de Ségou et Mopti sont chargées de la mise en œuvre de la politique de protection des végétaux dans le DIN. Les informations collectées auprès de ce service font ressortir qu'en plus des oiseaux granivores et des rongeurs, le delta abrite d'autres ravageurs. Il s'agit :

- des chenilles mineuses de tiges de riz et de mil ;
- des sauteriaux dans les cercles de Niono, Macina, Ténenkou et Youwarou ;
- des cantharides dans les cercles de Niono, Macina et Ténenkou.

Les méthodes de suivi des ravageurs s'appuient sur l'existence d'un réseau de surveillance et d'alerte précoce. Des agents spécialisés répartis dans le delta, les offices et des paysans organisés en brigades villageoises d'intervention assurent la surveillance et la signalisation des ravageurs. Dans ce paragraphe, des informations détaillées seront données uniquement sur les oiseaux et les rongeurs.

Les oiseaux ravageurs

Comme toutes les zones humides, le delta intérieur du Niger constitue une aire riche et variée en espèces d'oiseaux. Cependant, les espèces qui causent des dégâts dans les rizières sont peu nombreuses et leurs méfaits peuvent être énormes (entre 3 et 6 % de la production). En zone Office du Niger, les ravageurs les plus fréquents sont les suivants :

1- Les *anatidae* ou canards

Les canards et les échassiers sont des oiseaux d'eau. Ils fréquentent les zones humides. Les canards ont généralement le bec court, souvent plat, les pattes sont également courtes. Les espèces de grande taille ont le vol lourd. Ils sont tous bien adaptés au vol et à la natation et certaines espèces sont plongeuses. Les principales espèces sont données ci-dessous :

Nom commun	Nom vernaculaire	Nom scientifique
Sarcelle d'été	Dugu-dugu	*Anas querquedula*
Canard pilet	Dugu-dugu	*Anas acuta*
Oie de Gambie	Bunuba	*Plectopterus Gambiensis*
Canard casqué	Bunu koroni	*Sarkidionis melanota*
Dendrocygne veuf	Kilili	*Dendrocygna viduata*
Dendrocygne fauve	Kilili	*Dendrocygna bicolor*

2- Les *charadriidae* (échassiers)

Les échassiers, les sarcelles et les pilets sont des migrateurs qui se reproduisent en Europe et en Asie. Ils quittent l'Afrique en mi-mars pour revenir en août – septembre - octobre. Ils fréquentent toutes les zones humides du Mali notamment le delta central du Niger, le delta mort, la zone lacustre, les mares et les lacs naturels et artificiels (Sélingué, Manantali).

Les autres canards et moineaux passent toute leur vie en Afrique. Ils sont néanmoins capables de longs déplacements selon les conditions du milieu. Pendant la période de reproduction, ces oiseaux se dispersent sur toutes les zones favorables. Parmi les échassiers, il faut retenir :

Nom commun	Nom vernaculaire	Nom scientifique
Chevalier combattant	Kala-kala	*Philomanchus pugnax*
Barge à queue noire	Kala-kala	*Limosa limosa*

3- Les *Plocidae* ou Tisserins

Les plus dangereux sont le travailleur à bec rouge (*Quelea quelea*) et le moineau doré (*Passer luteus*).

Toutes ces espèces ont un comportement grégaire, c'est-à-dire qu'elles satisfont en groupe à leurs besoins de sommeil et de nourriture. Elles peuvent ainsi former des volées de plusieurs centaines voire plusieurs milliers d'individus. Au cours de la campagne 2001-02, leur densité par hectare variait de 100 000 à 150 000.

Les rongeurs

Généralités

Les rongeurs constituent l'ordre le plus important de la classe des mammifères. Sur 4 269 espèces connues de mammifères, il existe 2 015 espèces de rongeurs (Wilson et Reeder, 1993).

Les connaissances sur les rongeurs soudano-sahéliens, et particulièrement ceux du delta, sont encore modestes notamment en ce qui concerne leur écologie et leur nuisibilité. Selon Gautun, il existe quelques 200 espèces de rongeurs reconnus comme nuisibles sur l'ensemble des régions tropicales.

Le delta intérieur du Niger abrite une grande diversité de rongeurs. On y trouve une quinzaine de genres appartenant à sept familles : les Muridae, les Gerbillidae, les Sciuridés, les Dendromuridae, les Gliridae, les Cricetomyidae et les Tryonomyidae. (Diarra W., 2003). La liste des principaux rongeurs du delta est donnée au tableau 27.

Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire	Nature des dégâts causés par l'espèce
Muridae	*Arvicanthis ansorgei*	Gunturu	Perforation des digues des casiers rizicoles
Muridae	*Dasymys spp*	Fala gon	
Muridae	*Rattus rattus rattus*	Senegal gninè	Entrepôts et stocks alimentaires
Muridae	*Rattus norvegicus*	Gon fin	
Muridae	*Mus musculus*	Sokono gninè	Objets divers
Muridae	*Nanomys spp*		Stocks alimentaires
Muridae	*Mastomys erythroleucus*	Gninè wulema	Ravageur des cultures céréalières et maraîchères
Muridae	*Myomys daltoni*	Tiga domu	
Muridae	*Lemniscomys spp*	Gninè niègè niègèma	Ravageur des cultures de décrue et des cultures maraîchères
Gerbillidae	*Taterillus gracillus*	Gninè wuleni	Ravageurs des cultures céréalières, de décrue et maraîchères
Gerbillidae	*Tatera gambiana*	Gninè wulemba	Dégâts dans les champs d'arachide
Sciuridae	*Helioscirus gambianus*	Chigèlèni	Dégâts dans les parcs à karité et à néré
Sciuridae	*Xerus erythropus*	N'gèlèni	Nuisible des champs d'arachide, de manioc, de patate
Dendromuridae	*Steatomys caurinus*	Gninè tuluma	Dégâts dans les champs d'arachide
Thrionomidae	*Thryonomis swenderianus*	Kôgninè	Dégâts dans les champs de canne à sucre
Gliridae	*Graphiurus murinus*	Bolen	Dégâts insolites
Cricetomyidae	*Cricetomys gambianus*	Toto	Dégâts en milieux habités

Source : Diarra L., 1998

Tableau 27 - Principaux rongeurs du delta intérieur du Niger

Les rongeurs colonisent différents types de milieux :

- les milieux stables avec des ressources trophiques abondantes : il s'agit, essentiellement, des périmètres rizicoles et des jardins potagers. Dans de tels milieux, le cycle biologique annuel de la dynamique des populations de rongeurs comporte trois phases : reproduction, dispersion et concentration. C'est durant cette phase que se fait la reproduction ;
- les milieux intermédiaires qui englobent les zones de culture sèche ainsi que les zones inondables. Le cycle biologique comprend quatre phases : reproduction, dispersion, sédentarisation et concentration. Pendant la sédentarisation, les individus vivent de leurs réserves jusqu'en saison des pluies ;
- les milieux arides. En plus des quatre phases précédentes, le cycle de ces milieux comporte une phase d'estivation qui survient avant la phase de concentration. Durant celle-ci, les rongeurs vivent des réserves accumulées pendant les cinq à huit mois de saison sèche.

Périodes de lutte

Dans les milieux stables, la lutte doit être continuelle. Lorsque l'on ne connaît rien de la biologie des ravageurs du milieu, le calendrier de lutte doit être établi en fonction du calendrier d'installation des cultures. La lutte est utile dans de tels milieux et doit être engagée pour amener les densités de population des rongeurs à des proportions acceptables et supportables par les écosystèmes.

Dans les champs de culture sèche, la lutte doit être engagée en fin de saison sèche/début de saison des pluies. La vitamine K1 contenue dans les végétaux verts étant l'antidote naturel des raticides, une intervention après la consommation d'herbe fraîche entraînerait un phénomène de chimiorésistance qui se transmettra aussi aux descendants, d'où la nécessité d'agir à temps en suivant les normes recommandées.

Dans les zones inondables, la lutte doit être engagée en fin de saison des pluies/début de saison sèche.

En milieu aride, la lutte doit se faire pendant la phase préestivale pour atteindre le maximum d'individus.

Dans quels cas faut-il lutter contre les rongeurs ?

La lutte se justifie en fonction de la densité des rongeurs. Quatre phases sont distinguées :

- la phase de silence où la densité se situe entre 0 et 20 individus par hectare. La lutte est inutile car le coût des produits sera supérieur aux dégâts causés par les rongeurs ;
- la phase des ravages chroniques : la densité se situe entre 21 et 40 individus par hectare. La lutte doit être commencée pour empêcher la pullulation des rongeurs ;

- la phase des ravages éclair ou phase d'explosion. Durant celle-ci, la densité est comprise entre 41 et 60 individus par hectare. La lutte est très utile sinon toute la récolte peut être compromise ;
- la phase de déclin ou de normalisation démographique. La lutte est inutile car les récoltes sont déjà dévastées. Mais, malheureusement, c'est à ce moment que l'aide internationale arrive alors qu'il n'y a plus rien à sauver. Il conviendrait donc d'orienter l'aide internationale de la phase quatre en phase deux pour orienter les projets de recherche[1].

La lutte contre les rongeurs peut être faite de façon traditionnelle (battues, effarouchement sonore, piégeage, feux de brousse, lutte chimique avec *Erythropleum guineense*).

Méthodes de lutte en zone inondable

Elle se fait en plusieurs étapes :

- Le piégeage préalable durant cinq à six nuits pour identifier les nuisibles présents et pour définir leur rayon d'action moyen. Il se fait sur des transects de 100 m avec 10 à 15 appâts par transect. Le piégeage consiste à attraper les rongeurs à l'aide de pièges dans lesquels ils sont tués lorsqu'ils tentent de manger l'appât.Ce piégeage permet aussi d'avoir l'équidistance entre les appâts empoisonnés. Il est préférable d'utiliser les anticoagulants de deuxième génération qui cumulent les avantages des poisons toxiques et ceux des anticoagulants de première génération.
- Choix des molécules en fonction des espèces : il est aussi nécessaire d'alterner les molécules pour éviter les cas de résistance. Les produits de deuxième génération les plus couramment utilisés sont :
  - les klérates (Brodiphacum) ;
  - la chlorophacinole (KCAID) ;
  - le lanirat (Bromadiolone) ;
  - le dipnenacum (Yasodion).

Méthode et indicateurs de suivi de l'abondance des rongeurs

L'évolution de la densité des rongeurs peut être suivie par la méthode dite de « capture - marquage - recapture ». Il s'agit d'installer des pièges permettant la capture de rongeurs vivants que l'on attire à l'aide d'appâts appropriés : restes de repas, concombres, pastèques, arachide, pâte d'arachide, dattes, grains de mil, sorgho ou maïs, farine de poisson séché, etc. Les appâts sont mis chaque soir vers 16 heures et les pièges seront vérifiés chaque matin entre 6 heures et 7 heures 30. Les campagnes de piégeage sont organisées sur le terrain à des moments précis de l'année : avant et après la crue, pendant la crue et en saison sèche ; soit en juillet, novembre, décembre, janvier et avril.

1 Il importe d'adopter une stratégie de contrôle des populations qui soit adaptée en fonction du cycle biologique annuel des populations de rongeurs. Pour cela, l'acquisition de connaissances supplémentaires est nécessaire car elles permettent de mettre en évidence des périodes de fragilité du cycle biologique des populations.

Il existe de nombreuses méthodes de piégeage qui peuvent différer en fonction du nombre de lignes de piégeage, des pièges et de la surface de piégeage. Les chercheurs de l'IRD proposent d'utiliser 100 pièges placés sur quatre lignes de piégeage. Les lignes seront regroupées par paire, avec un espace interlignes de 20 m et un espace interpaires de 50 m. Chaque ligne sera donc composée de 25 pièges espacés d'environ 10 m sur une aire de piégeage d'environ 250 sur 100 m. Le début et la fin de chaque ligne sont marqués et les coordonnées géographiques de chaque piège sont relevées à l'aide d'un GPS (*Geographic Positionning System*). La position des pièges posés en bout de ligne donne aussi une idée des limites de l'inondation au fur et à mesure des missions de piégeage.

Les animaux capturés sont pesés, sexés et marqués par amputation des phalangettes selon un code de marquage classique, puis relâchés à l'endroit de leur capture. La position de capture est aussi notée. Le relevé du poids au cours des missions permet de suivre les variations corporelles du poids des animaux.

Le matériel nécessaire comprend :

- un peson d'une capacité de 3 ou 400 g pour peser les animaux ;
- des ciseaux pour couper les phalangettes des animaux à marquer ;
- des fiches de données pour établir le calendrier journalier des positions des captures et des recaptures ;
- une planchette de manipulation pour les mensurations morphologiques de l'animal piégé.

L'analyse du nombre de capture-recaptures des individus renseigne sur l'importance des individus sédentaires. On suppose que les individus capturés une fois ont une probabilité plus forte d'être moins sédentaires que les individus capturés plusieurs fois. On peut calculer des indices de sédentarité.

La distance maximale entre les recaptures successives (DMR), la moyenne des distances entre les recaptures successives (DRS) et la longueur totale entre les recaptures successives (LTR) sont des indicateurs de la mobilité d'un individu (indice de mobilité).

Situation et tendances caractérisant l'ichtyofaune et la ressource halieutique ; connaissances et indicateurs

Introduction

Le poisson constitue, avec les sols cultivables et les pâturages, l'un des trois piliers des ressources naturelles de la vallée du fleuve Niger. C'est pourquoi les informations, parfois alarmistes et souvent contradictoires, qui circulent à propos de l'état de cette ressource trouvent généralement un écho important. C'est pourquoi il est

important de faire le point sur ce sujet pour le Niger malien dans son ensemble et, en particulier, pour le delta intérieur, principale région de pêche pour le Mali.

Il faut rappeler en premier lieu que, d'un point de vue biogéographique, l'ichtyofaune du fleuve Niger appartient à la province ichtyologique nilo-soudanienne (Hugueny et Lévêque, 1994). Celle-ci, bien que très vaste et formée de trois grands bassins (Nil, Tchad, Niger) et divers autres petits bassins (Sénégal, Volta et autres), a gardé une composition faunistique remarquablement homogène du fait des contacts qui sont restés maintenus entre ces bassins, soit jusqu'à une époque géologique récente (fin du tertiaire ou début du quaternaire) soit même jusqu'à l'heure actuelle (cas du mayo Kebi qui peut faire communiquer le bassin du Tchad avec celui du fleuve Niger en période de hautes-eaux). La grande taille de cette province biogéographique explique sa richesse en espèces de poissons et, en particulier, la richesse du fleuve Niger.

Le nombre d'espèces peuplant la région du Niger supérieur et du delta intérieur du Niger est en effet de 130 à 140, selon Daget (1954). Cependant, une moitié d'entre elles sont peu connues ou du moins très rarement capturées par les engins de pêche, notamment du fait de leur petite taille : c'est le cas notamment du genre Barbus. Cependant, cela ne représente qu'une part infime des quantités capturées et débarquées. En fait, ces espèces n'entrent dans la composition des captures qu'à titre accessoire et accidentel et non en tant qu'espèces ciblées. Il est clair que, concernant de telles espèces qui ne font pas vraiment partie de la ressource halieutique, il serait vain de tenter de caractériser une quelconque situation et plus encore d'essayer de dégager des tendances évolutives. Seules des missions de chercheurs spécialisés en systématique, travaillant par empoisonnement de petites portions du fleuve ou de ses bras, sont en mesure de fournir des informations sur la présence de ces espèces rares ou dépourvues d'intérêt halieutique ; et cela ne peut évidemment se faire que de façon très ponctuelle[2].

Par conséquent, l'étude présentée ici se concentre sur les espèces qui sont (ou qui étaient) rencontrées dans les captures de la pêche ; c'est-à-dire un nombre d'espèces qui n'excède pas 80. Il s'ensuit qu'il est très difficile de répondre de façon absolue et sans aucun biais à la question « y-a-t-il des espèces de poissons qui ont disparu du fleuve Niger au cours des dernières années ou décennies ? ».

Par contre, il est possible de s'interroger sur le fait de savoir si, parmi les espèces mentionnées comme pêchées il y a quinze ou soixante ans, certaines se sont raréfiées (voire même n'apparaissent plus du tout) dans les captures. La réponse à cette question, qui peut être abordée en termes d'occurrence ou de fréquence d'occurrence, constitue la première partie de l'étude.

La deuxième partie s'intéressera à la situation et aux tendances affectant les populations toujours présentes : Y-a-t-il baisse d'abondance ? ou bien changement de

2 Il faut noter que ces missions de prospection scientifique permettent de temps à autre et jusqu'à récemment (années 1990) de trouver et de décrire de « nouvelles » espèces. Elles permettent aussi de revoir la taxonomie des espèces existantes grâce à l'examen de spécimens nouvellement capturés en meilleur état que les holotypes conservés dans les bocaux de formol des muséums.

structure démographique, par exemple moins de grands spécimens ? Si oui, est-ce inquiétant ? Sur ces points, nous essaierons de fournir des modèles explicatifs, hypothétiques ou validées, ainsi que des indicateurs pour les suivis à venir.

Disparition, raréfaction ou apparition d'espèces dans les captures

Pour étudier l'évolution de la composition spécifique des captures dans la région la plus pêchée du fleuve Niger au Mali, qui est celle du delta, on peut se baser sur les travaux de Daget (1954), de Quensière *et al.* (1994), de Laë (1995), de Kodio *et al.* (2002) ainsi que sur la synthèse de Laë *et al*. (2004). Les périodes d'observation vont de 1945 à 2004, ce qui donne un recul d'une soixantaine d'années, s'échelonnant sur plusieurs phases du développement de la pêche et sur plusieurs périodes hydroclimatiques.

Espèces qui semblent avoir disparu ou quasiment disparu

Hepsetus odoë est une espèce prédatrice de grande taille qui était encore présente en 1988 dans le souvenir des vieux pêcheurs du Delta. D'ailleurs Daget (1954) déclare que ce poisson « se rencontre assez fréquemment dans les mares de la zone d'inondation mais rarement dans le fleuve proprement dit » et il en décrit un certain nombre d'exemplaires capturés pendant son séjour commencé en 1945. Si l'on en croit la carte fournie par Lévêque *et al*. (1992), le moyen Niger et le delta constitueraient la limite nord de l'aire de répartition de l'espèce, laquelle serait plus typique « du haut cours des fleuves et des petites rivières, là où les *Hydrocyons* sont absents ou peu abondants » (or, il faut rappeler ici que les *Hydrocyons* sont abondants dans le cours moyen du fleuve Niger). Quoiqu'il en soit, cette espèce semble aujourd'hui avoir totalement disparu du cours moyen du fleuve Niger, ou du moins du delta intérieur – aucune capture n'ayant été signalée lors des études du GP DCN (1988-92) ni dans la période de l'observatoire de la pêche (1994-2001).

Une autre espèce, *Arius gigas*, appartenant à la famille essentiellement estuarienne et côtière des *Ariidae*, était selon Daget (1954) « devenue rare dans le Niger supérieur », alors qu'on pouvait encore « le rencontrer couramment en aval du lac Debo ». D'ailleurs de vieux pêcheurs interrogés en 1988 gardaient un souvenir précis de cette espèce (« dont les grands individus atteignaient la taille d'un enfant ») et évoquaient une période ancienne de plus grande fréquence qui remonterait donc au début du XXe siècle. Aujourd'hui, *Arius gigas* est devenu encore plus rare qu'au temps des études de Daget, bien qu'un individu capturé ait été observé en 1990 lors des études GP DCN et que deux autres l'aient été plus récemment (en 1994-95) aux environs de Batamani (40 km nord Mopti) lors des suivis de l'observatoire de la pêche.

S'il n'est pas exclu que ces deux espèces aient pu représenter dans un lointain passé une part significative des captures, cela ne peut plus être vérifié ni même vraiment discuté aujourd'hui. Tout au plus peut-on rappeler que le premier boom de l'exploitation halieutique (augmentation de l'effort de pêche) remonte à la fin des années 1920 (Fay, 1994). Ces deux espèces, de grande taille et de niveau trophique élevé, ont pu être les victimes précoces du franchissement d'un premier palier de pression anthropique, mais elles ont également pu pâtir d'autres phénomènes non élucidés (climatiques, pathologiques ou autres) et il est aujourd'hui bien difficile de tirer de quelconques conclusions concernant l'évolution négative qu'elles ont subie.

Espèces ayant subi une forte diminution durant la période historiquement connue de la pêche dans le delta

Trois espèces ou taxons ont fortement baissé depuis les études de Daget (années 1945 à début 1960) et plus particulièrement depuis les années soixante : il s'agit de *Gymnarchus niloticus*, de *Parachana obscura* (ex *Parophiocephalus obscurus*) et d'*Heterotis niloticus* et de trois espèces du genre *Polypterus (P. senegalensis, P. bichir et P. endlicheri).*

Pour ce qui concerne la première (*G. niloticus*), le phénomène est d'autant plus remarquable qu'il s'agissait d'une espèce « pas rare dans certaines parties du delta central » et « même très commune au nord, à hauteur de Niafunké » (Daget, 1954). Sans être abondante, elle était très prisée par la pêche et par les consommateurs mopticiens jusqu'aux années soixante[3]. Ce poisson de grande taille, à l'allure et aux mœurs très particulières (vivant dans les grandes herbes aquatiques, construisant un gros nid et capable de le défendre par un comportement agressif, y compris vis-à-vis des humains…), semble avoir subi de plein fouet la réduction de son biotope palustre, constitué d'eaux calmes bordées d'une ceinture de graminées sauvages et dont on peut dire qu'il est aujourd'hui devenu fort restreint dans la région deltaïque. À partir des années 1980, elle disparaît des statistiques de commercialisation à Motpi (Quensière *et al*., 1994). Un individu a toutefois été observé lors des études du GP DCN (1989-91). La pêche n'a certes pas joué dans le sens du maintien des populations deltaïques de cette espèce. Mais, le fait que cette espèce soit aujourd'hui régulièrement capturée dans les régions plus amont du bassin (lac de Sélingué, Haut-Niger guinéen) qui subissent, pour certaines d'entre elles, une forte pression de pêche laisse penser que le facteur environnemental a joué un rôle prépondérant dans la baisse constatée. Quoiqu'il en soit, compte tenu de ce qui vient d'être écrit, il n'y a pas lieu d'être inquiet dans l'immédiat pour l'avenir de cette espèce puisqu'elle reste bien implantée dans le bassin et qu'elle conserve, en certaines zones hors delta, d'importantes populations.

Le cas de *Parachana obscura* semble présenter certaines similitudes avec le précédent, mais il est mal connu. Selon Daget (1954), « cette espèce n'est pas très fréquente », sauf « dans les herbes qui entourent certaines mares ». À vrai dire, cette espèce très discrète n'a jamais du être importante dans les captures et n'a d'ailleurs jamais donné lieu à une rubrique dans les statistiques de débarquement à Mopti, même à la fin des années 1960 et au début des années 1970 (c'est-à-dire avant la sécheresse). Elle n'est pas signalée non plus dans les données récentes de Laë (études du GP DCN, 1990-92) ni dans celle de l'observatoire de la pêche (1994-2001).

Le cas d'*Heterotis niloticus* est mieux connu. Cette espèce apprécie les eaux permanentes stagnantes ou calmes avec un attrait particulier pour la présence de fonds vaseux et d'une abondante végétation de rive. Comme ce type de milieu est devenu rare dans le delta, il n'est pas étonnant de constater que cette espèce ait diminué en abondance – mais dans une moindre mesure que la précédente puisque des

3 Notons aussi que cette espèce semble bien correspondre aux descriptions faites par René Caillé concernant un poisson allongé, à peau lisse sombre et à chair rouge, communément pêché et consommé au début du XIXe siècle dans les régions mandingue et soudanienne (aujourd'hui Guinée et Mali).

débarquements sont encore régulièrement enregistrés dans les enquêtes de terrain et au port de Mopti. Cependant, *Heterotis niloticus* est en même temps devenu l'une des espèces « piliers » de l'ichtyofaune des milieux aquatiques nouvellement créés comme les grands canaux de l'Office du Niger. Contrairement à *Gymnarchus,* elle semble en effet apprécier l'environnement des rizières modernes. D'autre part, elle est en relative abondance présente dans le bassin amont (lac de Sélingué et Haut-Niger guinéen). Dans ces différentes zones, cette espèce suscite une pêche intensive avec d'excellents résultats (forte proportion d'individus de grande taille). L'avenir de cette espèce semble donc assuré dans la partie malienne du bassin du Niger, mais seulement là où seront maintenus des milieux naturels favorables à son développement qu'ils soient naturels ou artificiels.

Les trois espèces de *Polypterus (P. senegalensis, P. bichir et P. endlicheri)* ont souffert de la réduction des milieux palustres permanents. Cependant, si les deux dernières qui étaient déjà « assez rares » à l'époque de Daget ne sont pratiquement plus observées de nos jours, *P. senegalensis* reste localement commune là où ce type de milieu s'est maintenu, par exemple aux environs de Korientzé (nord du delta). Elle y a été observée à de nombreuses reprises dans les captures des pêcheurs lors des enquêtes de l'observatoire de la pêche, entre 1994 et 2001.

D'autres espèces, telles que Bryenomirus niger (ex Gnathonemus niger), Brycinus macrolepidotus, Citharinus citharus, Distichodus spp., Marcusenius senegalensis et Clarotes laticeps se sont considérablement raréfiées durant les années de grande sécheresse, comme le constataient Quensière et al. (1994) puis Laë (1995, et al. 2004) à partir de sources de données différentes. Mais les populations des quatre dernières citées ont repris beaucoup de vigueur depuis 1994 (d'après la base de données de l'observatoire de la pêche) avec le retour de crues moyennes voire bonnes. Les deux premières restent toutefois rares.

Enfin, le groupe des *Synodontis* a connu une baisse quantitative importante de sa contribution aux captures commercialisées depuis la fin des années 1960, sans toutefois connaître de « disparition » dans les espèces rencontrées.

En résumé, la liste des espèces couramment pêchées dans le Niger moyen malien s'est peu modifiée au cours des trois ou quatre dernières décennies. Les deux seuls cas de disparition ou quasi-disparition constatés semblent être intervenus de façon plus ancienne, entre le début du XXe siècle et les années 1960. Pour les autres cas, il s'agit plutôt de disparitions locales (liées notamment à la quasi-disparition d'un type de milieu particulier : les ceintures palustres de hautes graminées sauvages autour de pièces d'eau permanentes de type « mares ») ou bien de simples fluctuations quantitatives en relation assez évidente avec les changements hydroclimatiques.

Des espèces qui augmentent dans les captures, et d'autres qui fluctuent

Le fait que des espèces contribuent significativement aux captures débarquées aujourd'hui alors qu'elles en étaient absentes (ou n'y étaient pas explicitement signalées) hier ne signifie certes pas qu'elles soient nouvellement apparues dans l'écosystème du fleuve Niger. En effet, il est admis que l'intensification de l'exploitation provoque un élargissement du spectre d'espèces ciblées par les pêcheurs

(Laë *et al.*, 2004) pour le cas des lacs de Sélingué et Manantali. Cependant, il est intéressant de constater qu'un certain nombre d'espèces telles que les *Chrysichtis spp.* apporte aujourd'hui une contribution notable aux captures commercialisées alors qu'elles y étaient très peu représentées à la fin des années 1960.

Dans le même ordre d'idée, il semble que la part relative des *Clarias spp*. – qui a, certes, été toujours notable – tend à s'accroître encore au fil des décennies, passant de 2 % à la fin des années 1960 à 10-18 % dans les années 1990.

Quant aux *Labeo spp*. et aux *Cichlidae* (les « tilapias » *lato sensu*), ils restent des piliers de la ressource halieutique avec des fluctuations mineures de leur contribution relative aux captures qui restent toujours très importantes (entre 8 % et 20 %). Le *Tilapia zilli* se montre en particulier très dynamique dans la reconquête de terrains « difficile » tels que les lacs du nord-est au moment de leur remise en eau fin 1994 ou bien les casiers endigués de l'Office Riz de Mopti lors de leur mise en eau chaque année.

Un cran en dessous dans l'ordre d'abondance, un certain nombre d'espèces se maintient bien : les grands *Mormyridés* (notamment *Mormyrus rume*), les poissons-chiens (*Hydrocynus spp.*), le capitaine *Lates niloticus*, les *Auchenauglanis spp.* et les *Bagrus spp*. Quant aux petits *characidae* pélagiques (*Alestes spp., Brycinus nurse, B. leuciscus*), ils peuvent être très abondants mais seulement lors des campagnes qui suivent les bonnes crues. Ils connaissant par conséquent de fortes variations interannuelles.

Conclusions sur les changements intervenus et sur la diversité actuelle des captures

La liste des espèces capturées est relativement stable à l'échelle du Niger malien (delta et Niger amont) depuis la fin des années 1960 malgré des fluctuations dans les rapports de quantité. Il faut noter que cette liste reste longue puisqu'elle comporte toujours plus de quatre-vingt espèces et que la diversité des captures reste remarquablement élevée. En effet, si l'on se base sur les données de Laé (1995) ou de Kodio *et al.* (2002), on constate qu'il faut lister 13 ou 14 espèces pour obtenir 80 % des quantités capturées dans le delta intérieur du Niger alors que, dans d'autres milieux, ce chiffre se situe plutôt autour de 7 (lac de Manantali) ou de 9 (lac de Sélingué) (Laë *et al.*, 2004). On peut donc dire que la ressource halieutique reste diversifiée dans la région du delta, traduisant une richesse de milieu encore élevée malgré les atteintes portées, de façon certaine, par les années de sécheresse et, peut-être, par l'emprise de la riziculture intensive.

Quels indicateurs de l'évolution de la richesse/diversité spécifique ?

Pour apprécier l'évolution de la composition ichtyfaunistique, deux indicateurs simples mériteraient d'être suivis à l'avenir.

1- « La richesse des captures en nombre d'espèces ». Cet indicateur pose cependant des problèmes dans la mesure où quelques espèces sont peu fréquentes, rares ou même très rares, et que cela crée une relation entre le nombre d'observations (nbre d'enquêtes de retour de sortie de pêche réalisées) et le nombre d'espèces enregistrées

(*cf.* problème classique de la courbe aire/espèce en écologie terrestre). On pourrait convenir que cette richesse est déterminée, en une zone donnée, par le nombre d'espèces trouvées au cours d'un nombre fixé n (deux cent ?) d'enquêtes de capture réparties sur toute la gamme de techniques, sur toutes les saisons et dans les quatre principaux milieux (fleuve, plaine, chenal-bras, mare).

2- « L'assise biologique de la pêche », dont on vient de proposer supra une définition possible et aisément calculable : le nombre d'espèces qu'il faut prendre en compte pour obtenir 80 % des quantités débarquées.

Évolution des abondances et des structures démographiques

Quel phénomène de baisse ?

La « baisse des ressources halieutiques » ou « l'épuisement des ressources halieutiques » sont des lieux communs des communications de presse et de radio sur l'environnement du fleuve Niger. Et l'invocation de « la surexploitation » comme cause majeure de tels phénomènes supposés se retrouve citée dans presque tous les cas.

Il est important de clarifier cette notion de « baisse de la ressource » pour pouvoir en discuter les causes possibles et pour pouvoir émettre des explications causales à partir des faits observés et des données disponibles.

Précisons tout d'abord que, compte tenu de la durée de vie (brève) et de la fécondité (élevée) des poissons de la province nilo-soudanienne, la ressource poisson dans un fleuve à régime tropical comme le Niger est davantage assimilable à un « flux » de biomasse constamment renouvelé (approximativement à l'échelle d'un turn-over/an) qu'à un « stock », mot qui évoque un renouvellement lent comme cela peut être le cas pour certaines nappes phréatiques ou pour les stocks ligneux constitués des forêts de grands arbres.

La première cause envisageable d'une « baisse de la ressource » doit donc être recherchée du côté d'une éventuelle baisse du flux de la production naturelle de biomasse.

Or, en examinant toutes les données disponibles (à savoir celles des études par enquêtes échelonnées sur de nombreuses années sur les zones de pêche, comme celles obtenues par traitement de la longue série de statistiques de commercialisation à Mopti, OMP) on constate que la productivité en poisson du delta ne se détériore pas de façon particulière, dans le sens où elle reste strictement corrélée à l'indice de crue (figure 30). Les valeurs observées concernent, certes, la production annuelle halieutique débarquée et non pas le flux de production naturelle *stricto sensu*. Mais, seule l'hypothèse d'une production naturelle se maintenant aussi bien que la production débarquée peut expliquer la persistance sur une aussi longue période (atteignant le tiers de siècle) de la qualité de la relation statistique entre indice de crue et capture débarquée totale ou entre surface inondée et capture débarquée totale.

Depuis 1994, les indices de crue sont, en moyenne, un peu meilleurs que durant la période 1973-93 et ils sont surtout assez irréguliers d'une année sur l'autre

(figure 31). Ce qui permet de vérifier le bon « fonctionnement » de la relation crue-captures, soit avec les observations de quantité en transit à Mopti (statistiques OPM), soit avec les observations de capture par effort sur les zones de production (données de l'Observatoire de la Pêche).

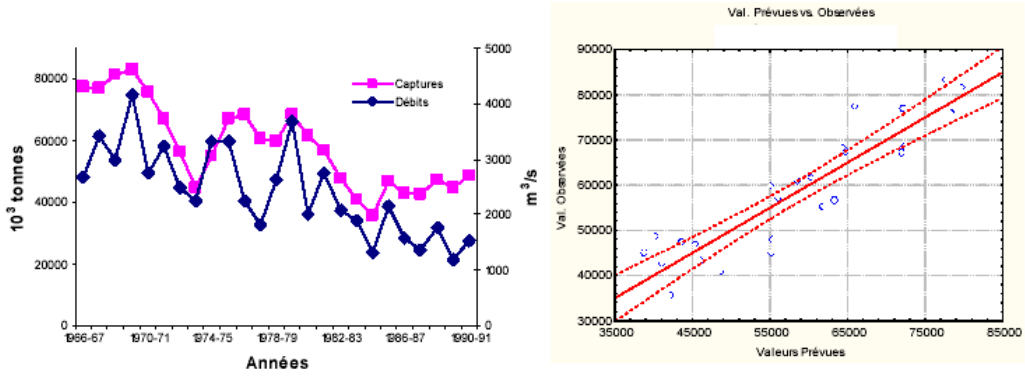


Figure 30 - Évolution des débits et des captures totales estimées dans le delta intérieur du Niger, entre 1966-67 et 1990-91. Un modèle statistique empirique peut être écrit ainsi : « Capture totale/an = A.Débit annuel + B ». Les valeurs de capture prévues par ce modèle sont exposées figure de droite en regard des valeurs observées. Le modèle est manifestement prédictif

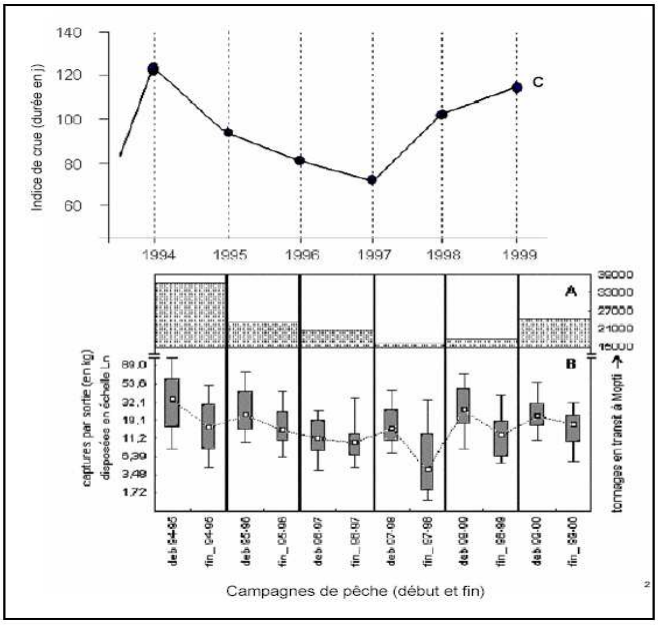


Figure 31 - En haut, courbe C : indices de crue (en nombre de jours au-dessus de 4,50 m à Mopti) pour les crues des différentes années. En bas, courbe A : quantités en transit commercial à Mopti par campagne lato sensu (de décembre chaque année « t » à novembre de l'année « t+1 »), en tonnes d'équivalent poids frais. En bas, courbe B : évolution des CPUE (captures par sortie) enregistrées par l'Observatoire de la Pêche sur les zones de production, pour chaque moitié de campagne active (respectivement début de campagne active : 1er décembre - 15 mars ; fin de campagne active : 15 mars, 31 juillet). La ligne pointillée joint les valeurs médianes des distributions observées, les limites inférieures et supérieures des boîtes sont aux niveaux des percentiles 25 et 75 % et celles des « moustaches » aux niveaux des percentiles 10 et 90 %. Les résultats des campagnes (courbes A et B) sont clairement corrélés aux indices de crue au-dessus (courbe C)

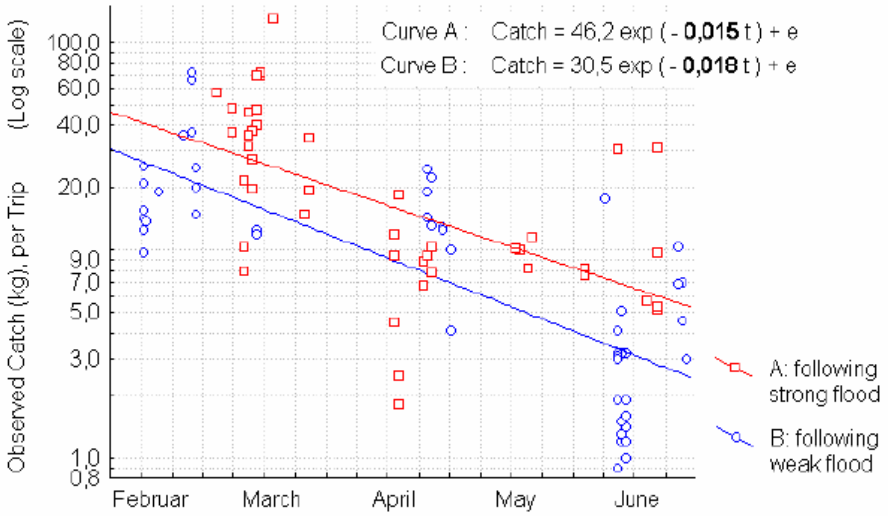
L'hypothèse de détérioration du flux annuel produit par unité de surface active (aquatique) d'écosystème étant écartée, il reste à s'interroger sur ce que recouvre le sentiment de baisse « ressenti » par les pêcheurs. Cette baisse peut être appréciée et discutée à partir de données objectives : les captures par unité d'effort (CPUE) ou quantités de poisson capturées par unité d'effort de pêche (par exemple par sortie d'un jour avec un certain type d'engin). La CPUE étant une donnée facile à observer, les hypothèses qui concernent ses variations sont faciles à discuter et à vérifier (ou à réfuter). Que peut-on dire à ce sujet :

- plus il y a de pêcheurs (et donc de sorties de pêche), moins la production capturée par pêcheur ou par sortie est élevée, pour une production totale annuelle donnée ;
- si la production naturelle totale baisse pour une année donnée, par exemple à la suite d'une crue très faible ne permettant guère d'inondation, alors la CPUE baissera mécaniquement par effet de ratio si le nombre annuel de pêcheurs et de sorties de pêche reste constant (*cf.* figure 31 et infra) ;
- à l'intérieur d'une même campagne annuelle de pêche (entre décembre et juin) qui équivaut comme on l'a écrit par ailleurs (*cf.* infra et Kodio *et al*., 1999) à la « récolte » d'une génération de poisson, la CPUE baisse au fur et à mesure de l'avancement de la campagne, un peu comme pour une récolte agricole : en fin de récolte il ne reste plus que quelques épis épars au sol ! Le phénomène est particulièrement intéressant à suivre entre février et juin (figure 32) puisque le volume d'eau est alors approximativement constant. Ce qui fait que la pente de la courbe de décroissance exponentielle donne pratiquement le taux de réduction journalier de concentration de la ressource (qui atteint 1,5 à 1,8 % par jour) dont la majorité est sans doute imputable à la pêche et le reste à la prédation (notamment par les oiseaux).

Les trois phénomènes qui viennent d'être décrits constituent les trois explications majeures des baisses d'abondance ressenties par les pêcheurs et relayées par les medias. Mais ils sont bien distincts :

- le premier agit à long terme et apparaît sous l'effet de la tendance pluridécennalle d'accroissement de la population : il y a deux fois plus de pêcheurs aujourd'hui qu'il y a trente ou quarante ans. Par conséquent, pour une production totale donnée, la production annuelle par pêcheur (ou par unité de travail de pêcheur) est forcément plus faible, en moyenne, et ceci suffit amplement à justifier le sentiment de baisse d'abondance des poissons (et surtout des revenus) dont se plaignent les pêcheurs ;
- le second agit à l'échelle interannuelle et provoque les constats de baisse drastique de CPUE lors des campagnes de pêche qui suivent les crues déficitaires : si la production naturelle baisse mécaniquement avec le déficit de surface inondée, alors la production capturée, et par suite la production par pêcheur (ou par unité de travail de pêcheur), baissera dans les mêmes proportions (en faisant l'hypothèse que le nombre de pêcheurs et leur quantité de

travail sont restés constants : ce qui est approximativement le cas si l'on considère un intervalle court d'une année sur l'autre)[4] ;



Source : Morand et Kodio, 2004

Figure 32 - Courbe de déplétion des CPUE pour les filets dormants durant l'étiage, sur la base des données de 1995 à 2000.
Étiages de 1997 et de 1998 (qui suivent de faibles crues) : courbe bleue ; Etiages de 1995, 1996, 1999 et 2000 (qui suivent des crues moyennes ou bonnes) : courbe rouge

- le troisième agit à l'échelle saisonnière : en fin de campagne de pêche, c'est-à-dire vers fin mai et juin (voire même début juillet si les pêcheurs tentent de prolonger la campagne), la déplétion de la ressource est très forte : les poissons nés lors de la crue précédente ont déjà été capturés (pour les 2/3 ou les 3/4 d'entre eux) et ceux de la génération suivante ne sont pas encore nés ou sont encore à l'état de larves ou de juvéniles non capturables. Il s'ensuit que, pour quelques semaines, il n'y a plus rien dans l'eau ou presque (sauf quelques gros poissons cachés dans les trous, trop vieux et trop expérimentés pour se laisser prendre !). Par conséquent, les prises par sortie sont catastrophiques, tombant parfois aux alentours de 2 ou 3 kg/sortie seulement ! Ce phénomène est évidemment très provisoire, mais il peut être perçu et relaté sur un mode dramatique (à l'instar, d'ailleurs, de l'ensemble du tableau environnemental sahélien en fin de saison sèche) par des observateurs peu expérimentés.

Bien que tout à fait distincts, ces trois phénomènes alimentent, de façon confondue, les cris d'alarme sur l'état des ressources halieutiques du fleuve Niger. Ceci est très dommageable, car cela conduit à de nombreux travers dans les perceptions (par le grand public) et les appréciations (par les gestionnaires).

4 Mais ce phénomène peut agir aussi dans l'autre sens : si la crue est forte, la capture totale et les CPUE seront meilleures lors de la campagne qui suit. Il reste que la psychologie humaine est ainsi faite que les pêcheurs préfèrent diffuser l'information sur ce qui leur est défavorable et rester discrets sur ce qui leur est agréable.

- Il y a le risque, d'une part, d'un effet anesthésiant de type « crier au loup » qui démobiliserait le public à force de cris d'alarme (« y'a plus de poisson dans le fleuve ») régulièrement démentis par les faits lorsqu'une bonne crue se présente et qu'elle est suivie quelques mois plus tard par des quantités de poissons débarquées en masse au port de Mopti. Si bien que, lorsque de vrais problèmes de préservation se poseront, le public, blasé, pourrait ne plus être prêt à se mobiliser.
- Il y a la confusion, d'autre part, entre les phénomènes qui ne permet pas aux gestionnaires de bien identifier les types de solutions qui doivent être recherchées.
  - Sur le premier point, il s'agit d'un problème à long terme et démographique : que peut-on faire pour éviter que la croissance du nombre de pêcheurs suive la courbe démographique ?
  - Sur le second point, il existe deux parades : la première est de mieux prévoir (pour permettre aux acteurs d'anticiper les variations de quelques mois et de ne pas investir à tort), la seconde est de faire en sorte que les pêcheurs ne soient pas privés de leur possibilité de flexibilité d'activité (pêche/riziculture) en fonction des conditions hydroclimatiques et, également, de leur autoriser une certaine mobilité géographique.
  - Sur le troisième point, il s'agit d'un problème de régulation de l'effort pour éviter le phénomène de « course au poisson ». Une politique de laisser-faire conduit en effet les pêcheurs à s'équiper de plus en plus et à développer une activité débridée dès le démarrage de la campagne pour prendre le poisson avant que les autres pêcheurs n'en fassent autant : ce qui fait que les prises (et les CPUE) s'effondrent ensuite en deuxième moitié de campagne. Avec une activité régulée et plus étalée dans le temps, on pêcherait, avec un équipement plus modeste, une quantité équivalente de poissons (sur la durée totale de la campagne), sans doute un peu plus gros en termes de taille individuelle moyenne (donc avec un prix spécifique plus élevé) et on fournirait plus régulièrement le marché en évitant le pic de surproduction de janvier et la chute des prix qui l'accompagne. La solution passe donc par une meilleure gestion/répartition de l'effort au niveau de la campagne annuelle. Ceci suppose que des accords sur une certaine régulation de l'activité soient établis et appliqués, notamment avec la participation des organisations professionnelles.

Structures démographiques : baisse des tailles et rajeunissement des populations de poissons

Moins médiatisé que la baisse de la ressource halieutique, le phénomène de raréfaction des individus de grande taille est régulièrement évoqué (au titre des doléances) par les pêcheurs et les mareyeurs lors des enquêtes de terrain ou au cours des ateliers participatifs. Ce phénomène est patent et incontestable si l'on compare les structures de taille actuelle et passée dans le delta, pour des espèces précises (figure 34), ou bien si l'on trace les distributions de taille actuelle dans le delta en regard de ce qu'elles sont ailleurs dans le bassin du Niger, notamment dans des zones plus en amont subissant une pression de pêche plus récente ou plus faible (figures 33a et 33b).

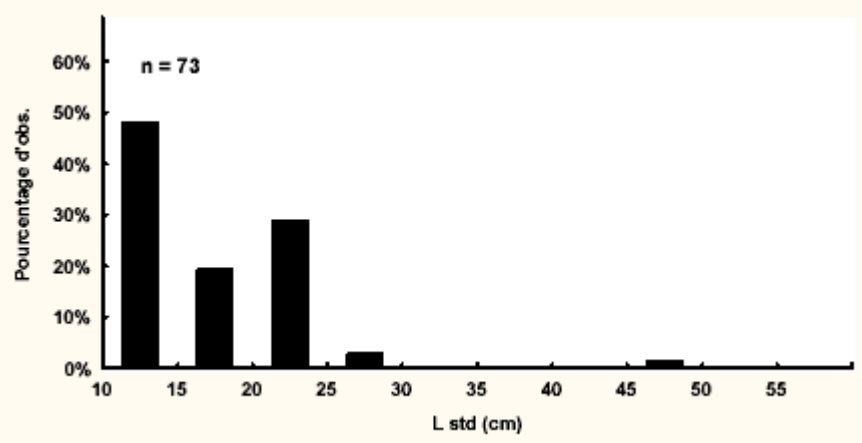


Figure 33a - Structure de taille (longueur standard) des Lates niloticus mesurés dans les échantillons de capture de l'Observatoire de la Pêche, entre 1994 et 2000, dans le delta intérieur du Niger

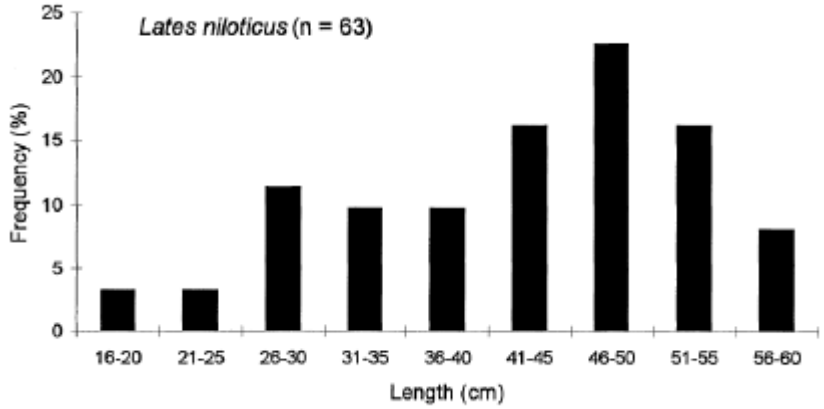
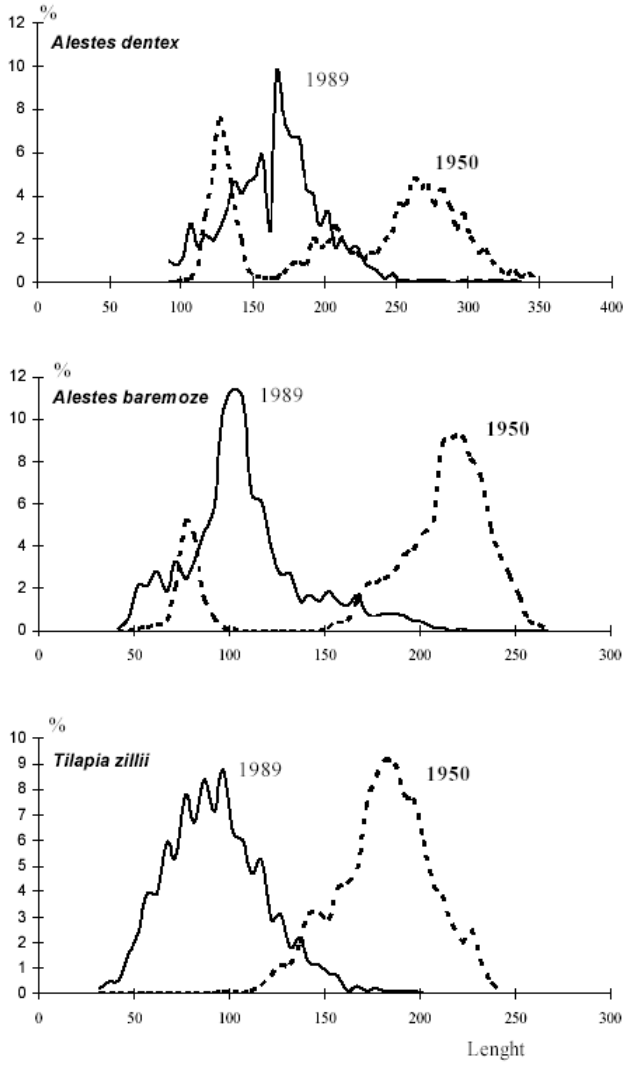


Figure 33b- Structure de taille (longueur standard) des *Lates niloticus* mesurés dans les enquêtes de retour de pêche réalisées en 1996 dans le Niger supérieur guinéen

Compte tenu de ce que l'on sait des courbes de croissance des différentes espèces, on peut d'ailleurs évaluer la proportion d'individus d'âge supérieur à 1 an à moins de 30 % des captures, toutes espèces confondues ; ce qui signifie que la majorité des poissons sont pêchés au cours de leur première année, c'est-à-dire alors qu'ils appartiennent à la classe d'âge « 0+ ». L'explication de ce phénomène de réduction des tailles est bien connue (Morand et Bousquet, 1994 ; Welcomme, 1999) : les populations naturelles intensivement exploitées voient baisser l'espérance de leurs individus et, par conséquent, chuter la proportion d'individus âgés, lesquels sont aussi les plus gros puisque les poissons ont une courbe de croissance quasi-illimitée. Au terme du processus d'intensification d'exploitation, la pêche se transforme par conséquent en une activité de « fauche » précoce des jeunes individus, souvent dans leur première année, comme c'est le cas aujourd'hui dans le delta intérieur du Niger. Cela ne nuit pas à la production naturelle et cela peut même la favoriser dans la mesure où les populations jeunes comportent davantage d'individus en pleine croissance et capables d'un taux d'assimilation élevé. C'est ce qui explique, finalement, le maintien de la production par unité de surface aquatique, alors même que l'effort de pêche ne cesse de s'accroître

dans le delta depuis plusieurs décennies : tout se passe comme si l'on n'atteignait jamais la « surexploitation vraie » au sens d'une atteinte aux capacités de renouvellement de la ressource. Car, du fait de la haute fécondité de la plupart des espèces de ces milieux[5], il y a toujours suffisamment de reproducteurs survivants en juin, en fin de campagne de pêche, pour assurer le remplacement des générations en produisant la progéniture capable d'exploiter pleinement des possibilités biotiques (offres de nourriture) offertes par la crue suivante.



Source : Laë *et al.*, 2004

Figure 34 - Évolution des structures de taille de plusieurs espèces d'intérêt halieutique entre les années 1950 (études de Daget) et les années début 1990 (études GP DCN)

5 Cette dernière assertion, valable pour un grand nombre d'espèces, ne l'est pas de façon absolue pour toutes : celles qui pondent peu d'œufs, notamment celles qui font des nids et s'occupent de leurs jeunes, ont moins de capacité de reconstituer leur population en cas d'exploitation intensive. Il faut noter d'ailleurs que plusieurs de ces espèces (comme Gymnarchus, Polypterus spp) semblent en effet être en difficulté (voir supra). Il apparaît que la taille au niveau du mode (pic de la distribution) est aujourd'hui deux fois plus faible que dans les années 1950.

Si le phénomène de résistance, ou résilience, de la ressource apparaît très solide, il n'a cependant pas que des avantages : les poissons de petite taille ont une valeur spécifique (par unité de poids) moindre, dans la mesure où ils ne sont pas commercialisables en frais (en 2002, un gros Capitaine valait 600 Fcfa/kg, un Tilapia de 12 cm n'en valait que 300 et un *tineni* 150). À égalité de poids total, mieux vaut produire de gros poissons que des petits !

Quels indicateurs de l'abondance de la ressource et de sa structure démographique ?

Les indicateurs sont, ici, bien connus par les spécialistes et ce sont ceux qui sont utilisés dans la présente étude : tonnages capturés ou commercialisés par année, CPUE (moyenne ou médiane), structure de taille des individus capturés (taille moyenne ou bien position du mode).

Conclusion

L'examen des données disponibles sur les poissons du fleuve Niger au niveau du delta et du Mali montre que la ressource halieutique présente aujourd'hui un aspect différent, dans sa structure spécifique et dans sa structure de taille, de celui qu'elle avait dans les années 1950 et même à la fin des années 1960. Si très peu d'espèces ont disparu (et sans doute de façon locale), certaines se sont considérablement raréfiées tandis que la part relative d'autres espèces a augmenté. Par ailleurs, les populations de poisson ont acquis une structure « rajeunie » caractérisée par une dominance des individus jeunes de faible taille alors que les gros individus sont devenus rares. Si les changements qualitatifs semblent surtout liés à la perte de certains types de milieux naturels, les changements de structure démographique semblent, quant à eux, être bien le résultat direct de la pêche.

Mais on constate aussi que, pour l'instant, ces différents changements ne semblent en rien menacer la ressource en tant que « machine à produire des protéines » : la production (en tonnes par an) ne baisse pas, ou du moins elle est toujours proportionnelle à l'inondation. Les « baisses de ressource » régulièrement annoncées ou dénoncées ne sont que des phénomènes provisoires ou bien des artefacts liés à la méthode d'appréciation (par exemple, l'excès de focalisation sur les captures par unité d'effort).

Toutefois, il existe un certain nombre de « dommages » liés à ces évolutions :

- on peut regretter, d'une part, pour des raisons éthiques, la perte ou la raréfaction forte de certaines espèces qui avaient souvent des types bio-écologiques originaux même si elles n'étaient pas « performantes » ni « résistantes » en tant que ressource ;
- on peut diagnostiquer, d'autre part, de façon certaine, une perte de valeur économique de l'ordre de 30 % par baisse des tailles moyennes des individus capturés.

Une gestion plus précautionneuse de la pêche est donc nécessaire. Cependant, cette gestion de la pêche – qui se fera d'abord dans l'intérêt immédiat des pêcheurs (en faisant remonter les CPUE) – doit absolument être accompagnée d'une préservation des

milieux naturels du delta, notamment des plaines inondables librement accessibles aux poissons. Car, c'est bien la réduction ou la disparition de ces milieux qui pourrait porter, dans les années à venir, une vraie atteinte à la ressource dans sa fonction majeure qui est celle de produire des protéines prélevables.

Tendance des ressources et de l'environnement abiotique

Problématique de l'ensablement dans le bassin du Niger

Les habitants des villages et des villes le long du fleuve sont en particulier inquiets, d'une part, par l'envahissement des champs et des habitations par le sable éolien après les tempêtes de sable et, d'autre part, par la formation rapide de bancs de sable et d'îles sableuses dans le chenal principal du fleuve par érosion hydrique. Les dunes bordant le fleuve se sont déplacées de plusieurs dizaines de mètres dans le lit majeur, réduisant l'espace agricole traditionnellement consacré à la riziculture irriguée par submersion naturelle. Cette situation est aggravée par les rares cours d'eau temporaires coulant en saison pluvieuse et qui déversent une bonne quantité de sable dans le lit majeur.

Du fait de la réduction des zones inondées, les paysans ont installé de nouveaux champs dans le lit mineur du fleuve en détruisant la végétation naturelle, ce qui a entraîné une plus forte érosion des berges et du lit dans plusieurs biefs.

Les causes et conséquences de l'ensablement du fleuve Niger sont diverses ; elles se renforcent les unes et les autres. On peut retenir parmi les plus importantes : la sécheresse, la désertification et la pression de l'homme et du bétail sur l'environnement. Parmi les effets directs, on peut citer des villes et des villages menacés, des espaces agricoles réduits, une plus forte migration des populations et du bétail vers des régions plus humides et plus riches en ressources naturelles et une navigation rendue plus difficile sur le fleuve.

La démarche adoptée pour aborder la problématique de l'ensablement se base sur une démarche « bassin versant » qui prend en compte à la fois l'ensemble des ressources naturelles, leurs modes d'exploitation et les facteurs de la dégradation. Il ne s'agit donc pas seulement, ici, de traiter *stricto sensu* de l'ensablement du lit du fleuve (qui se remarque, entre autre, par la dégradation et l'éboulement des berges, la formation/déplacement de bancs de sable, la formation d'îlots de plus en plus nombreux, etc.), mais, aussi, de tenir compte des facteurs (naturels et/ou d'origine anthropique) de dégradation qui sont à l'origine de l'accélération des processus d'érosion éolienne et hydrique et de l'ensablement des mares, lacs et cours d'eau, des habitats et des terres de cultures dans le bassin du Niger.

Facteurs de dégradation

D'une manière générale, la problématique de l'ensablement des terres de culture, des mares, des lacs et des lits des cours d'eau dans le bassin du Niger est fortement liée aux spécificités d'un fleuve qui traverse plusieurs régions climatiques distinctes et qui fait une boucle vers le nord en zone aride sur une très longue distance avant de pénétrer à nouveau en zone soudanienne plus humide. Elle s'explique aussi par l'importance vitale des ressources naturelles (eau, sol, couvert végétal, faune) qui sont partout fortement dégradées et menacées.

La dégradation généralisée des ressources naturelles est due à plusieurs facteurs connus qui sont d'ordre :

- climatique (baisse de la pluviométrie, irrégularité spatiale et temporelle des pluies utiles, diminution des débits et des zones inondées, aridification du climat et déplacement des isohyètes vers le sud, etc.) ;
- et anthropique (augmentation des besoins en eau, en sols et en ressources sylvo-pastorales, concentration des populations et des troupeaux autour des points d'eau, surexploitation des ressources naturelles, extension des cultures sur des terres marginales, déboisement, braconnage, etc.).

La conjonction de ces facteurs naturels, climatiques et anthropiques, a pour conséquence directe, entre autre : la disparition des habitats naturels (faune) et, en de nombreux endroits, du couvert végétal, la diminution, voire la raréfaction, des ressources en eau (de surface et souterraines) et en sols, une modification profonde des équilibres biologiques et des écosystèmes naturels, etc. Le corollaire est l'accélération et l'amplification des impacts de l'érosion hydrique et/ou éolienne, plus particulièrement dans le triangle sahélo-saharien où le processus s'accompagne d'une remise en mouvement des cordons dunaires et des dunes.

En termes de bassin versant, il est évident que ces différents facteurs de dégradation s'enchaînent d'amont en aval et s'amplifient en fonction des conditions topographiques et climatiques locales. Ainsi, si la diminution de la pluviométrie et les périodes de sécheresse ont une conséquence directe sur les débits et sur les superficies des plaines inondées, le défrichement abusif notamment des têtes de bassin et des versants pour les cultures agricoles ou pour le bois favorisent à son tour l'érosion hydrique et le décapage des sols dénudés dont les particules fines sont charriées et déposées en aval.

Problématique de l'ensablement dans les différents sous-bassins

D'une manière générale, l'ensemble du bassin versant du fleuve Niger est touché à des degrés divers par l'érosion hydrique et par l'érosion éolienne, par la dégradation des berges et par l'ensablement des habitats, des terres de culturesdes mares et des lits des cours d'eau. Il importe dès lors de bien sérier les spécificités et contraintes propres à chaque sous-bassin, tout en gardant à l'esprit la notion de priorité, de solidarité et de concertation entre tous les usagers (ressources partagées).

Haut bassin du Niger

Depuis la Haute Guinée, la dégradation des ressources naturelles et du couvert végétal est importante et les feux de brousse sont particulièrement dévastateurs dans toute cette partie du bassin. On observe, en de nombreux endroits, des signes alarmants d'érosion hydrique dont les risques sont accentués par le défrichement des têtes de bassin et des versants et par la dégradation des berges. La ville de Kankan (sur le Milo) est actuellement menacée par l'ensablement. Au Mali, les phénomènes d'érosion des berges et d'ensablement commencent à prendre de l'importance dans cette partie du bassin qui abrite plusieurs grandes agglomérations ou villes (concentration des hommes et des troupeaux) comme Banankoro, Tamani, Macina, Diafarabé et Bamako. Entre Koulikoro et Ségou, l'apparition récente de bancs de sable dans le lit du fleuve contribue notamment à rendre difficile la navigation.

Delta intérieur et moyen Niger

Le delta intérieur, la zone lacustre, le tracé particulier de la boucle du Niger en zone aride et le bassin du moyen Niger dans sa partie sahélienne sont caractérisés par des conditions éco-climatiques beaucoup plus sévères : faiblesse et caractère aléatoire de la pluviométrie, vitesse des vents et températures moyennes élevées, forte évapotranspiration et présence proche du Sahara et d'un stock très important de sable mobilisable. Le triangle sahélo-saharien du Mali est, de loin, la zone la plus touchée par le processus d'ensablement. En effet, au niveau de ces régions, le fleuve est le plus souvent constitué de vastes plaines d'inondation dominées par des plateaux gréseux en voie d'altération, des cordons dunaires et des hautes dunes ou des terres de glacis devenues incultes.

Au Mali, le processus d'érosion éolienne et d'ensablement est intense. On constate une remise en mouvement des dunes qui étaient plus ou moins stabilisées et qui avanceraient de plusieurs dizaines de mètres par an, menaçant directement les points d'eau et le fleuve ainsi que les habitats. Certaines hautes dunes qui surplombent directement le fleuve de part et d'autre (notamment entre Rharous et Gao) constituent un risque majeur pour la sauvegarde du fleuve et le maintien des écoulements vers l'aval. L'érosion des berges, accentuée par le transport du sable et la vitesse des courants lors des crues, provoque le grignotement de la base des dunes et favorise les éboulements : des éboulements et des avalanches de sable directement dans le fleuve sont visibles toute l'année. Ils sont à l'origine de la formation de nombreux bancs de sable et d'îlots qui entravent à leur tour la navigation et diminuent les superficies inondées.

Dans le cercle d'Ansongo qui bénéficie d'une pluviométrie plus élevée (300 mm/an), les cours d'eau temporaires (les *koris*) coulant en saison pluvieuse déversent une bonne quantité de sable dans le lit majeur du fleuve, réduisant ainsi les terres agricoles. L'érosion hydrique combinée à l'érosion éolienne, à l'aridification du climat et à la destruction du couvert végétal provoque des ravinements importants à partir des plateaux et le développement exponentiel des *koris*. Ceux-ci, en l'absence de techniques de conservation des eaux et des sols, charrient à leur tour d'énormes quantités de sable vers le fleuve. Par effet d'entraînement, les berges et les terres de cultures sont également érodées et détruites peu à peu. Les habitats et autres infrastructures socio-économiques (ponts, routes, périmètres hydroagricoles, etc.) sont fortement menacés.

Dans ces parties du bassin, le phénomène d'ensablement et la diminution des débits ont eu des conséquences désastreuses pour les populations locales et les activités économiques qui en dépendent :

- baisse de la nappe phréatique, réduction des surfaces traditionnellement inondées (estimée entre 30 et 50 % entre Mopti à Gao) ;
- diminution drastique de la production halieutique, pastorale et agricole ;
- augmentation de la pression sur les ressources naturelles et forte concurrence (nombreux conflits) dans la satisfaction des besoins pour la pêche, pour l'agriculture et pour l'élevage (diminution des bourgoutières et des pâturages naturels, disparition des couloirs de passage, etc.) ou encore pour la faune sauvage et pour les espèces protégées comme les hippopotames ou les lamantins ;
- diminution des possibilités de navigation ;
- prolifération des plantes aquatiques flottantes (jacinthe, laitue d'eau) qui entravent la navigation, la pêche et les cultures irriguées et qui constituent une menace grave pour la santé humaine ;
- impact sur les barrages et sur les écoulements et les ressources en eau en aval.

La période de sécheresse qui a commencé en 1970 a entraîné des déficits pluviométriques de l'ordre de 30 % et un déplacement des courbes isohyètes de près de 200 km vers le sud.

Depuis 1970, le débit moyen annuel du Niger ne représente plus, dans les régions Nord, que 61 % de ce qu'il était avant. Les mois de janvier à juillet sont les plus affectés par la sécheresse récente. Le maximum qui se produisait en janvier, avant 1970, est observé deux mois plus tôt, en novembre, pour la période après 1970.

Les ressources forestières du bassin du fleuve sont en diminution à cause de leur surexploitation (défrichage pour des fins agricoles et demande croissante de biens ligneux : conséquences logiques de l'accroissement démographique et des effets conjugués des feux de brousse et de la désertification). Cette situation expose les sols à l'érosion hydrique et éolienne, provoque la baisse du niveau des nappes et bouleverse le régime des cours d'eau déjà fragilisés par les sécheresses successives.

Indicateurs proposés pour suivre le phénomène d'ensablement

D'une manière générale, l'accélération du processus d'ensablement (qui s'observe notamment par la remise en mouvement des dunes mortes ou stabilisées) et l'aggravation de l'érosion éolienne et hydrique résultent de la conjonction des conditions climatiques sévères et de la dégradation/destruction du couvert végétal par l'homme et par les animaux (surpâturage, exploitation abusive des ligneux, etc.). Il est donc proposé les indicateurs ci-après décrivant :

- le mouvement des dunes de sable en direction du fleuve ;
- le mouvement de sable dans le lit du fleuve ;
- la perte en superficies inondées et en terres de cultures ;

- la longueur des chenaux ensablés ;
- le degré de dégradation/destruction du couvert végétal ;
- l'évolution de la population et du bétail dans le bassin du Niger ;
- l'évolution du débit du fleuve et de ses affluents ou défluents.

Indicateurs sur le régime du fleuve Niger et sur l'évolution de son environnement

« Pour résoudre ces problèmes, le Gouvernement, avec l'appui des partenaires au développement, a fait des efforts considérables qui ont débouché en 1992 sur l'élaboration du Schéma Directeur d'utilisation des Ressources en Eau (SDRE). Malgré ces efforts, le fleuve Niger est fortement menacé par les pollutions de toutes origines, le gaspillage de l'eau, la sédimentation, l'ensablement, la dégradation des écosystèmes et la prolifération des végétaux flottants tels que la jacinthe d'eau et le tiphas, d'où l'idée de la création d'une Agence du fleuve Niger. » [6]

Cette partie est la conclusion de la question 3 : De quelles connaissances validées dispose-t-on sur le régime du fleuve Niger et sur les processus d'évolution de l'environnement à moyen et à long terme ?

À partir d'une synthèse des contributions de P. Givone, S. Traoré, M. Diallo, L. Diarra, P. Morand, K. N'Diaye, H. Maïga et D. Orange, on s'attachera précisément ici à réfléchir sur les indicateurs mobilisables pour suivre l'évolution de l'environnement du fleuve Niger à moyen et long terme.

Notons d'abord que l'idée d'un réseau d'observation pour la surveillance de la qualité des eaux du bassin du fleuve Niger et de son environnement au Mali est débattue depuis longtemps. Elle a déjà été abordée très concrètement à l'occasion de nombreuses réunions de l'ABN (Autorité du Bassin du Niger) bien sûr, mais aussi à l'occasion du montage (1995-99) de l'observatoire hydrologique régional d'Afrique de l'ouest et centrale, initié par l'IRD puis co-financé par la Banque Mondiale et différentes coopérations étrangères sur demande motivée de l'OMM, puis au moment du colloque « *Sauvegarde du fleuve Niger* » organisé à Bamako en avril 1999 par le gouvernement malien et l'ONU-DAES où le consultant du FEM[7] (Fonds pour l'environnement mondial) a donné tout son appui pour un tel réseau. Enfin, la table ronde sectorielle sur l'environnement organisée par le Ministère de l'Environnement malien à Bamako les 27-29 mai 1999 avait permis de remobiliser cette question[8]. Il faut noter également

6 *In* : *Termes de référence pour l'étude sur la mise en place d'une agence de bassin du fleuve Niger*, Ministère de l'Environnement, Bamako, 1999.
7 Monsieur D. Laroche, 5-7 avril 1999 à Bamako.
8 Discussion entre Claude Sauveplane (ONU-DESA), Pierre Icard (DG Coopération Française), Alain Gerbe (Ministère Environnement du Mali) et Didier Orange (IRD).

l'existence à la DNH (Direction nationale de l'hydraulique) du projet Ghenis sur financement de la coopération néerlandaise (de 2000 à 2002) pour le suivi éco-hydrologique du bassin supérieur du Niger (des sources guinéennes à Koulikoro au Mali) et dont un des objectifs a été l'installation de stations de mesures « qualité » automatiques et télétransmises.

Nous devons également mentionner les nombreux réseaux ou observatoires ayant existé ou existants (tableau 18) qui sont autant de banques à indicateurs. Évidemment, la recherche a également participé à cet effort de synthèse pour la surveillance ou l'observation de l'environnement. Ainsi, par exemple, à la faveur du projet de recherche Gihrex de l'IRD, de nombreuses études et initiatives ont été réalisées pour promouvoir l'idée d'une gestion intégrée des ressources naturelles via des systèmes d'information (Orange, 1999 ; Marie, 2000 ; Dzéakou *et al*., 2002 ; Morand *et al*., 2002a et 2002b ; Gerbe et Bouaré, 2002 et la fiche synthétique de l'OSED décrivant une proposition d'observatoire socio-écologique du delta).

Système	Sous-ensemble	Catégorie	Nom de l'indicateur	Description	Commentaires	CT/MT/LT	Suivi actuel
Environnement	Abiotique	Forçage climatique	Pluviosité	Pluie, intensité		CT/MT/LT	DNM
	Ressources naturelles	Ressources en eau de surface	Hydraulicité	Débit, hauteur d'eau	quantité	CT/MT/LT	DNH
			Pollution	Biologique (DBO, DCO), chimique (conductivité)	qualité	CT	DNH…
		Ressources en eau souterraine	Potentiel	Volume, profondeur statique	quantité	CT/MT/LT	DNH
			Pollution	Biologique (DBO, DCO), chimique (conductivité)	qualité, URGENT	CT/MT/LT	DNH
		Flore	Biodiversité	Suivi des espèces	qualité	MT/LT	oui
			Répartition	Superficie des forêts, production de bois de chauffe et de charbon, superficie des plantes inondables	quantité	MT/LT	oui
		Faune	Biodiversité	Suivi des espèces	qualité	MT/LT	oui
			Répartition	Zones de nidification, production de chasse	quantité	MT/LT	oui
		Poisson	Biodiversité	Suivi des espèces	qualité	MT/LT	oui
			Répartition	Zones de pêche	quantité	MT/LT	oui

		Fertilité des sols et salinisation	Qualité du sol	Rendement agricole, chimie du sol	qualité	MT/LT	oui
		Érosion et sédimentation	Érosion	Matières en suspension, turbidité des eaux	quantité	MT/LT	oui
		Ensablement	Ensablement fluvial	Navigabilité, exploitation de sable fluvial	qualité	MT/LT	oui
			Ensablement terrestre	Rendements agricoles	qualité	MT/LT	oui
	Activités humaines	Agriculture	Cultures	Superficies cultivées	quantité	MT/LT	oui
			Production	Rendements agricoles	quantité	MT/LT	oui
		Cheptel	Production	Production UBT, prix de vente	quantité	MT/LT	oui
		Pêche	Production	Tonnage capturé, CPUE, structure de tailles, prix de vente, étangs,…	quantité	MT/LT	oui
Société	Population	Forçage démographique	Population	Population, genre, âge, catégories socio-économiques		MT/LT	oui
	Économie	Richesses	Revenus	Revenus agricoles, aménagements hydrauliques, forages,…	quantité	MT/LT	oui

Tableau 18 - Quelques indicateurs de suivi du régime du fleuve Niger et de l'évolution de son environnement

Enfin, cette note de synthèse sur les indicateurs fait tout particulièrement référence aux travaux du groupe de concertation pluridisciplinaire CERDIN pour la définition du projet EIDES (Orange, 1999) puis aux différents textes issus du séminaire international sur la « *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales* » tenu à Bamako, 20-23 juin 2000, sous le haut patronage du Ministre chargé de l'Environnement et du Ministre du Développement Durable (Orange *et al*., 2002).

Rappel sur les connaissances validées

Avertissement méthodologique (d'après le texte de Pierrick Givone)

La contribution de P. Givone précise bien que la « construction de modèles explicitant la dynamique à LT des systèmes environnementaux (forcément) complexes est un défi posé à la recherche ». On peut encore aller plus loin en disant qu'il est sûrement illusoire de vouloir expliciter les comportements de systèmes environnementaux dans leur dynamique globale qui associe à la fois les phénomènes

physiques et les comportements sociaux. Aussi, il est important de préciser ici que les « modèles » et leurs couplages devraient servir ou être utilisés comme plateforme de discussion entre les différents partenaires, c'est-à-dire comme « outils-médiateurs » (Morand *et al.*, 2002b ; Orange, 2002).

Grands forçages communs : tendances climatiques et tendances démographiques

Le travail sur cette question a commencé par un état des tendances sur les grands forçages puis s'est poursuivi par un examen de la situation des différentes composantes de l'écosystème anthropisé qui s'étend autour du fleuve Niger. Les grands forçages à prendre en considération sont de deux types : les tendances climatiques, d'une part, et les tendances démographiques, d'autre part.

Tendances climatiques (d'après le texte de Pierre Sibiri Traoré)

Le continent ouest-africain est une des régions les plus critiques climatiquement. Les modèles y sont très sensibles et ne permettent pas d'envisager une tendance à long terme. Les différents scénarios réalisés à partir des modèles globaux de circulation atmosphérique fluctuent entre –20 % et +40 % d'anomalie pluviométrique à 2100. Jusqu'en 2040, nous serions en période normale légèrement excédentaire. La grande sensibilité des modèles est notamment liée au large impact rétro-actif de la qualité de la couverture du sol sur l'évolution des températures de surface qui devraient augmenter.

Cette impossibilité de pouvoir aujourd'hui donner une tendance à long terme de l'évolution climatique en zone sahélo-soudanienne obligera à prendre en considération plusieurs scénarios de forçage climatique pour la réalisation de scénarios prospectifs. Signalons sur le sujet le programme international de recherche AMMA-Catch.

Tendances démographiques (d'après le texte de Mamadou Diallo)

La population actuelle du Mali est de l'ordre de 10 millions d'habitants Cette population est inégalement répartie sur l'étendue du territoire national. En 1987, 65 % de population vivait sur 25 % du territoire national. En 1998, ce contraste s'est encore accentué puisque seulement 30 % du territoire national renferment 91 % de la population résidente. La densité moyenne sur le territoire national est passée de 6,2 habitants au km^2 en 1987 à 7,9 habitants au km^2 en 1998, avec de fortes disparités selon les régions. En effet, si l'on relève dans la région de Tombouctou une densité de 0,9 habitant au km^2, on note dans la région de Ségou 25,9 habitants au km^2 en 1998. Enfin, le taux d'accroissement naturel était de 3,7 % entre 1976 et 1987. Ce rythme de croissance de la population est considéré comme élevé car, en dehors de tout phénomène de migration, il aboutit à un doublement de la population tous les 19 ans. Cette forte croissance est cependant contrebalancée par une forte émigration de la population : ce qui semble faire du Mali un pays à faible croissance générale de la population. En effet, la population résidente a augmenté de 1,8 % en moyenne entre 1976 et 1987. Ce taux a été de 4,5 % pour le milieu urbain et de 1,2 % pour le milieu rural. En 2025, la population est estimée entre 16 et 20 millions selon les scénarios : la population rurale ne représenterait plus que 51 % du total (environ 9 millions) pour 73 % aujourd'hui. Les plus fortes augmentations de population auront lieu à Bamako où la population sera doublée et dans les villes du Nord. Mais, en valeur absolue, la région

de Bamako et celle de Ségou-Mopti resteront les plus fortes concentrations du pays, respectivement 2,9 millions et 2,4 millions pour 0,9 million et 0,6 million en 1995.

Les conséquences sur l'approvisionnement alimentaire sont importantes. À l'exception des céréales où la consommation urbaine atteindra environ 40 % de la production nationale, les marchés urbains à eux seuls absorberont la plus importante part (55 à 75 %) de la production de poisson, de viande et de fruits et légumes en 2025, contre moins de la moitié en 1995. La consommation alimentaire des villes en produits locaux augmentera ainsi 3,5 fois plus vite que celle du milieu rural au cours des trente prochaines années. La production de céréales, de poisson, de fruits et légumes et de viande devra donc doubler, voire tripler. La productivité agricole doit alors augmenter au moins dans le même ordre de grandeur. Enfin, cette expertise souligne que dans le domaine de l'environnement, aussi bien en ville qu'à la campagne, les maliens se trouveront confrontés à des problèmes cruciaux hypothéquant sérieusement le développement économique et social du Mali. Ces problèmes sont : la pollution, l'insalubrité, la mauvaise gestion de l'espace, les nuisances sonores, la désertification et l'érosion éolienne et hydrique.

Indicateurs sur les tendances des ressources de l'écosystème

Indicateurs sur les tendances des ressources en eau (d'après les textes de Almoustapha Fofana, Didier Orange et Mamadou Diallo)

Les eaux de surface sont, en quantité, directement dépendantes du forçage climatique (pluviométrie), c'est-à-dire qu'elles présentent, d'une part, de fortes variations saisonnières (crue - décrue) et, également, de fortes variations interannuelles (années humides - années sèches) indépendamment des tendances sur le long terme liées au forçage climatique (*cf.* paragraphe ci-dessus). On ne note pas de problèmes majeurs en termes de qualité, si ce n'est des pollutions ponctuelles et épisodiques pouvant cependant représenter un risque majeur pour l'environnement et pour l'homme.

Les eaux souterraines existent en grande quantité. Elles sont caractérisées par un flux de renouvellement annuel de 55 milliards de m^3 sur lesquels 105 millions de m^3 seulement sont exploités (soit à peine 0,2 %), mais elles subissent localement de graves problèmes de qualité bactériologique et parfois chimique (cas de pollution de la nappe profonde au niveau du bief de Bamako).

Les indicateurs de quantité et de qualité sont nombreux, de même que les réseaux de suivis, souvent centralisés au niveau de la DNH (*cf.* tableau 18). On peut noter :

- le Bulletin hebdomadaire multidisciplinaire du GTPA d'assistance agro-météorologique, pour le débit et la hauteur d'eau,
- la DNH et la DNSP réalisent des suivis de qualité des eaux de surface,
- le réseau Sigma pour la qualité des eaux souterraines (Simonot et Walraevs, 1991 ; Tall, 1999).

Indicateurs sur les tendances des ressources naturelles biotiques

La flore et les cultures (d'après les textes de Lassine Diarra et de Mamadou Diallo)

D'une façon générale, on ne constate pas d'effet majeur de la sécheresse sur la biodiversité en termes de présence/disparition d'espèces.

La superficie des formations ligneuses a connu au cours des quinze dernières années une baisse annuelle de 0,05 % (87 km^2/an, soit plus de 1 000 km^2 en 15 ans), diminution surtout liée à la baisse de la pluviométrie avec une disparition de certaines forêts mais leur repousse avec le retour de la pluie.

La consommation de bois de chauffe a enregistré au cours des dix dernières années une croissance moyenne de 1,6 %, dont 2,8 % pour le milieu urbain et 1,4 % pour le milieu rural. Celle du charbon, réservée au milieu urbain, est de 30 000 t avec une croissance moyenne de 4,14 % par an.

Le taux de croissance des productions issues des cultures vivrières (mil, maïs, sorgho, riz, blé, fonio) a été de 4,9 %, en notant que cette augmentation est davantage imputable à l'extension des superficies cultivées qu'à la hausse des rendements.

Enfin, on note une extension importante de la jacinthe d'eau durant les années de sécheresse, mais la lutte biologique est maintenant efficace.

Les indicateurs sont : le suivi des espèces, la superficie des forêts, la production de bois de chauffe et de charbon, la superficie des zones inondables, des bourgoutières et des vétiveraies hautes…

La faune terrestre et le cheptel (d'après le texte de Lassine Diarra)

Il n'y a pas de forte diminution de la biodiversité malgré la disparition ou la raréfaction de quelques espèces (les lamentins). Mais on note un problème important de disparition des lieux de nidifications des espèces migratrices (surtout dans le delta intérieur) et des possibilités de pullulations d'oiseaux et de rongeurs pouvant engendrer des dégâts importants dans les récoltes.

La diminution des pâturages sous l'effet de l'emprise croissante de l'agriculture sédentaire ne favorise pas la sécurité alimentaire du cheptel bovin qui diminue dans certaines régions proches du fleuve.

C'est ainsi que l'élevage malien est en train de se déplacer lentement vers le sud du pays : à Sikasso, l'effectif du troupeau bovin est passé de 336.000 UBT en 1970 à 741.000 UBT en 1995, soit + 121 % (-1 4 % à Mopti).

Les indicateurs sont : le suivi des espèces, les UBT, le suivi des lieux de nidifications…

Les poissons et la pêche (d'après le texte de Pierre Morand)

On constate toujours un bon fonctionnement des mécanismes de renouvellement de la ressource poisson attesté par le fait que la production a beaucoup augmenté depuis

l'épisode de sécheresse et qu'elle répond toujours aussi bien à l'inondation réalisée par la crue précédente (c'est-à-dire selon la même courbe–réponse). Elle a, par exemple, été très élevée, c'est-à-dire supérieure à 100 000 t, pour les campagnes de pêche 1994-95, 1998-99, 1999-2000 et 2003-04, qui ont suivi de bonnes crues. Ce « bon fonctionnement » est toutefois conditionné par le maintien de l'écosystème fleuve-plaine en état de bonne santé.

On constate cependant la raréfaction de certaines espèces sans doute due, en premier lieu, à la réduction de certains types de milieu (zones de haute végétation palustre permanente). Toutefois, cela ne nuit pas à la production totale car ces espèces n'avaient pas une grande importance dans le total des captures et elles sont, de toute façon, remplacées par d'autres dont les captures se sont considérablement accrues.

On constate également une perte de valeur économique très significative (jusqu'à 30 %) du fait d'un effort de pêche excessif qui entraîne, d'une part, une baisse des captures par unité d'effort (et conséquemment par unité de coût d'exploitation) et, d'autre part, une baisse de la taille moyenne des individus capturés (donc de leur prix au kg).

Le potentiel de développement de la pisciculture villageoise en étang est important.

Les indicateurs sont bien connus des spécialistes et très largement utilisés et diffusés : tonnages capturés ou commercialisés, CPUE, structure de taille des individus capturés.

Indicateurs sur les tendances de l'environnement abiotique

Fertilité des sols et salinisation (d'après le texte de Kabirou N'Diaye, d'Hamady N'Djim et de Jean-François Bélières)

La baisse de la fertilité des sols est l'une des contraintes majeures à l'accroissement des productions agricoles. D'une façon générale, elle est davantage liée à la pression démographique (réduction des temps de jachères) qu'à l'érosion hydrique (voire éolienne). En effet, ces phénomènes d'érosion sont souvent associés à des processus de redistribution locale de la fertilité des sols.

Le problème de salinisation des sols dans les grands périmètres irrigués existe, mais il est maintenant bien contrôlé. Ce problème a surtout été étudié dans l'Office du Niger où la fertilité des sols est non seulement affectée par une augmentation de l'alcalinité mais aussi par une baisse de leur fertilité organique et minérale (potassium) dont l'impact commence à se faire sentir, notamment dans la zone du Macina. Cependant, malgré une situation relativement satisfaisante, les évolutions actuelles sont marquées par une aggravation des facteurs de risque liés :

- à l'extension des superficies cultivées et à une diminution des volumes d'eau disponibles limitant le lessivage ;
- au développement des cultures de contre-saison augmentant la recharge de la nappe dont le niveau reste en permanence à proximité de la surface ;

- au développement d'aménagements sommaires concernant le planage et le réseau de drainage.

Les indicateurs sont : les rendements agricoles, la chimie du sol…

Érosion et sédimentation (d'après le texte de Didier Orange et d'Housseini Maïga)

Le fleuve Niger a un transport de sédiments très faible tout au long de son cours.

Cependant, l'érosion par ravines et l'érosion des berges peuvent être localement importantes, surtout dans la partie haute et moyenne de sa vallée, mais peu de matières érodées arrivent au chenal principal du fleuve.

La qualité des sédiments transportés par le fleuve est de type argileux. Le delta amont représente une plaine d'inondation où se déposent ces sédiments fertiles.

Enfin, il est important de remarquer que le lac Débo subit actuellement un comblement par un bouchon vaseux amenant de nouvelles conditions écologiques de ce lac. À la faveur des nombreuses années successives de sécheresse, le bourgou a pu s'installer durablement sur les berges du lac et les crues récentes plus fortes n'ont pas eu les compétences de détruire ces nouvelles bourgoutières.

Un indicateur simple est le suivi par la DNH du taux de matières en suspension dans les eaux du fleuve.

Ensablement ou non ? (d'après le texte d'Housseini Maïga et de Didier Orange)

En règle générale, les populations le long de la vallée du fleuve Niger sont inquiètes quant à l'ensablement du lit majeur du fleuve du fait, d'une part, d'une impression de formation rapide de bancs de sable et d'îles sableuses dans le chenal principal du fleuve et, d'autre part, de l'envahissement des champs et des habitations par le sable éolien après les tempêtes de sable.

L'apparition des bancs de sable est avant tout liée à la baisse du niveau des eaux.

Par ailleurs, ce sentiment populaire est accentué par les problèmes de navigation sur le fleuve,très largement liés à l'absence de dragage d'un fleuve dont le fond est essentiellement constitué de sable. Les bancs de sable sont effectivement mobiles, mais le suivi de la dynamique des matières en suspension a montré que le lit majeur du fleuve Niger ne subissait pas d'ensablement en tant qu'ajout de sable.

Il y a « ensablement » en tant que gêne croissante de certains usagers par la présence de sable, mais les données scientifiques montrent qu'il n'y a pas d'augmentation du stock total de sable dans le lit du fleuve sur sa partie amont (des sources guinéennes à la sortie du delta).

Il existe par contre des problèmes de perte de plages et de désensablement du lit provoquant la déstabilisation de certaines berges, du fait de l'exploitation intensive du sable dans le lit du fleuve à proximité des zones urbaines qui conduit à des impacts

écologiques dangereux pour la vie du fleuve (disparition d'espèces de poissons, diminution des stocks…).

Sur la boucle du Niger (après le delta), le mouvement des dunes par érosion éolienne et la création récente d'un nouvel erg sont des évidences vécues par les populations et observées par de nombreux programmes de recherche et de développement. Le transport éolien de sable stérilise alors certaines zones de cultures sur berge et le mouvement induit des dunes menace par endroits la vallée du fleuve Niger.

Un indicateur est le suivi des accidents de navigation.

Cadre théorique de la définition d'indicateurs de suivi

Depuis la prise de conscience récente de la dégradation de l'environnement et de l'épuisement de certaines ressources par les activités humaines, les différents organismes nationaux et internationaux préconisent la mise en place de systèmes de suivi de l'environnement. Les recommandations de la déclaration de Rio (1992) vont dans ce sens et encouragent la conception d'indicateurs qui permettraient d'apprécier le degré de durabilité d'un développement et, en d'autres termes, de mesurer l'interaction entre les sociétés et leur environnement. C'est la raison pour laquelle, ces dernières années, les projets d' «observatoires de l'environnement » se sont multipliés.

Un observatoire a pour objectif de produire régulièrement et sous de faibles délais des informations normalisées et de les diffuser vers des bénéficiaires extérieurs, et tout cela de façon durable. Un observatoire correspond donc à un processus d'accumulation, d'organisation et de restitution de l'information. À terme, il doit pouvoir participer ou aider à la gestion de l'environnement en proposant un ensemble d'outils d'aide à la décision. Dans ce cadre, l'indicateur peut être défini de la façon suivante : les indicateurs sont avant tout des outils de communication destinés à transmettre une information de la façon la plus synthétique possible.

Les indicateurs de suivi de l'environnement doivent répondre à un certain nombre de conditions afin d'assurer la fiabilité et la durabilité du système de suivi. Un indicateur doit être parfaitement défini, de qualité connue et constante et il doit se conformer autant que possible à des normes internationales. La Banque Mondiale précise que de bons indicateurs doivent satisfaire les propriétés suivantes :

- être développés dans un cadre conceptuel faisant l'objet d'un consensus ;
- être clairement définis et faciles à comprendre ;
- être agrégeables : pouvant être exprimé à différentes échelles ;
- être objectifs et reproductibles : indépendants de celui qui collecte les données ;
- ne pas exiger trop de données nouvelles (privilégier les données existantes ou aisées à mobiliser) ;
- pouvoir être appropriés par les utilisateurs ;
- être limités en nombre ;

- porter à la fois sur les activités, les processus, les résultats et les impacts.

Le choix des indicateurs se fera donc en fonction des données existantes, de la facilité d'acquisition des informations et autant que possible de la conformité aux qualités énumérées ci-dessus. Il dépendra également du coût d'acquisition (il dépend donc du contexte financier, technique et humain). Ainsi, de nombreux indicateurs théoriques s'avèreront rapidement irréalisables pour des raisons économiques et pratiques.

Conformément aux recommandations de la Conférence de Rio (1992), le définition d'indicateurs du développement durable a été l'objet, durant ces dernières années, de multiples travaux, particulièrement en termes de cadrages et de méthodologies. Des groupes d'experts ont cherché à mettre au point des canevas méthodologiques permettant de définir le jeu d'indicateurs le plus approprié et le plus efficace pour suivre et caractériser l'évolution d'un couple quelconque Société-Environnement. Ainsi, par exemple, la Commission du développement durable des Nations Unies (1996) propose une liste de 134 indicateurs classés selon deux entrées croisées : d'une part une catégorisation en 4 domaines (social, économique, environnemental, institutionnel), d'autre part, une déclinaison en trois natures : pressions, états et enfin réponses apportées par les sociétés.

Mais il n'existe pas encore de cadre de référence unanimement reconnu, malgré les travaux de la FAO et le projet « Indicateurs du développement durable » du programme international « SCOPE » (Scientific Committee on Problems of the Environment) des Nations Unies lancé en 1994. L'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) a développé en 1993 un modèle conceptuel Pression-État-Réponse (modèle PER) qui est sûrement le plus connu et le plus utilisé. Il est basé sur les impacts négatifs du « système anthropique » sur le « système environnement naturel ».

Dans le cas du suivi du régime du fleuve Niger et de l'évolution de son environnement, la définition d'un système de suivi de l'état de l'environnement passe donc par l'analyse des relations Société-Environnement. Les indicateurs devront caractériser les relations de la société à son environnement dans le bassin fluvial du Niger, selon un jeu constant de pression-réponse (figure 35).

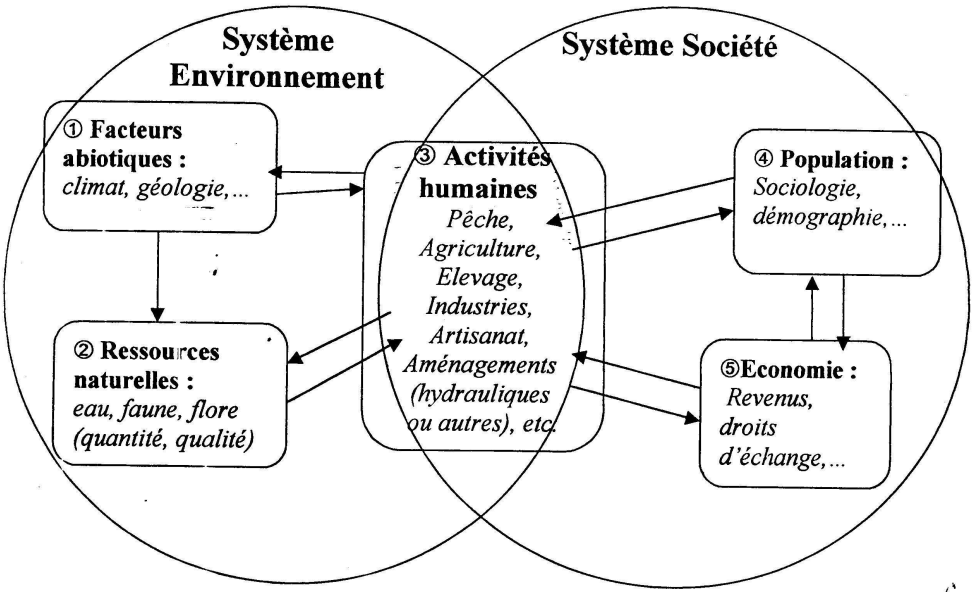


Figure 35 - Modèle Société-Environnement pour le choix des indicateurs de suivi du régime du fleuve Niger et de l'évolution de son environnement

Chaque compartiment interagit avec les autres, ce qui est représenté dans la figure ci-dessus par des flèches dans les deux sens. Ces relations correspondent à des pressions positives ou négatives exercées d'un compartiment sur l'autre. Notons que, contrairement aux modèles PER classiques, les pressions ne traduisent pas forcément une action néfaste. Ainsi, les activités humaines vont exercer une pression sur les ressources naturelles qui, elles-mêmes, exercent une pression sur les activités humaines. Par exemple, le prélèvement de poissons (ou quantité de poissons pêchés) dépend de la disponibilité en poissons qui est liée directement à la quantité de poisson à un endroit donné, et cette disponibilité en poissons va également influencer l'activité de pêche en conditionnant les migrations des pêcheurs.

Indicateurs mobilisables pour le suivi du régime du fleuve Niger et de l'évolution de son environnement

Les indicateurs de suivi du régime du fleuve Niger et de son environnement caractériseront donc les 5 sous-ensembles suivants (selon le modèle de la figure 35).

- Les facteurs abiotiques de l'environnement : facteurs physiques, géologiques, climatiques, … ;
- Les ressources naturelles : qualité et quantité de l'eau, de la faune, de la flore (biodiversité, …) ;
- Les activités humaines : résultats d'exploitation (rendements agricoles, tonnages de poissons, …) ;
- La population : sociologie, démographie, ethnie, … ;
- L'économie : revenus des ménages, nombre d'habitants.

Conclusion

Nous avons listé dans le tableau 18 (infra) des indicateurs permettant de définir des tendances d'évolution du régime du fleuve Niger et de son environnement. Dans un second temps, ces indicateurs pourraient participer à la structuration fonctionnelle d'un système d'information environnementale (SIE), ce qui renvoie à la question 6 et à l'annexe 2 de cette note.

Enfin, pour conclure, nous proposons le tableau ci-dessous pour résumer les tendances à moyen et à long terme caractérisant aujourd'hui le régime du fleuve Niger et l'évolution de son environnement (tableau 19).

	MT	LT	Observations	Indicateurs de suivi
Ressources en eau	>0	?	Eaux souterraines peu utilisées, SIE « alerte »	Q, H, Conductivité, DCO, BCO
Flore	=<0	?	Contrôle possible de la jacinthe d'eau	Suivi des espèces, Surfaces cultivées
Faune	=<0	?	Opposition entre développement agricole et développement élevage	Suivi des espèces, UBT
Poissons	=<0	?	Développement piscicole en étang	Suivi des espèces, CPUE
Fertilité des sols et salinisation	<0	<0	Contrôle possible de la salinisation	Rendement agricole
Erosion et sédimentation	=<0	=<0	Fertilité des plaines d'inondation, stabilisation des berges	MES
Ensablement	=<0	=<0	Draguage du fleuve, SIE « exploitation du sable »	Navigabilité

Tableau 19 - Les tendances à moyen (MT) et à long terme (LT) du régime du fleuve Niger et de l'évolution de son environnement

© IRD éditions 2007

ANNEXE 1 - SYSTEME D'INFORMATION (Source : A. Fofana, DNH)

Domaines	Nom du système d'nformation	Rattache-ment institution-nel	Informations collectées	Informations produites	Niveau de pérennisation	Niveau de couverture	Niveau d'informatisation
Eaux de surface	Radio, téléphone, BLU, PCD (Plate forme de Collecte des Données), Poste et réseau hydrométrique	- MMEE - DNH	Hauteurs et débits des cours d'eau	*Bulletins (mensuels, décadaires, hebdomadaires) * Note sur la crue, annuaires hydrologiques	Hebdomadaire Décadaire Semestriel Annuel	National (100 stations hydrométriques)	Logiciels : GESTRA, GHENIS Logiciels spécialisés : HYDROM, SAFARHY IDRISI, HYDRACCESS Logiciels courants Messagerie électronique
Eaux souterraines	Réseau piézométrique	- MMEE - DNH	Niveau statique	*Annuaire piézométrique	Bi-annuel	National	Logiciels courants
Hydraulique urbaine, adduction d'eau	Suivi technique et financier	- MMEE - DNH	* Financières et techniques * Nombre de villes dotées de réseau AE * Volumes d'eau mobilisé	Rapport de suivi semestriel	Contrat de 5 ans	60 systèmes AEP	Logiciels courants

© IRD éditions 2007

Aménagement hydraulique	Aménagement des cours d'eau	- MMEE - DNH	* Débits * Pluviométrie * Étude Géotechnique * Levées topographiques * Données topographiques	Rapports techniques (ensablement du chenal navigable, pose de balise, réparation des quais, protection des berges)	Continue	National	Logiciels courants Logiciel spécialisé
Hydraulique rurale	Réalisation des forages et des puits	- MMEE - DNH	* Nombre d'ouvrages réalisés * Nouveaux forages * Nouveaux puits * Réalisation en équipement de pompe * Réhabilitation	Tableau de bord rendu hebdomadairement à la direction Rapport trimestriel Rapport mensuel Rapport annuel	Continuel	Tout le territoire	Logiciel courant
Qualité des eaux (*cf.* tableau 19)	Qualité des eaux	- MMEE -DNH -LQE (DNH)	Paramètres physico-chimiques et bactériologiques	Certificat d'analyse d'eau	Journalier	National	Logiciels courants
Météorologie	GTPA (Radio, Télé, Journaux, BLU)	- MTIC - DNM	* Pluviométrie * Niveau d'eau * État des cultures * Pâturages * État Phytosanitaire * État zoo sanitaire * Pêche	Bulletins décadaires Bulletins mensuels	Saison des pluies Saison sèche	National	Logiciel spécialisé CLIMBASE Logiciels courants
	Agro météo	- MTIC - DNM	Nombre de paysans suivis	Champs suivis Champs non suivis	Saison des pluies		

© IRD éditions 2007

	Système d'information destiné aux usagers	- DNM	* Pluviométrie * Température (maxi mini, moyen) * Vent (direction, vitesse) * Insolation, * Évaporation, ETP	Annuaire Climatologique Prévision saisonnière	Annuel Juillet, août, septembre	Tout le pays	100 %
Environnement	Information sur la forêt	- MEA - DNCN	* Quantité de bois exploité au niveau des forêts classées * Potentiel des ressources ligneuses * Composition floristique des forêts	Rapport trimestriel Rapport annuel Bulletin sahel vert	continue	Tout le pays	
	Information sur la faune	- MEA - DNCN	Nombre et diversité des espèces existantes		continue	Tout le pays	
Navigation	RAC	- MET	* Transport fret, passagers * Position des unités	Tonnage et nombre de passagers Programmation des unités	Campagne 6 mois Campagne 6 mois	Koulikoro à Gao	Billetterie, transport, fret et passagers, secrétariat
	Téléphone Fax		Étiage Mopti - Koulikoro		12 mois		
DNACPN : Assainissement	Assainissement, contrôle des pollutions et des nuisances	- MEA	Pollution par : - eaux usées domestiques - eaux usées artisanales - eaux usées industrielles - jacinthe d'eau	Information, sensibilisation, éducation, application des textes	Rapport mensuel, trimestriel, semestriel, annuel	District de Bamako	Connections Internet, dnacpn@datatech.toolnet.org

© IRD éditions 2007

DNAMR : Développement rural	Bureau de documentation courant	- MA	Bilan de la campagne agricole du Mali : * superficies emblavées * superficies semées * production * quantité des intrants * rendement	Rapport d'activité, émission radio et télévisée * réalisation * comparaison à l'année précédente	Bibliothèque et production régulière *Rapport mensuel *rapport décadaire *rapport annuel	Répertoire de la documentation informatisée zonale nationale et régionale	Messagerie électronique Logiciel courant de traitement des données

© IRD éditions 2007

DNAER / Aménagements des ressources naturelles : - 1. Potentiels aménageables et aménagés - 2. Normes techniques des aménagements hydroagricoles - 3. Schémas Directeurs et plans d'aménagement Documentation Informations documentaires	Répertoire régionalisé des ressources aménagées et aménageables du Mali Référentiel national des normes techniques d'aménagement Plans et schémas Répertoire de documentation	Bureau statistique suivi-évaluation Division études et planification Division études et planification Bureau de documentation et de communication	Caractéristiques des ressources aménageables et aménagées Normes techniques des aménagements hydro agricoles Planification des ressources aménageables Indexations documentaires	Extraits de la base de données Références techniques Élaboration de schémas et de plans directeurs d'aménagements des différentes zones du territoire national Recueil des index documentaires	Actualisation périodique - DNAER - Bureaux d'études - ONG - DNAER Réseau de documentation du MAEP	Tout le pays Tout le pays Tout le pays Tout le pays	Base de données ACCESS Centralisation des données Pas informatisé pour l'instant La base de données existe
CMDT	Compagnie de production du coton	- MA	* Rapport bilan * Rapport de commercialisation * Rapport d'achat	* Superficies * Exploitation * Production * Commercialisation * Évacuation du coton * Égrenage * Population	Conservation des archives de la base jusqu'à la direction à condition que le système d'encadrement soit durable	* Toute la région de Sikasso * Une partie de la région de Kayes * Une partie de la région de Ségou	* Toute la direction générale * La région pour la comptabilité générale et la trésorerie générale.

© IRD éditions 2007

IER	Études et recherches agricoles	- MA - MEP	Études et recherches sur les systèmes de production agricole	État d'évolution des systèmes agraires	Pluriannuel et annuel	Zonal National Régional	Logiciels courants Logiciels spécialisés Logiciels de gestion des données SIG Tableurs
			Recherches thématiques	Développement variétal des productions agricoles	Pluriannuel et annuel	Zonal National Régional	
			Évolution des systèmes agraires	Nouvelles orientations de la politique agricole	Pluriannuel et annuel	Zonal National Régional	
			Analyse des politiques agricoles	Tendance des filières agricoles	Pluriannuel et annuel	Zonal National Régional	
			Étude des filières agricoles	Développement des techniques de préservation des ressources naturelles	Pluriannuel et annuel	Zonal National Régional	
			Recherche et Développement	Amélioration génétique des productions animales	Pluriannuel et annuel	Zonal National Régional	
Santé animale	RAC, FAX	-MEP	Maladies infectieuse de la liste A et B de l'OIE	Natalité, Mortalité	Continue	National	Messagerie électronique Logiciel de traitement
				Quantité de vaccins disponibles	Rapport mensuel, rapport annuel	National	Messagerie électronique Logiciel de traitement
Pêche	Capture de poisson	-MEP	* Quantité de poisson pêché par variétés * Quantité de poisson commercialisée	Quantité de poisson frais, fumé, brûlé et séché	Rapport mensuel, rapport annuel	National	Messagerie électronique Logiciel de traitement
Protection civile	Sécurité des personnes et des biens	- MSPC (Ministère de la Sécurité et de la Protection Civile)	* Pertes en vie humaine suite aux inondations	Évaluation des dégâts	Rapport annuel	National	Messagerie électronique Logiciel de traitement

© IRD éditions 2007

			* Pertes en bien matériel				
Industrie	Recensement industriel	- MIC - DNI (Direction Nationale des Industries)	*cf.* page ci-après	Aucune publication	6 recensements réalisés	National	SPSS, EXCEL, WORD ACCESS, EPI INFO 70 %
	Enquêtes industrielles		*cf.* page ci-après	Aucune publication			
	Suivi des projets industriels		*cf.* page ci-après	Aucune publication	Le suivi des projets est permanent, tous les trimestres		

Informations collectées (complément au tableau)		**Abréviations du tableau**
1 - Sur les entreprises industrielles a- Identification des unités industrielles : Nom, raison sociale, statut juridique, adresse du siège social, année de création et de démarrage ; Numéro fiscal et numéro statistique, régime de propriété, nationalité des propriétaires. b- Établissements de l'entreprise c- Branches d'activité : activités principales, secondaires d- Financement et investissement : Capital social, dettes à moyen et à long terme ; Investissements réalisés, immobilisations incorporelles, corporelles, financières. e- Chiffre d'affaires global f- Élément de la valeur ajoutée : frais de personnel, impôts et taxes, frais financiers, dotations aux amortissement, excédent brut d'exploitation g- Consommation intermédiaires h- Emploi : effectif total, par axe, par catégorie i- Coûts d'achat des matières premières j- Principales productions effectuées en volume et en valeur k- Productions vendues l- Difficultés déclarées par l'entreprise m- Adhésion à la démarche qualité	2 - Sur les projets industriels agréés a- Désignation du projet b- Référence de l'arrêté d'agrément c- Capacité théorique de production d- Montant total de financement dont fonds propres et emprunts e- Effectif total à employer f- Branche d'activité g- Origine du financement : national ou étranger h- Lieu d'implantation du projet i- Observations sur la situation de réalisation du projet	- MMEE = Ministère des Mines de l'Énergie et de l'Eau - MIC = Ministère des Industries et du Commerce - MA = Ministère de l'Agriculture - MEP = Ministère de l'Élevage et de la Pêche - DNH = Direction Nationale de l'Hydraulique - DNM = Direction Nationale de la Météorologie+ - DNACPN = Direction Nationale de l'Assainissement, du Contrôle des pollutions et des Nuisances - DNCN = Direction Nationale de la Conservation de la Nature - DNAMR = Direction Nationale d'Appui au Monde Rural - DNAER = Direction Nationale d'Aménagement et de l'Équipement Rural - CMDT = Compagnie Malienne du Développement des Textiles - OIE = Organisation Internationale des Épizooties - LQE = Laboratoire de la Qualité des Eaux. - GTPA = Groupe de Travail Pluridisciplinaire d'Assistance à l'Agro-météo

 © IRD éditions 2007

Annexe 2 - Liste des paramètres chimiques analysés au Laboratoire de Qualité des Eaux (DNH, Bamako) et matériel correspondant

Paramètre	Unité	Matériel disponible		Indicateur potentiel de pollution		
		Terrain	Laboratoire	domestique	Industrielle	agricole
Paramètres physico-chimiques						
Conductivité électrique	$\mu S.cm^{-1}$	X	X	X	X	X
PH	Sorensen	X	X		X	
Turbidité	UNT	X		X	X	X
Matières en suspension	$mg.l^{-1}$		X	X	X	X
Température	℃	X	X		X	
Couleur	UCV		X		X	
Oxygène dissous	$mg.l^{-1}$	X		X	X	
Éléments majeurs	$mg.l^{-1}$					
Calcium (Ca)	$mg.l^{-1}$		X			
Magnésium (Mg)	$mg.l^{-1}$		X			
Sodium (Na)	$mg.l^{-1}$		Photomètre à flamme		X	
Potassium (K)	$mg.l^{-1}$				X	X
Sulfate (SO_4)	$mg.l^{-1}$		X		X	
Carbonate (CO_3)	$mg.l^{-1}$		Titrimétrie burette digitale			
Bicarbonates (HCO_3)	$mg.l^{-1}$					
Chlorures	$mg.l^{-1}$		Spectromètre		X	
Composés azotés						
Nitrates	$mg.l^{-1}$		Spectromètre	X		X
Nitrites	$mg.l^{-1}$			X		X
Ammonium	$mg.l^{-1}$			X	X	X
Azote Kejdahl	$mg.l^{-1}$			X		
Paramètres organiques						
DBO	mg $O_2.l^{-1}$l					
DCO	mg $O_2.l^{-1}$		X			
COT	$mg.l^{-1}$					
Pesticides	$\mu g.l^{-1}$		Chromatographe en phase gazeuse et liquide en panne			
Hydrocarbures totaux	$\mu g.l^{-1}$					
Phénols	$\mu g.l^{-1}$					
Paramètres microbiologiques						
Coliformes totaux		X	X			
Coliformes fécaux		X	X			
Métaux						
Manganèse (Mn), Fer (Fe), Aluminium (Al), Cuivre (Cu), Plomb (Pb), Mercure (Hg), Nickel (Ni), Cadmium (Cd), Zinc (Zn), Chrome (Cr), Argent (Ag)	$\mu g.l^{-1}$		Spectromètre à absorption atomique non fonctionnel			
Métalloïdes et divers						
Fluorures (F) ,Iodures (I), Cyanures (CN), Arsenic (As),	$\mu g.l^{-1}$					
Orthophosphates (PO_4)	$Mg.l^{-1}$		Spectromètre			

 © IRD éditions 2007

CHAPITRE 4

Prévention des risques

CHEIKH CISSÉ, LAMINE DIARRA,
ALMOUSTAPHA FOFANA, PIERRICK GIVONE

Introduction

Méthodologie

La prévention des catastrophes naturelles a d'autant plus d'importance que la confrontation des « systèmes naturels » et des « systèmes humains » génère, et générera de plus en plus compte tenu de l'importance croissante des « systèmes anthropiques » – en particulier urbains -, des enjeux tellement considérables que le développement global des sociétés peut être durablement gêné, voire arrêté pendant de nombreuses années. Les économistes considèrent en effet que, si une catastrophe naturelle met en jeu une proportion relativement faible (10 % est un ordre de grandeur admis) de l'équivalent du Produit Intérieur Brut (PIB) de la zone géographique concernée par l'évènement, le développement de cette zone sera compromis pendant de nombreuses années, voire une génération, au sens ou cette durée sera au moins nécessaire pour retrouver le niveau de développement atteint avant la catastrophe.

On peut ainsi pronostiquer d'une manière quasi certaine une dégradation de notre capacité de développement compte tenu de la croissance rapide de mégalopoles exposées notamment celles de la zone intertropicale qui sont le lieu où, précisément et de plus en plus, se forme le PIB des régions et des États. De plus, l'accroissement induit

de risques en cascade naturels mais aussi technologiques voire sociaux, induit le sentiment croisant du « risque insupportable » par les sociétés.

Les exemples abondent dans l'actualité mondiale récente, du Vietnam (crue du Mékong) à l'Inde (mousson catastrophique), précédant la Turquie et Taiwan (séisme catastrophique). En Europe, les crues de l'Oder et du Rhin sont restées dans toutes les mémoires sans parler des cyclones et des moussons qui frappent durement l'Amérique du sud, l'Asie, et bien sur de l'Afrique.

Tous les pays concernés par les inondations, soit une forte majorité à l'échelle mondiale, ont réalisé diverses études conduisant à des recommandations pour lesquelles la partie méthodologique met en exergue un petit nombre d'éléments essentiels dont :

- la gestion des incertitudes pour mieux appréhender les phénomènes extrêmes en analysant des scénarios prospectifs, y compris dans la cartographie des aléas, qu'il faut améliorer et généraliser ;
- l'approche intégrée qui se définit comme : « le besoin d'une approche pluridisciplinaire fondée sur une intégration des sciences de la nature, des sciences de l'ingénieur et des sciences humaines ».

Ces deux points sont particulièrement pertinents sur le bassin versant du Niger. Il faudrait y ajouter le besoin d'une structure institutionnelle opérationnelle au quotidien, à l'échelle du bassin versant, tant il est vrai que les éléments méthodologiques ne valent que par leur mise en application fonctionnelle.

De ce point de vue plus opérationnel, les différents rapports constatent tous un certain nombre de faiblesses – en particulier en métrologie de l'environnement (au sens large : il s'agit de produire les systèmes d'informations utiles)- et souhaitent très clairement que l'ensemble des acteurs concernés, non seulement scientifiques et techniques, mette systématiquement leurs ressources en commun et fasse de cette intégration leur moyen d'action le plus efficace.

Les éléments d'analyse de la thématique « risques naturels »

La thématique « risques naturels », comme nous venons de le voir, concerne et intéresse de nombreux opérateurs à l'échelle mondiale dans le monde de la recherche comme dans celui des prescriptions techniques, administratives, juridiques et législatives. La prévention et la prévision des catastrophes naturelles suscitent toujours, à l'échelle mondiale, une forte demande sociale que les résultats de la recherche contribuent à satisfaire. Dans les seuls secteurs scientifiques et techniques, de nombreuses disciplines/thématiques sont concernées, sans (le plus souvent) qu'une action programmatique intégrée, dédiée spécifiquement aux risques naturels en tant qu'objets globaux identifiés, n'apparaisse réellement.

En conséquence, il reste nécessaire de se livrer à un exercice minimum (mais périlleux) de délimitation méthodologique de la thématique que l'on considère. D'un point de vue strictement historique, le risque naturel était du domaine exclusif des Sciences humaines et sociales (SHS) à l'époque où il était vécu comme une manifestation de colère(s) divine(s). Ce point n'est pas à négliger, il fonde encore, et sur les 5 continents, des éléments de « culture sociale du risque » tout à fait importants et

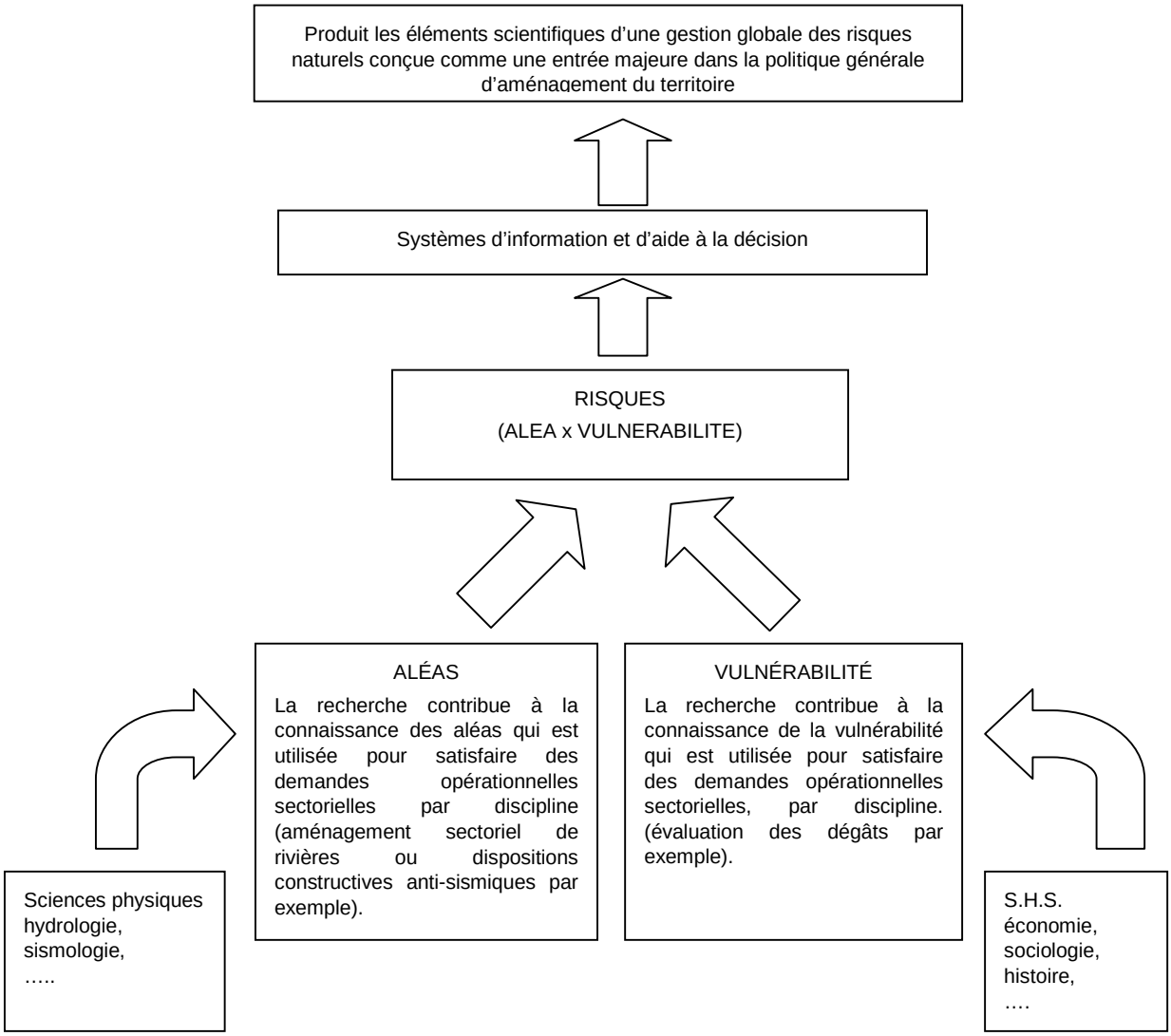
dont on ne peut s'affranchit facilement en prônant simplement, par exemple, une approche rationnelle des crues et des inondations. Il s'est largement ensuite ouvert aux progrès des sciences physiques, jusqu'à d'ailleurs « bénéficier » de l'illusion technologique du « contrôle de la Nature » qui a longtemps prévalu et souvent inspiré nos politiques d'aménagement du territoire, au moins jusque dans les années soixante. Il reste que l'origine SHS du concept de risque fait que les premières échelles d'évaluation du risque n'étaient fondées que sur la seule perception des dégâts et, en fait, sur leur caractère plus ou moins supportable par la société. Ce n'est que bien plus tard que sont apparues les échelles d'aléas (le cas de l'échelle de Richter est très significatif) qui s'efforcent, depuis, d'être compatibles avec les échelles issues de cette perception initiale de la vulnérabilité.

De fait, ce n'est que bien plus récemment, depuis les années 1970 voire 80, que l'étude des risques naturels a gagné ce qui est très probablement sa vraie place, au confluent des Sciences Physiques (SP), considérées au sens le plus large comme les sciences des processus physiques concernés, à toute échelle de temps et d'espace, tels que la Géologie, l'Hydrologie, la Météorologie… et des Sciences humaines et sociales, y inclus les Sciences Politiques. D'une manière plus précise, l'ensemble des disciplines des Sciences de l'Univers (Géophysique, Sismique, Volcanologie, Hydrologie, Climatologie, Mécanique, Nivologie, Météorologie, Biochimie et Géochimie des milieux naturels, …) est concerné, en couplage avec de nombreuses disciplines relevant des Sciences Humaines et Sociales (Sociologie, Économie, Histoire, Sciences Politiques, …), au premier rang (au moins chronologiquement) desquelles la Géographie a beaucoup contribué, y compris au couplage « SP-SHS », à travers la Géographie physique qui ne connaît plus, aujourd'hui, l'importance qu'elle a eue jusque dans les années 1960-70.

Le modèle conceptuel le plus simple pour rendre compte de la thématique « risque naturel » est sans doute le modèle « aléa-vulnérabilité » : l'aléa renvoyant aux différents processus physiques (crues, séismes, avalanches, …), la vulnérabilité traitant les enjeux socio-économiques menacés par l'aléa. La confrontation, le couplage, la juxtaposition voire la convolution d'un aléa et d'une vulnérabilité produit génèrent et définissent un risque de manière plus ou moins quantifiée selon les modalités de couplage.

Adopter cette grille de lecture (qu'il faut certainement affiner) en découplant Sciences physiques et Sciences humaines et sociales permet de mieux cerner la thématique car très peu de projets et encore moins de programmes de recherche-développement experts traitent des deux composantes à la fois (aléa et vulnérabilité) et donc des « risques » au sens de la cindynique. Ce découplage doit cependant se réaliser en conservant à l'esprit que le but final est bien d'organiser, au moins ultérieurement, un vrai couplage destiné à la production de connaissances dans le domaine des risques naturels au sens complet du terme et à la mise en œuvre de ces connaissances au sein de véritables projets opérationnels que cette expertise doit préfigurer. On montre ci-dessous un modèle simplifié plutôt adapté à des projets de recherche/développement.

Schéma de principe d'un « modèle de risques naturels »



Le fait de « passer à l'opérationnel » ne remet pas du tout en cause ce modèle théorique qui a fait la preuve de son efficacité dans de nombreux projets et programmes. Il faut toutefois y rajouter une composante essentielle qui relève de la profonde immersion dans la réglementation de tout projet concernant les risques naturels et, avant même de parler des textes, dans la « culture réglementaire et légale » qui prévaut dans le pays/région/système que l'on considère. Ce point, essentiel il faut le rappeler, est facilement compréhensible dès lors que la vulnérabilité est directement reliée à la gestion de l'occupation des sols et donc à la gestion de la propriété individuelle et collective qui sous-tend souvent l'architecture juridique (droit des sols mais aussi des ressources naturelles) de la zone d'application des programmes concernés.

Par conséquent, il n'est pas toujours possible de réduire les projets traitant de risques naturels à la seule physique des processus d'une part et à l'évaluation de la

vulnérabilité d'autre part. De nombreuses autres thématiques de recherche participent (globalement) à la production de connaissances et à leur mise en œuvre dans le domaine des risques naturels. Si l'on considère le risque sismique par exemple, les prescriptions constructives qui s'appliquent, via une réglementation, au génie civil ont été initiées par des recherches élaborées au sein de programmes de mécanique des structures et bien d'autres. Dans un domaine totalement différent, la cartographie du risque est un thème majeur et la sémiologie des cartes à produire un sujet de recherche parfois prioritaire pour certains risques (inondations par exemple) fait de la géomatique une discipline « satellite » importante.

Il faut donc considérer la thématique scientifique « risques naturels » comme résultant d'un continuum (au sein duquel l'étude des processus physiques concernés et les SHS sont deux domaines « piliers ») qui serait largement ouvert sur d'autres domaines scientifiques plus spécialisés qu'il faut mobiliser en tant que besoin, de la mécanique aux sciences de la communication et à la géomatique, en passant par beaucoup d'autres.

Il s'agit bien de la « thématique » risques naturels, et non pas de la « discipline » risques naturels : le niveau d'agrégation entre les disciplines ne se produisant pas au niveau disciplinaire lui-même mais à un niveau intermédiaire entre les disciplines et l'ingénierie (en particulier dans l'ingénierie purement sectorielle : génie civil, aménagement hydraulique, …) et en réalisant donc une intégration complète.

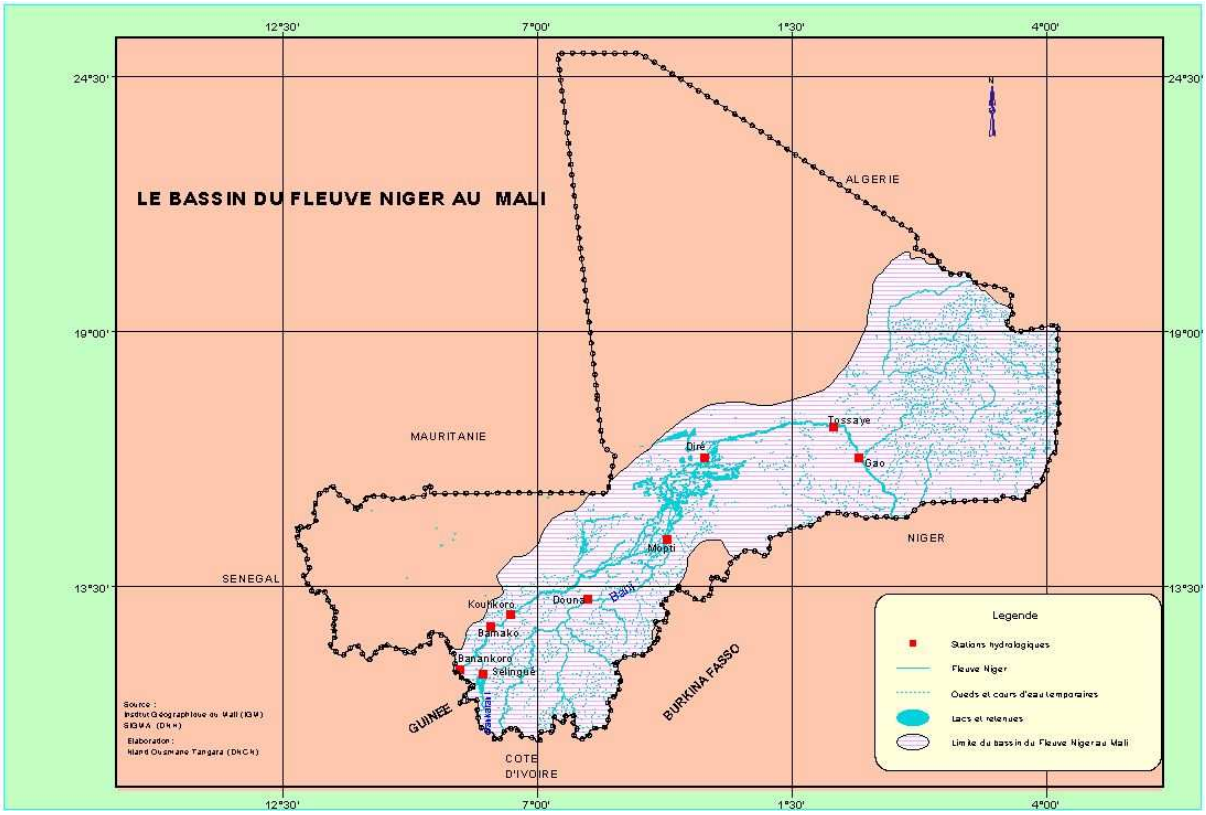
Cette agrégation, ou ce couplage, dégagent des objets de recherche/ développement (et pas uniquement des objets technologiques) thématiques qui ne se confondent pas avec les objets de recherches disciplinaires que l'on doit continuer et contribuer (par l'étude des risques naturels) à consolider comme des éléments essentiels du couplage. Cette vision classique à trois niveaux (qui ne prétend évidemment pas éliminer complètement les zones de flou entre les niveaux) s'appuie sur le niveau disciplinaire, le niveau thématique (celui de l'agrégation et du couplage) et le niveau de l'ingénierie et de l'application opérationnelle.

Des programmes ou des projets pluridisciplinaires réalisant un couplage serré entre les Sciences physiques et les SHS et collaborant avec d'autres disciplines « satellites » (la géomatique étant prioritaire) pour mettre en évidence et traiter des objets de recherche pertinents (au niveau thématique) en termes de risques naturels sont les mieux à même de satisfaire les besoins scientifiques fondamentaux de la thématique, de préparer des opérations de transfert vers l'ingénierie et donc de répondre à la forte demande sociale qui s'exprime. De ce point de vue, l'expertise en cours sur le fleuve Niger est exemplaire ; il faudra veiller à ce que « sa mise en opérationnalité » soit réelle, en particulier en mobilisant les bonnes structures institutionnelles.

Le contexte géographique

Le fleuve Niger est le troisième des grands fleuves d'Afrique (après le Nil et le Congo), tant par sa longueur (4 200 km) que par la superficie de son bassin théorique (2 000 000 km^2) qui occupe le cœur de l'Afrique de l'Ouest et une partie de l'Afrique Centrale (Yaya, 1995).

Le bassin du fleuve Niger (figure 1) couvre les territoires de 10 pays africains dans les proportions suivantes : Algérie 3 %, Bénin 2 %, Burkina Faso 4 %, Cameroun 4 %, Côte d'Ivoire 1 %, Guinée 6 %, Mali 25 % , Niger 22 %, Nigéria 32 %, Tchad 1 % (Yaya, 1995).



Source : Tangara, janvier 2004

Figure 1 - Carte du bassin du fleuve Niger

Le bassin du fleuve Niger occupe une position particulière au Mali, pays enclavé et continental situé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, dans lequel il parcourt 1 750 km. En effet, la portion du pays dans le bassin constitue 48 % de la superficie totale du Mali, vaste de 1 240 000 km^2.

Le fleuve Niger est constitué par la réunion de quatre branches-mères en Guinée (le Niger lui-même, le Tinkisso, le Niandan et le Milo).

Au Mali, le bassin du fleuve est conventionnellement subdivisé en trois parties :

- le Haut-Niger allant de la frontière guinéenne à Markala et le haut bassin du Bani ;
- le delta intérieur allant de Markala à Koryoumé (Tombouctou) ;
- le Niger moyen allant de Koryoumé à la frontière nigérienne.

Le haut-Niger

Le fleuve draine dans cette partie, l'ensemble des eaux venant du haut bassin guinéen ainsi que les apports intermédiaires de ses affluents dont les principaux sont :

- le Fié qui rejoint le fleuve à 20 km en amont de la localité de Kangaba ;
- le Sankarani qui rejoint le fleuve à quelque 70 km en amont de Bamako ;
- le Bani en amont de Douna.

La cuvette lacustre (delta intérieur)

C'est une vaste zone d'épandage des eaux du fleuve entre Markala et Tombouctou formée d'un réseau très complexe de bras, de défluents et de lacs.

Le réseau hydrographique du delta est formé :

- de bras principaux dont le tracé est bien défini; Niger, Issa Ber, Bani, Diaka, Bara Issa et Koli Koli ;
- de nombreux bras secondaires (affluents ou défluents des bras principaux) constituant un réseau complexe ;
- de lacs et de mares alimentés par les crues du fleuve ou les précipitations locales ;
- de plaines d'inondation submergées en période de crue.

À cause de la faible pente dans le delta, la topographie elle-même est ondulée si bien que, pendant la crue annuelle, les eaux dérivent des chenaux pour s'épandre sur de grandes surfaces. Au cours de cet épandage, les chenaux secondaires sont alimentés et, par la suite, les bas-fonds se trouvant à l'exutoire de ces bras. Il se forme ainsi des lacs dont l'alimentation dépend du régime hydrologique du Niger.

La vallée du Niger entretient des conditions de vie pour l'homme, conserve la diversité biologique et abrite une faune et une flore riches dans un milieu, autrement, désertique. Le fleuve Niger constitue donc l'artère nourricière des régions traversées, en particulier pour plus de 70 % de leur population totale dont il conditionne les activités économiques essentielles que sont l'agriculture irriguée, l'élevage, la pêche, la chasse et la cueillette.

Le delta intérieur du Niger qui s'étend sur plus de 40 000 km^2 constitue une des particularités écologiques les plus remarquables.

Le delta intérieur du Niger appartient à la zone éco-climatique sahélienne avec une pluviométrie inférieure à 550 mm/an. Elle couvre 18 % du territoire et représente une zone de prédilection de l'élevage transhumant avec d'importantes zones inondables propices aux pâturages et aux cultures irriguées et/ou de décrue.

Le Niger moyen

Le fleuve traverse sur ce tronçon une zone aride sans apports hydrologiques significatifs.

Le fonctionnement hydrologique de la cuvette dépend essentiellement :

- des régimes hydroclimatiques des hauts bassins du Niger et du Bani ;
- de l'évaporation et de l'infiltration dans la cuvette ;
- des conditions morphologiques du delta intérieur.

Les faibles pentes dans la cuvette entraînent des vitesses maximales du courant en surface n'excédant pas 0,3 à 0,6 $m.s^{-1}$ dans les bras principaux (Olivry *et al.*, 1993).

Entre Niafunké et Labbézanga (frontière de la République du Niger), le fleuve qui ne reçoit aucun affluent actif décrit une sorte de grande boucle de 900 km. Il coule dans un sillon dunaire large de 2 à 8 km en divaguant d'un bord à l'autre. On ne rencontre des berges rocheuses et un lit étroit que dans les tronçons où le socle affleure (défilé de Tossaye, succession des rapides au-delà d'Ansongo). Ailleurs, le fleuve comporte de multiples îles avec plusieurs chenaux parallèles au lit principal. La pente varie de 2 cm/km en aval (Brunet-Moret *et al*., 1986).

Le fleuve Niger et ses principaux affluents (Sankarani et Bani) ont eu un écoulement moyen annuel de 1 704 $m^3.s^{-1}$ durant la période 1952-99 en amont du delta, soit un volume de 54 milliards m^3. Les valeurs extrêmes observées sont de 2 704 $m^3.s^{-1}$ soit 85 milliards de m^3 en 1967 et de 706 $m^3.s^{-1}$, soit 22 milliards de m^3 en 1984.

Le débit moyen annuel du fleuve Niger à Diré à la sortie du delta intérieur est de 926 $m^3.s^{-1}$, soit un écoulement annuel de 29,2 milliards m^3. Les valeurs observées en année humide (1967) et en année sèche (1984) sont respectivement de 1 070 $m^3.s^{-1}$, soit 33,7 milliards de m^3, et de 462 $m^3.s^{-1}$, soit 14,6 milliards de m^3.

État des lieux de l'inondation dans le bassin du fleuve Niger

Définitions : crue et inondation

Crue : vient du verbe croître ; désigne une brusque augmentation du débit d'un cours d'eau.

On classe les crues selon leur période de retour (méthode statistique : par exemple une crue décennale a une chance d'arriver tous les 10 ans (ou une chance sur 10 par an), une crue centennale une chance d'avoir lieu tous les siècles (ou une chance sur 100 par an).

Inondation : stade d'une crue où le fleuve sort de son lit majeur et envahit les zones basses environnantes (vallée, plaine).

Cause des inondations

La première cause des inondations est bien sûr une concentration de précipitations dans un court laps de temps. Les quantités sont telles qu'elles ne peuvent

s'infiltrer dans le sol entièrement et qu'elles excèdent les capacités d'évacuation d'eau des lits fluviaux, d'où un débordement du cours d'eau.

Les inondations peuvent, parfois, être accidentelles dans le cas de rupture d'un barrage ; mais ce cas est rare.

Certaines conditions peuvent accroître l'ampleur des crues et de leurs dégâts :

- la déforestation excessive des versants dénude le sol ; l'eau est donc moins ralentie dans son ruissellement. Elle s'infiltre moins et converge plus vite vers les cours d'eau ;
- l'occupation par les activités humaines des zones inondables accroît les risques de dégât.

Impact des inondations

Impacts directs

Mort d'hommes.

Destruction de biens matériels, de production ou d'équipements : habitations, locaux de travail ; destruction des récoltes et mort du bétail.

Rupture des réseaux : routes, réseaux de téléphone et d'électricité, réseaux d'eau.

À court terme

Les inondations peuvent entraîner des épidémies lors de la stagnation des eaux, surtout si les cadavres des animaux ne sont pas rapidement brûlés.

On peut observer un lessivage des sols (donc un appauvrissement) ainsi que d'importants phénomènes d'érosion emportant la végétation.

Des phénomènes de sédimentation massive et ponctuelle sont aussi fréquents : coulées de boue recouvrant tout sur leur passage et pouvant plus tard être un obstacle à l'écoulement normal des rivières (formation de « bouchons »).

Pertes dues aux inondations (cas de l'année 1999)

Les fortes pluies de l'année 1999 ont causé d'importants dégâts dans tous les domaines de la vie socio-économique du pays. Aux pertes en vies humaines se sont ajoutées des pertes de bétail, des destructions de cultures, des dégâts sur les infrastructures, sur des habitations et sur les autres biens (tableau 1).

Pertes	Observations
Pertes en vie humaines	12 morts
Risques socio-sanitaires	La dégradation de l'environnement provoquée par les inondations a eu des conséquences liées aux maladies hydriques parasitaires et virales : risque de choléra, de fièvre jaune et de méningites, déplacement de population ; ce qui a des conséquences sur les cellules familiales les plus vulnérables (les enfants)
Pertes en biens personnels	400 t de céréales perdus à Mopti, Koulikoro et Tombouctou
Pertes en animaux	- Segou 324 ovins/caprins, 42 porcins et 100 bovins - Tombouctou : 2 318 ovins /caprins,49 bovins et 5 ânes
Pertes en volailles	1858 volailles emportées à koulikoro et Segou
Pertes en intrants agricoles.	240 l d'insecticide, 10 sacs d'urée, 25 sacs de phosphate naturel de Télemsi, 7 sacs d'engrais
Autres pertes	45 magasins , 5 cuisines. 25 toilettes, 17 vestibules, 1 cuve de carburant. 16 puits, 1 mosquée, 4 lits, des ustensiles de cuisine et des vêtements
Pertes monétaires	384 500 Fcfa disparu dans les inondations

Tableau 1 - Pertes dues aux inondations de l'année 1999

Aperçu sur le régime hydrologique du fleuve Niger

La pente du fleuve Niger

La baisse d'altitude du Niger entre Banankoro (frontière guinéenne) et Koulikoro atteint 40 m sur une distance de 200 km, ce qui équivaut à une pente hydrologique de 20 cm/km. Avec une telle pente, la vitesse d'écoulement est bonne. De Koulikoro à Ké-macina (l'entrée du delta), la pente est seulement de 20 m sur une distance de 500 km, ce qui donne une pente de 4 cm/km. Ainsi, la pente hydrologique en aval de Koulikoro est seulement de 20 % par rapport à celle en amont. Cependant, cette faible pente est suffisante pour permettre l'écoulement de l'eau de Koulikoro à Ké-macina en quelques jours. Dans le delta, la pente est encore plus faible qu'entre koulikoro et le DIN. Entre Ké-macina et Diré, la pente est inférieure à 15 m sur une distance de 850 km, donc de 2 cm/km.

Les pentes du Niger et du Bani sont faibles, si bien que la crue du DIN à partir de ces deux fleuves et de leurs bassins est d'une longue durée. La vitesse à laquelle l'eau s'écoule peut être décrite en détail puisque les niveaux d'eau et les débits sont relevés une ou deux fois par jour le long des fleuves, à diverses stations hydrologiques, depuis une longue série d'années.

La faiblesse de la pente à l'intérieur du delta a des effets évidents sur la vitesse à laquelle l'eau passe à travers la zone. Un système pour décrire l'écoulement de l'eau est de comparer sur plusieurs sites la date à laquelle la hauteur d'eau atteint son maximum.

Évolution des débits maximaux

Les années d'inondation pertinentes répertoriées d'après les observations hydrologiques sont celles de 1967, 1969, 1994, 1999, 2001 et 2003 (tableau 2 et figures 2, 3 et 4).

Années Stations	1967	1969	1994	1995	1999	2001	2003
Banankoro (hauteur en cm)	7 110	5 840	4 710	5 030	3 970	4 960	4 130
Dates d'apparition	7/10	6/9	24/9	28/9	20/9	12/9	3/9
Bamako	499	447	380	384	374	425	371
	11/10	13/9	2/10	1/10	26/9	14/9	4/9
Koulikoro	9 340	7 850	5 790	5 870	5 350	6 790	5 380
	12/10	14/9	3/10	2/10	26/9	15/9	6/9
Douna	3 230	2 320	1 880	966	2 320	1 250	1 940
	24/9	20/9	28/9	2/10	7/9	14/9	1/10
Kirango	7 300	6 540	5 060	5 180	4 480	5 570	4 770
	17/10	17/9	18/10	4/10	29/9	21/9	21/9
Ké-Macina	5 650	5 340	4 670	4 820	4 450	5 280	4 630
	16/10	12/9	1/10	30/9	29/9	19/19	6/9
Mopti	3 740	3 280	3 050	2 640	3 110	2 720	3 010
	11/11	15/11	22/10	11/10	12/10	13/10	14/10
Diré	2 410	2 330	2 250	2 010	2 130	2 010	2 110
	27/12	16/12	12/12	24/11	14/11	7/11	24/11

Tableau 2 - Débits maximum observés au niveau de certaines des principales stations hydrométriques dans le bassin du fleuve Niger et dates d'apparition

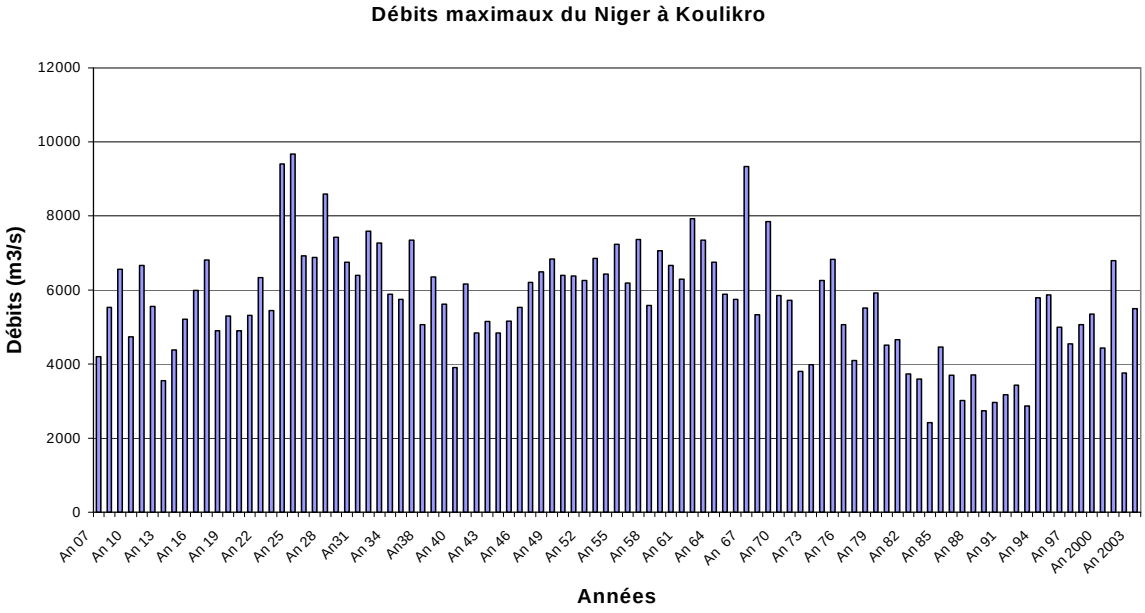


Figure 2 - Évolution des débits maximaux du Niger à Koulikoro

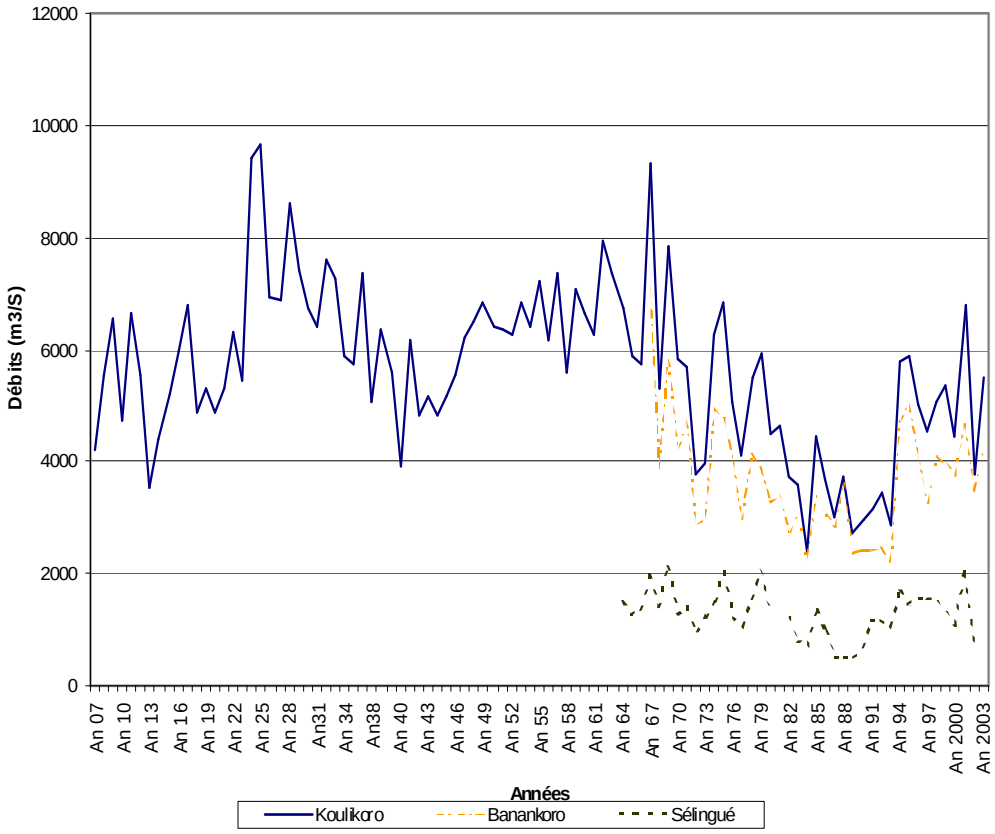


Figure 3 - Variation des débits maximaux à Sélingué, Banankoro et Koulikoro

À Koulikoro, depuis le début du siècle dernier jusqu'en 2003, les débits maximaux ont varié entre 9 670 $m^3.s^{-1}$ en 1925 et 2 400 $m^3.s^{-1}$ en 1984 .

À Banankoro, de 1967 date de la création de la station jusqu'en 2003, les débits maximaux ont varié entre 7 110 $m^3.s^{-1}$ en 1967 et 2 210 $m^3.s^{-1}$ en 1984.

À Sélingué, de 1964 à 2003, les débits maximaux ont varié entre 2 130 $m^3.s^{-1}$ en 1969 et 712 $m^3.s^{-1}$ en 1984 (figure1).

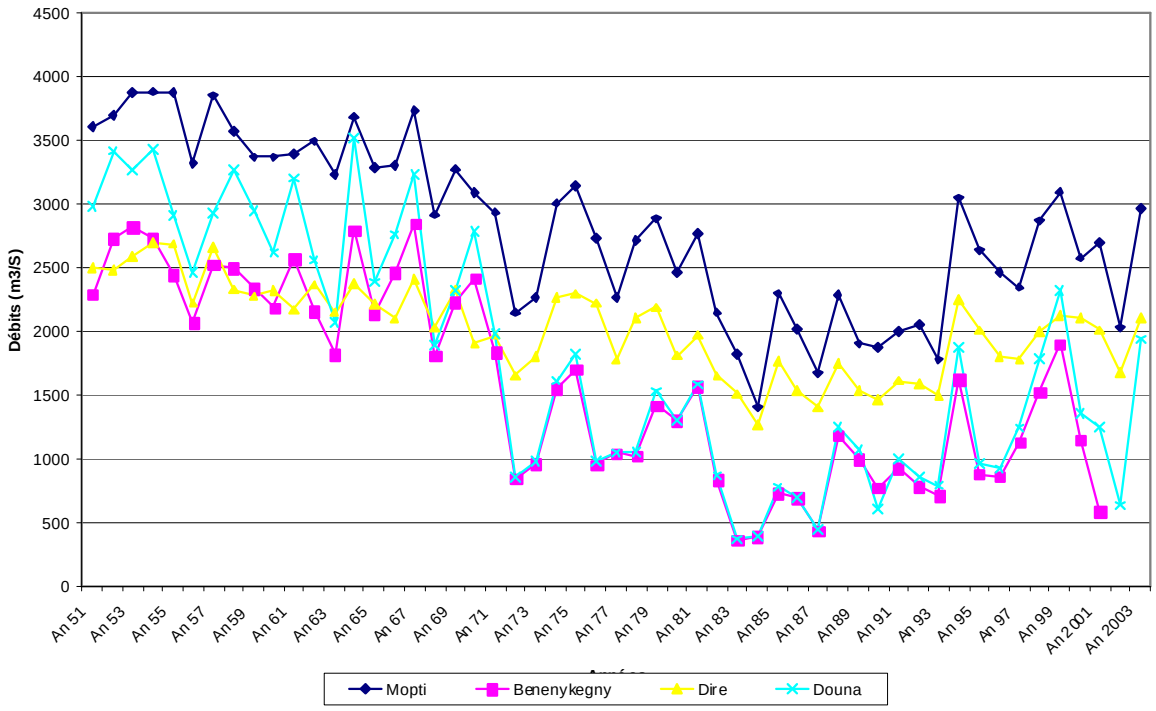


Figure 4 - Variation des débits maximaux à Mopti, Douna, Béneny, Kégny et Diré

À Douna sur le Bani, de l'année 1951 à 2003, les débits maximaux ont varié de 3 520 $m^3.s^{-1}$ en 1964 à 385 $m^3.s^{-1}$ en 1984.

À Benény Kégny également sur le Bani en aval de la station de Douna, de 1951 à 2003, les débits maximaux ont varié de 2 850 $m^3.s^{-1}$ à 387 $m^3.s^{-1}$ en 1984.

À Mopti sur le Bani, les débits maximaux ont varié de 3 890 $m^3.s^{-1}$ en 1954 à 728 $m^3.s^{-1}$ en 1984.

À Diré sur le Niger, les débits maximaux ont varié de 2 700 $m^3.s^{-1}$ en 1954 à 1 400 $m^3.s^{-1}$ en 1972 (figure 2).

 © IRD éditions 2007

Prévention des risques des excès du régime du fleuve Niger

Prévention et prévision

Il n'est pas toujours simple de faire la différence entre ces deux éléments essentiels de l'action publique en matière de risques naturels ; ceci d'autant plus que le langage commun, y compris au sein des services techniques, tend à les mélanger. Ces deux éléments sont pourtant de nature très différente sur le plan scientifique et technique, bien entendu, mais aussi d'après les organisations opérationnelles différenciées qu'il faut mettre en place pour les traiter.

Les actions, et donc les systèmes de prévision des catastrophes naturelles, sont d'abord des systèmes technologiques (quels que soient les aléas considérés) basés sur de la métrologie évoluée de paramètres environnementaux, puis sur des systèmes d'analyse des paramètres acquis et, enfin, sur des systèmes d'aide à la décision et de gestion de crise et d'après-crise. Apporter une attention soutenue à ces systèmes opérationnels conduit à mettre en place une recherche-développement forte (et souvent technologique) dans les divers domaines considérés, de la métrologie environnementale (y inclus satellitaire, radar, Lidar, …) à l'aide à la décision, et à acquérir et défendre des positions économiques et commerciales sur ces créneaux. Typiquement, des pays comme l'Allemagne, les USA, le Japon ou le Royaume-Uni se placent dans cette optique ; ce qui ne signifie évidemment pas pour autant qu'ils n'aient aucune action dans le champ de la prévention. En conclusion, maintenir un système de prévision moderne des crues, à l'échelle du bassin versant (BV) du Niger, implique la mise en place et la maintenance d'une technologie relativement sophistiquée dédiée au temps réel et, donc, de services techniques coordonnés dans les différents pays concernés ainsi que des moyens – ce qui n'est pas toujours simple dans le contexte africain – d'informer la population en temps réel.

Les actions de prévention sont de nature très différente : elles privilégient la gestion à long terme de l'occupation des sols face aux phénomènes physiques ; et la problématique dominante est d'abord dans le champ de la décision publique et du débat public, ce qui ne signifie pas pour autant que la connaissance des phénomènes physiques soit à négliger : elle seule, le plus souvent, étant capable de produire des éléments quantitatifs objectifs qui participent à la décision et qui, le plus souvent, la fondent. Considérer ces actions comme prioritaires conduit à mettre en place une recherche dans le domaine de la décision publique, sans doute moins facilement qualifiable et moins visible qu'une recherche technologique, mais tout aussi importante, surtout si on lui donne sa réelle dimension fédérative et multidisciplinaire. Les pays qui défendent cette position (typiquement la France) soutiennent qu'elle implique que l'on considère la notion de risque dans sa globalité (ce qui reste, certes, à préciser) et pas seulement son aspect « phénomène physique dont on cherche à prévoir l'occurrence et/ou l'extension spatiale et temporelle ». De ce point de vue, la notion de risque, explicitée comme le croisement d'un aléa (phénomène physique) et d'une vulnérabilité renvoyant à des enjeux socioéconomiques, prend tout son sens. Compte tenu du

fonctionnement largement intégré du BV du fleuve Niger, et encore plus de son delta intérieur, cette position devrait être soutenue par les pays concernés.

Cote d'alerte

La connaissance de la cote d'alerte passe par l'analyse fréquentielle des hauteurs maximales ou des débits maximaux suivant la disponibilité des données de la station hydrologique donnée.

Analyse fréquentielle

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés caractéristiques d'un processus donné (hydrologique ou autre) afin d'en définir les probabilités d'apparition future.

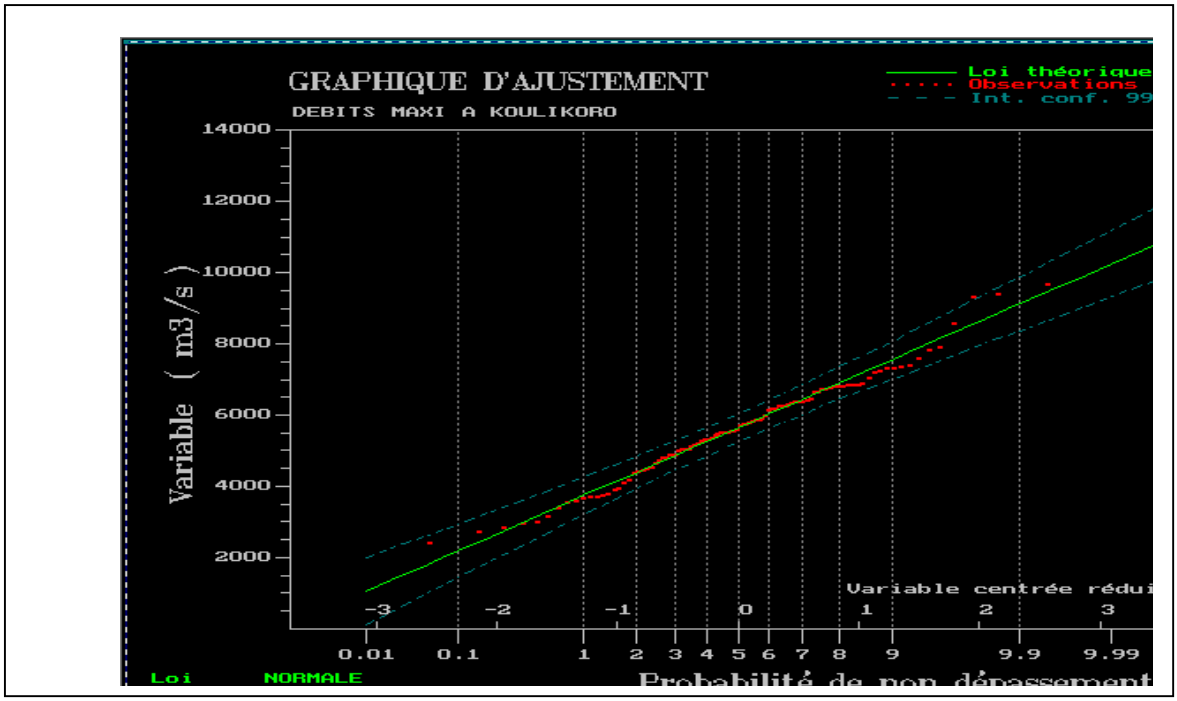
Cette prédiction repose sur la définition et la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel qui est une équation décrivant le comportement statistique d'un processus. Ces modèles décrivent la probabilité d'apparition d'un événement de valeur donnée.

L'analyse fréquentielle fait appel à diverses techniques statistiques et constitue une filière complexe qu'il convient de traiter avec beaucoup de rigueur.

La validité des résultats d'une analyse fréquentielle dépend du choix du modèle fréquentiel et plus particulièrement de son type.

Ainsi, nous avons choisi les débits maximaux des principales stations dans le bassin du fleuve Niger afin d'en déterminer les crues avec les périodes de retour (figure 5). La cote correspondant à une crue centennale est considérée comme une cote critique qui provoquerait à tout point de vue l'inondation des villes riveraines du fleuve Niger.

Figure 5 - Analyse fréquentielle des débits maximaux de la station de Koulikoro



La loi normale a été utilisée avec la méthode du maximum de vraisemblance pour l'analyse fréquentielle des débits maximaux à Koulikoro.

En année médiane, le débit maximum sera de 5 655 $m^3.s^{-1}$. La crue centennale humide donnera un débit maximum de 9 118 $m^3.s^{-1}$ (tableau 5). La crue millennale donnera un débit maximum de 10 255 $m^3.s^{-1}$ (figure 5 et tableau 3).

Probabilités	Débits (m^3/s)	Intervalle de confiance à 99 %	
		Borne inférieure	Borne supérieure
0,0010	1 055,225	114,865	1 995,585
0,0020	1 370,890	483,552	2 258,228
0,0050	1 820,908	1 007,814	2 634,001
0,0080	2 069,357	1 296,429	2 842,285
0,0100	2 192,258	1 438,943	2 945,573
0,0200	2 598,018	1 908,043	3 287,993
0,0500	3 206,655	2 606,426	3 806,883
0,0800	3 563,567	3 011,949	4 115,185
0,1000	3 747,425	3 219,340	4 275,511
0,1500	4 112,281	3 627,129	4 597,433
0,2000	4 402,257	3 946,889	4 857,624
0,3000	4 874,436	4 457,084	5 291,788
0,4000	5 277,896	4 880,351	5 675,441
0,5000	5 655,000	5 263,685	6 046,315
0,6000	6 032,104	5 634,559	6 429,649
0,7000	6 435,564	6 018,212	6 852,912
0,8000	6 907,743	6 452,376	7 363,111
0,9000	7 562,575	7 034,489	8 090,660
0,9500	8 103,345	7 503,117	8 703,574
0,9900	9 117,742	8 364,427	9 871,057
0,9950	9 489,092	8 675,999	10 302,186
0,9990	10 254,775	9 314,415	11 195,135
0,9999	11 190,713	10 089,764	12 291,662

Tableau 3 - Probabilité d'apparition des débits maximaux à Koulikoro

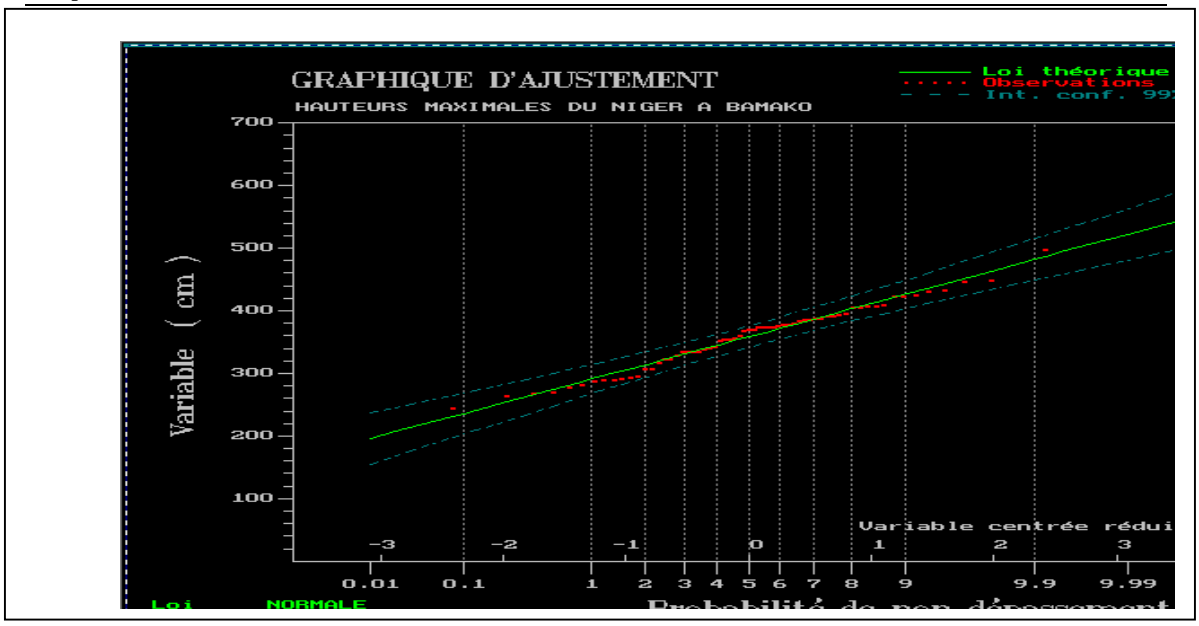


Figure 6 - Analyse fréquentielle des hauteurs maximales à la station de Bamako

La loi normale a été utilisée avec la méthode du maximum de vraisemblance. En année moyenne, la cote de 359 cm sera observée à Bamako tandis que la centennale humide donne une cote 482 cm (tableau 5). En millennale humide, une cote de 555 cm sera observée à Bamako (figure 6 et tableau 4).

Probabilités	Hauteurs (cm)	Intervalle de confiance à 99 %	
		Borne inférieure	Borne supérieure
0,0001	162,539	114,300	210,779
0,0010	195,761	154,558	236,964
0,0020	206,966	168,086	245,846
0,0050	222,939	187,312	258,566
0,0080	231,758	197,891	265,625
0,0100	236,120	203,113	269,128
0,0200	250,523	220,291	280,755
0,0500	272,127	245,827	298,427
0,0800	284,796	260,626	308,965
0,1000	291,322	268,183	314,460
0,1500	304,272	283,015	325,530
0,2000	314,565	294,613	334,518
0,3000	331,325	313,038	349,612
0,4000	345,646	328,227	363,065
0,5000	359,032	341,886	376,178
0,6000	372,417	354,998	389,836
0,7000	386,738	368,451	405,025
0,8000	403,498	383,546	423,451
0,9000	426,742	403,603	449,881
0,9500	445,937	419,637	472,237
0,9900	481,943	448,936	514,951
0,9950	495,124	459,497	530,751
0,9990	522,303	481,099	563,506
0,9999	555,524	507,284	603,764

Tableau 4 - Probabilité d'apparition des hauteurs maximales à Bamako

Stations	Cote à la crue centennale (cm)	Débits à la crue centennale ($m^3.s^{-1}$)
Banankoro	950	7 035
Bamako	482	*
Koulikoro	790	9 118
Mopti	740	4 348
Dire	600	2 784

Tableau 5 - Débits et cote à la crue centennale de quelques stations hydrométriques du bassin du fleuve Niger

Gestion des inondations

Gestion des inondations dans le delta

Les stratégies de mitigation des crues se composent de plusieurs types d'interventions en fonction de la nature de la zone inondable : plaine inondable, lacs et mares d'inondation.

Mesures structurelles

La régulation des inondations se fait par :

- la création de digues traditionnelles de gestion des crues sans ouvrage de gestion. Ce type d'ouvrages est détruit (ou simplement une brèche est ouverte dans le corps de la digue) après la crue pour évacuer l'excédent d'eau et effectuer les cultures de décrue sur les terres gorgées d'eau ;
- la création d'ouvrages de régulation, de réservoirs et de lâchers de crues artificielles : au niveau du barrage de Sélingué et du barrage de Markala. Cette gestion se fait en tenant compte des activités socio-économiques de l'aval comme l'Office du Niger et l'Office Riz Mopti ;
- l'endiguement pour la limitation de la superficie inondable et la régulation locale grâce à des ouvrages (canaux d'alimentation, digues et vannes ou seuils – en submersion contrôlée -). Ces techniques s'opèrent dans le delta intérieur du Niger. Elles se traduisent par l'isolement d'une zone dépressive en bordure du fleuve, appelée casier, et par la création des ouvrages appropriés pour gérer la crue. La plupart du temps, le casier est séparé du fleuve par une digue munie de vannes. L'inondation est admise et évacuée du casier par l'ouverture, l'ajustement et la fermeture des vannes, occasionnant une gestion efficiente de la crue et une production agricole élevée (denrées agricoles, fourrage). Ces techniques sous des formes modifiées sont utilisées pour la protection des agglomérations contre les crues. Les techniques de protection des berges y sont associées. La technique de gabionnage est fortement utilisée ;
- l'amélioration de l'extension de la productivité des spéculations traditionnelles : des nouvelles variétés de riz ont été introduites dans le delta intérieur du Niger avec une répartition des espèces en fonction de l'importance de la crue par les ouvrages traditionnels et améliorés. Ces techniques ont fait l'objet de recherche

par l'IER et ont donné des résultats très appréciés au niveau des populations. La culture fourragère (Bourgou) a donné aussi des résultats satisfaisants dans ces conditions. Les diguettes établies suivant les courbes de niveau et les digues filtrantes ont trouvé en ces techniques un usage certain.

Pour l'irrigation, la création de canaux d'irrigation permettant l'irrigation gravitaire (là où la topographie le permet) et/ou le pompage permet l'évacuation des eaux d'inondation vers l'aval par la gestion des ouvertures (fermetures des vannes de casiers et ouverture des vannes du canal). Par contre, la gestion contraire permet l'accroissement du rendement agricole par les cultures de crue, de décrue et les cultures maraîchères.

La maîtrise des crues pour des besoins de la pêche se fait aussi par la création de digues de retenue des eaux d'inondation dans les bas-fonds de la zone inondée avant le retrait des eaux. Les poissons, emprisonnés dans cet espace, sont pêchés par des techniques traditionnelles après infiltration et évaporation d'une grande quantité d'eau emprisonnée.

Les techniques d'endiguement couplées avec la réalisation d'ouvrages de gestion et de régulation (vannes) semblent dominer les autres pratiques au niveau du delta central du Niger. Les zones lacustres continuent d'adopter la submersion contrôlée et la maîtrise totale.

La répartition suivante est observée dans le delta :

- les périmètres à maîtrise totale, comme l'Office du Niger, où deux cycles culturaux sont possibles (environ 60 000 ha) ;
- les périmètres à submersion contrôlée, comme l'Office Riz Ségou et l'Office Riz Mopti (environ 70 000 ha).

Mesures non structurelles

La prévision des crues et des inondations se fait suivant deux techniques distinctes : les méthodes traditionnelles de prévision qui sont basées sur les observations de phénomènes climatiques simples et des observations biologiques et physionomiques.

Les observations des phénomènes climatiques : depuis des temps reculés, les populations rurales émettent des prévisions de crue par les constats d'orientation des vents à l'approche de l'hivernage. Ainsi, les vents forts en provenance du sud ou du sud-est (selon les régions) sont annonciateurs de crues fortes. Il en est de même du temps et du mode de déplacement de certains types d'oiseaux tels que la cigogne permettant de prévoir une saison pluvieuse ou non. L'observation des végétaux (floraison), des insectes divers (surtout les fouisseurs) ont aussi permis des prévisions plus ou moins confirmées.

Les méthodes modernes de prévisions saisonnières sont apparues avec le développement des statistiques et l'acquisition de séries de données hydrométéorologiques plus ou moins longues. Les analyses fréquentielles des précipitations ainsi que les corrélations diverses ont permis de faire des prévisions quant au dimensionnement et au calage des cotes des ouvrages de maîtrise des eaux dont ceux

des crues. Récemment, des méthodes statistiques de corrélation entre les événements pluvieux ou les écoulements et les températures de surface de la mer servent efficacement à faire des prévisions de crues sur les cours d'eau. Ces méthodes sont apparues en Afrique de l'ouest depuis 1998 avec l'implication de l'ACMAD[1], de l'ABN et de la CBLT[2] dans le cadre du programme PRESAO (Prévision saisonnière en Afrique de l'Ouest). La PRESAO est sur le point d'être institutionnalisé dans les pays de l'Afrique de l'Ouest depuis la PRESAO 4.

Importance relative des types de mesures

Les mesures structurelles sont efficaces quant à la production agricole, mais les variables pluviométriques et les variables d'écoulement sont faiblement maîtrisées par ces techniques.

Par contre, les méthodes non structurelles permettent d'apprécier à l'avance ces variables hydroclimatiques sans pour autant en assurer la maîtrise. Toutefois, les méthodes non structurelles permettent de guider les acteurs des zones inondées sur le choix des parcelles à mettre en valeur dans le contexte de l'agriculture de crue et de décrue (zones de bordant les dépressions en cas de prévision de crues importantes et cultures dans les dépressions en cas de crues faibles).

La combinaison des deux méthodes semble être la meilleure forme de maîtrise des crues pour ce qui est de la productivité et de la protection des espaces (agricoles et habitats).

Gestion des inondations à partir de Sélingué

Commission de gestion des eaux de la retenue de Sélingué

La commission « Gestion des Eaux » de la retenue de Sélingué est chargée d'assurer une gestion concertée des ressources en eau de la retenue de Sélingué. À cet effet, elle a pour attributions :

- d'examiner les différents programmes de gestion des eaux élaborés par les structures nationales bénéficiant des eaux de la retenue et de veiller à leur adéquation ;
- d'arrêter les programmes de gestion des eaux de la retenue (remplissage et déstockage) ;
- d'informer les décideurs sur l'incidence de la gestion des eaux de la retenue dans tous les aspects techniques des activités liées au barrage (production électrique, irrigation, navigation, pêche, santé, industrie, tourisme, protection de l'environnement,…) ;
- de s'assurer de la bonne tenue de l'ouvrage (fuites, auscultation et stabilité de l'ouvrage…).

1 *African center of meteorological application for development*.
2 Commission du bassin du lac Tchad.

Activités proprement dites

Dans le cadre de l'exécution de ses missions, la cellule de crise de la commission « Gestion des Eaux » de la retenue de Sélingué a tenu 15 réunions durant la période allant du 1er septembre au 20 octobre 2003,qui ont permis de gérer au mieux les inondations dans le bassin du Haut Niger pendant la crue de 2003.

Les différents services pourvoyeurs de données étaient, entre autres, la Direction nationale de l'hydraulique (données hydrologiques), la Direction nationale de la météorologie (prévisions pluviométriques) et EDM-SA (Électricité du Mali – SA) (situation de la retenue de Sélingué). Elle a eu à diffuser trois communiqués de presse à l'intention des riverains, des utilisateurs et du grand public sur la situation hydrologique qui était caractérisée par une poursuite de la montée franche des niveaux de tous les cours d'eau du bassin du fleuve Niger avec un risque imminent d'inondation et un communiqué pour annoncer l'amorce de la décrue dans le haut bassin du Niger et la propagation de l'onde de crue en aval de Kirango-Markala.

La crue à Bamako est la résultante des apports du fleuve Niger depuis sa source en territoire guinéen et de ceux de son affluent, le Sankarani. Si la pointe de crue du Niger coïncidait avec celle du Sankarani, des inondations très importantes pourraient se produire à Bamako (cas des inondations de 2001).

Il faut noter que si les apports du Sankarani peuvent être maîtrisés à travers la gestion de la retenue du barrage de Sélingué, il n'en n'est pas de même pour le fleuve Niger en amont de Bamako sur lequel il n'y a aucun ouvrage de régulation.

Afin de minimiser les effets des inondations, la retenue a été gérée par EDM-SA, selon les consignes arrêtées par la commission « Gestion des Eaux » de la retenue de Sélingué à travers la cellule de crise, de manière à limiter les déversements de Sélingué et à écrêter au maximum la pointe de crue du Sankarani.

La retenue de Sélingué a été gérée par EDM-SA suivant les recommandations de la cellule de crise. Ces recommandations étaient faites en fonction des apports d'eau aux stations de Banankoro sur la frontière guinéenne, à Mandiana sur le Sankarani en Guinée et de l'intensité des activités pluvio-orageuses sur le bassin du Haut Niger ainsi que de la cote de la crête du périmètre irrigué de l'ODRS (Office du développement rural de Sélingué) (337,62 m) et de celle à l'Échelle de Bamako (3,70 m).

Au cours de la gestion, il a été constaté à la cote de 337,380 m en aval du barrage de Sélingué des infiltrations à travers la digue de protection du périmètre irrigué de Sélingué. En conséquence, la cote 337,00 m a été retenue au lieu de 337,62 m indiquée par l'ODRS compte tenu de la nature de la digue.

Pendant toute la période de la crise, la commission a fait des recommandations notamment pour la gestion de la retenue de Sélingué. Les consignes données par la commission ont été scrupuleusement respectées par EDM-SA.

Les activités de la commission « Gestion des Eaux » de la retenue de Sélingué s'inscrivent dans le cadre d'un processus de mise en œuvre de la gestion intégrée des ressources en eau du Niger supérieur. Dans cette première étape, il s'agit de mettre en

place un mécanisme de gestion concertée de la retenue de Sélingué. Cette commission pourra servir comme structure technique du comité du bassin du Niger supérieur qui est conforme à la Loi N° 2-006 du 31 janvier 2002 portant Code de l'Eau qui crée les comités de bassins et de sous bassins où sont représentés l'administration, les collectivités locales et les usagers.

Pour une gestion efficace des inondations, la construction de barrages s'avère nécessaire pour écrêter les crues et la protection des zones sensibles par des digues et des levées de terre.

À côté de ces aménagements, il faudrait faire l'entretien des cours d'eau et la mise en place d'un réseau hydrologique de suivi et d'alerte des crues permettant de donner les informations en temps réel.

Variation de la superficie inondée

Estimation indirecte à partir de la perte d'eau

Les échelles à Akka, à Mopti et à plusieurs autres stations donnent une description précise et facile de la variation de la hauteur d'eau. Il est plus difficile d'estimer la superficie de la zone ayant été couverte par l'eau afin de montrer la variation journalière et annuelle dans la zone d'inondation. C'est la raison pour laquelle la superficie inondée telle que donnée dans plusieurs rapports varie entre 20 000 et 40 000 km^2. La variation annuelle de la zone inondée a été faite en analysant la perte d'eau due à l'évaporation (Quensière, 1994 ; Kuper *et al.* 2000).

Il est possible d'estimer la zone ayant été inondée chaque année à partir des données de perte. Selon ce modèle d'étude, la superficie inondée maximale variait entre 9 500 km^2 en 1984 et 44 000 km^2 en 1957. La superficie de la zone inondée peut être décrite avec précision en fonction de la hauteur maximale de la crue à Akka (figure 7). Cependant, la relation ne signifie pas automatiquement que l'estimation de la superficie de la zone inondée est correcte. Le modèle peut être erroné dans la mesure où la perte d'eau ne peut pas totalement être justifiée par l'évaporation. En plus de celle-ci, l'eau pourrait être perdue par des écoulements souterrains à l'intérieur du delta. Dans tous les cas, même si le modèle est correct, on aimerait encore connaître en plus de la superficie totale ayant été inondée, la distribution des zones inondables en fonction de la hauteur de l'eau. Les images satellites offrent une opportunité d'obtenir ces informations.

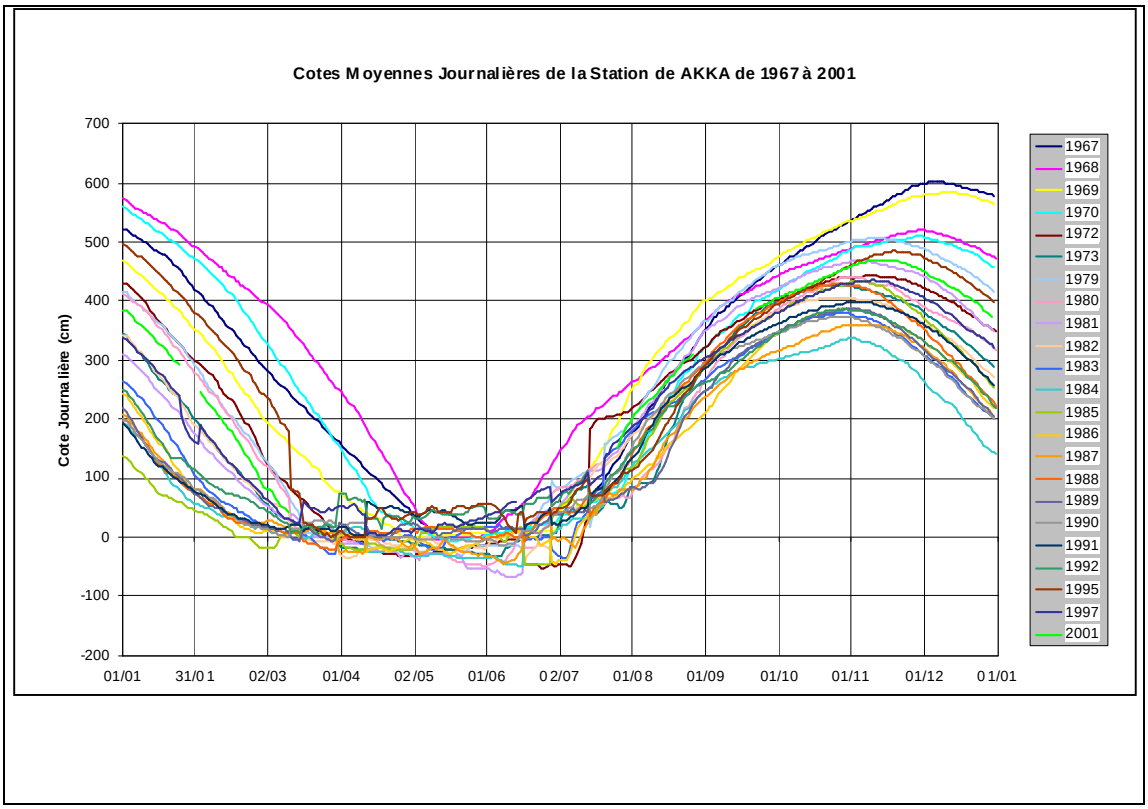


Figure 7 - Cotes moyennes journalières de la station d'Akka de 1967 à 2001

Estimation directe par télédétection

Grâce aux satellites circulant autour du globe, il est possible d'observer continuellement la terre et de voir aussi si une zone est couverte d'eau ou non (figure 8). Les satellites Landsat passent sur le delta tous les 15 jours et cela depuis 20 ans. Parmi les centaines d'images satellites du delta, seulement une fraction paraît être disponible et utile. La hauteur de l'eau est connue pour tous les jours durant lesquels l'image satellite était disponible.

Des images d'une résolution moyenne (de type Landsat) suffisent pour ce genre d'analyse, mais ces images ont, d'une part, un coût important et, d'autre part, leur analyse et leur traitement implique des compétences spécifiques et du matériel adapté (notamment des logiciels). Les images satellites permettent non seulement de suivre l'étendue des zones inondées, mais elles peuvent également servir à estimer le volume d'eau mobilisé dans les plaines inondables en combinaison avec des données topographiques collectées sur le terrain.

Selon le modèle d'inondation basé sur les mesures de la perte d'eau, on peut déterminer la superficie totale ayant été entièrement inondée dans le delta.

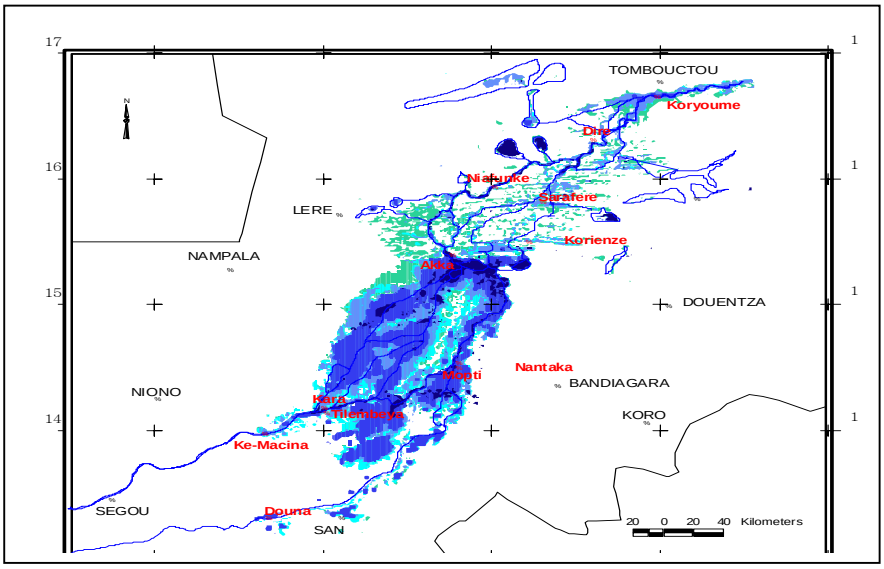


Figure 8 - Carte du delta intérieur / zone inondée

Dans la thèse de Mariko (2004), il a été utilisé les images NOAA (National oceanic and atmospheric administration) pour déterminer les surfaces inondées dans le delta intérieur. La corrélation des surfaces inondées totales avec les hauteurs d'eau à la station de Mopti située au centre du delta semble donner de meilleurs résultats au niveau de l'ensemble du delta et des zones amont et aval (figure 9). Au-delà de l'anticipation des surfaces inondées, la station de Mopti peut servir d'outil de prévision pour la gestion des campagnes rizicoles notamment dans le delta aval. Le transfert des eaux prend en moyenne un mois, entre Mopti et Diré, temps de prévision nécessaire pour les préparatifs des champs et des semis.

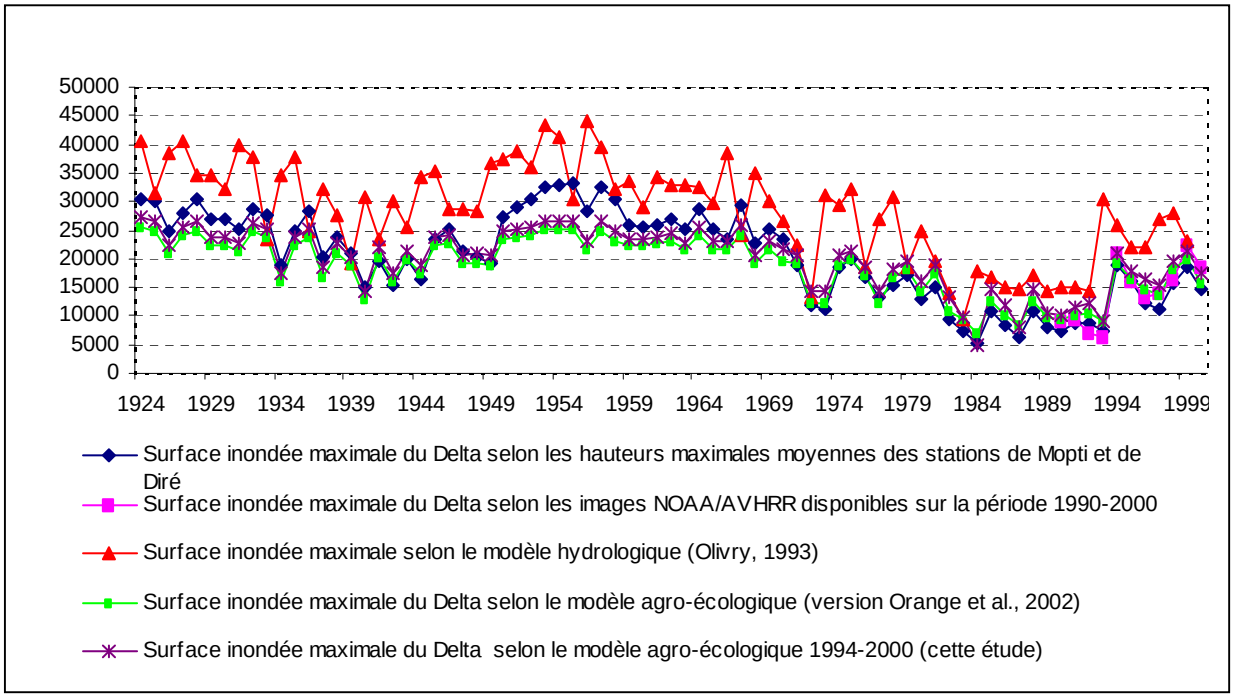


Figure 9 - Surface inondée maximale selon les différents modèles

 © IRD éditions 2007

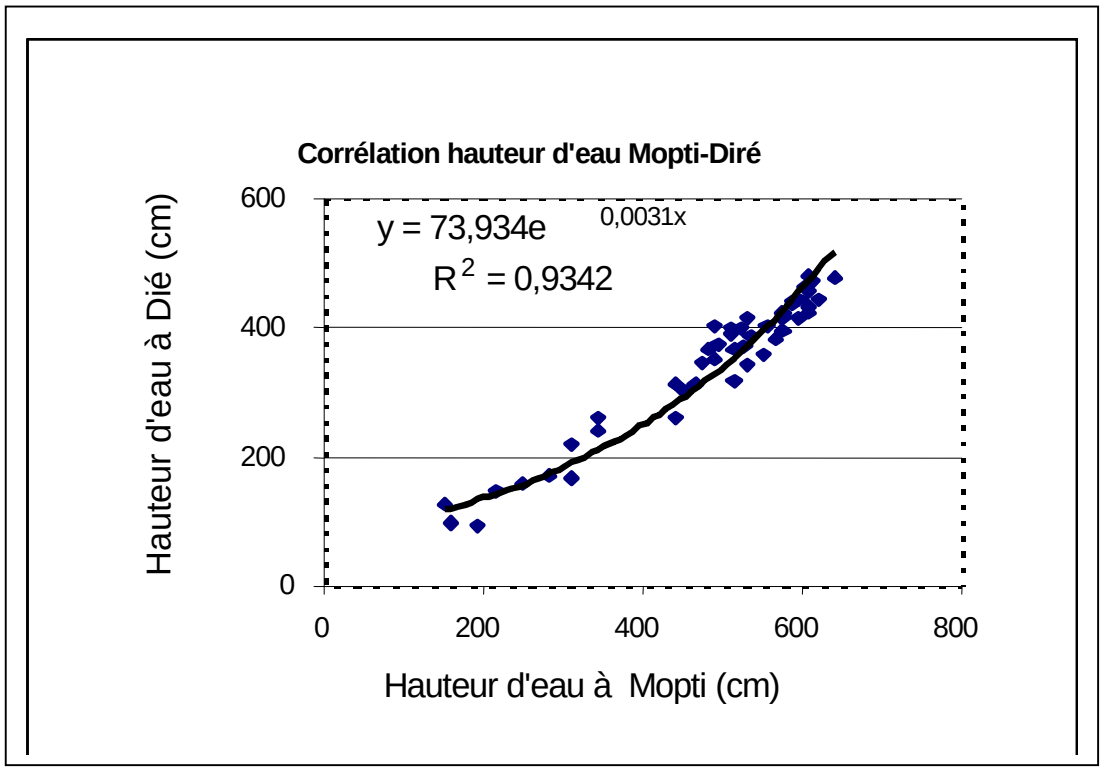


Figure 10 - Corrélation hauteur d'eau Mopti/Diré

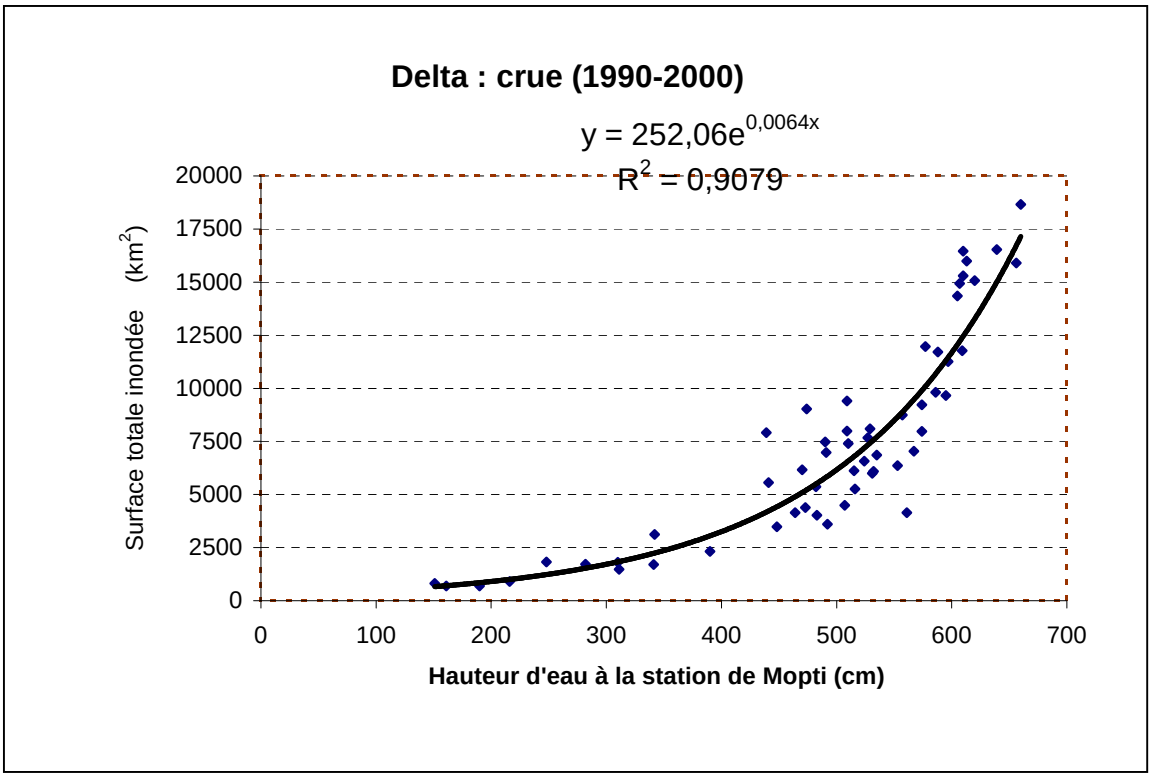


Figure 11 - Relation entre surface inondée et hauteur d'eau à Mopti

Description des crues

Types de crues/inondation

Le fonctionnement spatio-temporel du système d'inondation du delta intérieur du Niger et de ses cuvettes lacustres fait apparaître un phénomène saisonnier caractérisé par le déclenchement des crues seulement pendant la saison pluvieuse. Cependant, sachant que les eaux constituant les crues du delta intérieur du Niger proviennent pour la majeure partie des apports du bassin amont du fleuve Niger, il est évident que l'inondation observée dans ce complexe hydrologique aura une empreinte d'inondation de grand cours d'eau. Cette particularité se justifie par la durée de l'inondation s'étendant sur plus de 4 mois (octobre - janvier).

La saisonnalité des crues est due essentiellement aux apports constitutifs du bassin amont du fleuve Niger. Celles-ci proviennent des eaux de ruissellement du haut bassin du Niger (Niger supérieur et Bani) provoquées par la mousson. Ces crues sont atténuées par l'épandage sur les larges espaces du delta. Pendant cet épandage, les chenaux d'alimentation des lacs sont atteints et fonctionnent comme des canaux d'emmenée entre le fleuve en crue et les lacs : les systèmes des lacs sont ainsi alimentés en eaux de crue.

Incidence des crues fortes

Les crues exceptionnelles surviennent dans le delat intérieur du Niger à la suite de crues exceptionnelles sur le Niger et sur le Bani mais aussi sur les cours d'eau torrentiels en provenance du plateau Dogon. L'accumulation de ces eaux dans la dépression du delta provoque une montée brutale des eaux, inondant toutes les terres.

Lorsque ces événements surviennent quelques jours après la semence des cultures de crue, il en résulte une perte partielle ou totale des récoltes. En effet, les jeunes plantes sont immergées pendant un temps ne lui permettant pas de mener à bien leurs fonctions de photosynthèse. Il en résulte un pourrissement de la jeune plante. Il n'est plus possible de semer encore la même parcelle à cause du plan d'eau. Seul le repiquage permet de sauver la saison agricole dans les zones à faible lame d'eau.

Les crues trop fortes entraînent aussi des sinistres se traduisant par la destruction des habitations et des biens des paysans, des éleveurs et des pêcheurs, par le naufrage des animaux et, rarement, par des pertes en vies humaines.

Les crues extrêmement fortes favorisent la navigation fluviale.

Description des désastres d'inondation

Les inondations extrêmes dans le bassin Niger (comme ce fut le cas de la crue de 1967) ont eu plusieurs incidences socio-économiques et environnementales dont les plus notables sont :

- l'inondation des habitats d'agriculteurs, d'éleveurs mais surtout de pêcheurs situés sur les rivages (villages et hameaux) de la zone inondée et des systèmes de lacs ;

- la destruction des plants de riz, de mil et de sorgho plantés en début d'hivernage sous humidité pluviale ;
- la disparition d'animaux (ruminants, volaille) dans les villages et les hameaux.

Une crue est dite désastreuse au niveau du delta intérieur du Niger si la surface inondée est supérieure à 84 000 km^2 et que la hauteur moyenne de lame d'eau excède 3,5 m.

Recommandations/actions de lutte contre les crues

La prévention

La meilleure politique à adopter est celle d'une gestion préventive des crues. Cela nécessite une bonne maîtrise des techniques de l'eau avec :

- la construction de barrages ou de retenues, quand cela est possible, pour écrêter les crues. Ce principe consiste en un stockage des eaux dans le lac de barrage pour éviter les crues en aval ; cet excédent d'eau est ensuite redistribué au fleuve avec un débit contrôlé ;
- l'entretien des cours d'eau, dans la mesure du possible : curage des lits et entretien des berges pour éviter leur obstruction par des troncs d'arbres favorisant le dépôt des sédiments qui diminuent le débit, entraînant ainsi la sédimentation et la formation de bouchons et rendant aussi les inondations plus fréquentes ;
- la protection des zones sensibles en bord de rivière par des digues et des levées de terre ;
- la mise en place d'un réseau d'assurance des crues : celui-ci nécessite une surveillance très attentive des stations de jaugeage et une connaissance parfaite du comportement des rivières du bassin versant (temps de réponse : rapidité de propagation de la crue et vitesse de résorption de la crue, entre autres).

La prévention des crues passe aussi par un contrôle de l'occupation des sols : dans les pays développés sont mis en place, par commune, des plans d'occupation des sols (POS). Ces plans doivent signaler les zones à risque d'inondation, n'y autoriser que l'établissement d'activités agricoles, y limiter les activités économiques industrielles et y interdire les lotissements à but d'habitation.

Au Mali, l'installation anarchique de la population dans le lit majeur des cours d'eau engendre fréquemment l'inondation des villes riveraines. Une sensibilisation accrue de la population doit être faite par les autorités communales afin de mettre fin à un tel comportement.

Dans le cas de la retenue de Sélingué, il est important d'observer les consignes suivantes :

- ne pas remplir la retenue au-delà de la cote 348,5 m avant l'amorce de la décrue du Sankarani ;
- évacuer les populations menacées par les eaux du fleuve ;

- fournir régulièrement les informations sur l'évolution de la situation hydrologique.

L'accroissement démographique ajouté à une mauvaise gestion des ressources (utilisation incontrôlée des sols et négligence des systèmes d'écoulement) font que les inondations qui sont des aléas naturels deviennent des désastres.

Une gestion à vue a été faite sur le plan administratif et politique, les solutions tentées ayant été, pour la plupart, des appuis (en termes de secours alimentaire et médical) essentiellement apportés par le gouvernement, les ONG et les organisations internationales.

Les solutions à préconiser pour une gestion rationnelle et durable de l'inondation sont :

- d'accélérer les textes sur la mise en place de la commission nationale de gestion des catastrophes (CNGC) ;
- de constituer un fonds d'urgence ;
- de créer une base de données des ONG (nationales et internationales) intervenant en cas d'inondation ;
- de maintenir et de renforcer le protocole d'accord DGPC/PRMC.

Quant aux mesures préventives susceptibles de diminuer la répétition annuelle des inondations, elle sont :

- d'avoir un plan d'occupation des sols (POS) ;
- d'élaborer une réglementation par les services compétents pour les types de constructions appropriées à ces zones inondables ;
- d'élever le niveau de conscience des responsables (chefs traditionnels divers, responsables d'association et de groupements, notabilités diverses, …) ;
- de mettre en œuvre un système de surveillance, de prévention et d'alerte précoce.

Action à moyen terme

Pour prévenir les inondations, les mesures qui doivent être prises sont :

- la mise en place d'un cadre adéquat de concertation de tous les acteurs conformément au code de l'eau (création de comités de bassins) ;
- le balisage des limites du lit majeur du fleuve Niger dans les agglomérations à la cote du maximum des eaux (cote centennale par exemple) ;
- le renforcement des berges du fleuve Niger dans les agglomérations.

Action à court terme

La campagne d'information et de sensibilisation devra être poursuivie et renforcée auprès des populations riveraines pour les inviter à plus de prudence, à s'éloigner des abords immédiats des cours d'eau et, éventuellement, à évacuer les habitations situées dans les zones à risque.

Sur le plan sanitaire, des dispositions doivent être prises pour prévenir ou maîtriser d'éventuels foyers de pathologies liées aux inondations, notamment le choléra, et pour sécuriser et/ou traiter les sources d'approvisionnement en eau des populations.

Recommandations / les mesures attendues

Au plan humain

À court terme

- couvrir les besoins d'urgence des populations ;
- faire libérer, avant la date officielle de la rentrée scolaire, les salles de classe et les logements des enseignants utilisés pour abriter les populations sinistrées.

À moyen terme

- poursuivre le recasement des populations dans des zones sûres sous des tentes, dans des bâtiments administratifs présentement libres ou auprès des voisins et des parents ;
- équiper ces lieux d'habitation provisoire (en lampes, ustensiles de cuisine, nattes, points d'eau, toilettes, etc.) ;
- donner un appui en nourriture pendant au moins trois mois (jusqu'à la récolte),
- assurer le suivi sanitaire des populations sinistrées ;
- apporter un appui aux enfants scolarisés ou à scolariser dans la perspective de la rentrée scolaire ;
- drainer les eaux qui stagnent dans les domiciles, les villages et les villes et qui constituent un danger pour les bâtiments et pour les habitants ;
- réhabiliter tous les bâtiments et logements administratifs écroulés ;
- identifier pour toutes les localités concernées des sites de recasement sûrs ;
- assainir toutes les agglomérations à risque ;
- respecter rigoureusement les principes d'urbanisme et d'assainissement lors de tout lotissement ;
- élaborer un plan d'assainissement de toutes les communes urbaines et des grandes villes ;
- faire le point de l'impact des inondations sur la production des populations concernées en vue d'envisager des mesures à leur endroit pour préserver leur pouvoir d'achat : concours céréalier à long terme pour la culture de contre-saison et autres concours.

Dans le domaine du secteur rural

À court terme

- évaluation des besoins en semences maraîchères et des besoins en appui alimentaire (PAM) ;
- désherbage des parcelles envahies après le retrait de l'eau et raffermissement des terres ;

- suivi permanent de l'évolution de la situation dans les différentes localités par les comités de crise ;
- sensibilisation des populations autour des activités de maraîchage ;
- intensification des cultures de contre-saison ;
- mise en place de banques de céréales ;
- mise en place d'actions amélioratrices de revenus dont l'embouche ovine/caprine, les activités de promotion des femmes et l'aviculture ;
- aide d'urgence en céréales aux paysans ayant perdu leurs greniers ;
- compensation des pertes de céréales avec 900 kg de céréales pour un hectare inondé ;
- différé des crédits des exploitations cotonnières ayant perdu plus de la moitié de leur superficie ;
- suivi sanitaire des animaux ;
- diminution de la lame d'eau par pompage ;
- utilisation de variétés de riz adaptées aux zones à immersion profonde ;
- renforcement des interventions de l'OPAM.

À moyen terme

- intensification de la lutte anti-érosive dans les zones inondables pour favoriser l'infiltration ;
- mesures pour éviter l'installation des parcs à bétail dans les zones inondables ;
- promotion des cultures de contre-saison.

Dans le domaine des infrastructures

À court terme

- renforcement des systèmes de suivi et de sécurisation des infrastructures de transports, instauration des procédures d'alerte et d'information en temps réel

À moyen terme

- extension du réseau d'observation hydrologique et météorologique ;
- renforcement des capacités de la Direction nationale de l'hydraulique ;
- renforcement du réseau de suivi hydrologique ;
- renforcement des activités du groupe de travail pluridisciplinaire d'assistance agro-météorologique par le perfectionnement en prévision saisonnière des cadres et par l'acquisition d'équipements modernes.

Dans le domaine socio-sanitaire

Les mesures à envisager portent sur :

- le pré-positionnement des vaccins et du matériel de vaccination ;
- l'approvisionnement des populations en chloroquine, insecticides, désinfectants, moustiquaires imprégnées, couvertures, grésil, eau de Javel et savon de toilette ;

- le renforcement de l'IEC (Information- Éducation -Communication).

Dans le domaine de l'habitat

À court terme

Les mesures à court terme doivent aider les populations à surmonter le cap difficile. C'est pourquoi, il est important que les zones les plus affectées soient identifiées et déclarées zones sinistrées.

À moyen terme

Quant aux mesures à moyen terme, elles nécessitent un financement plus important devant permettre, entre autres, de restaurer les infrastructures et de renforcer les systèmes de protection en prévision de risques futurs.

Au delà de ces mesures, il se pose le problème de la gestion efficiente des sinistres.

Les mesures attendues sont les suivantes :

- prévoir et aménager des espaces (places publiques, réserves foncières) dans les communes pour recevoir les sans abri en vue de libérer les établissements scolaires ;
- sensibiliser les populations pour qu'elles fassent l'effort d'entretenir leur habitat avant chaque hivernage ;
- aménager les collecteurs naturels comme indiqué dans les différents schémas directeurs d'aménagement et d'urbanisme de Bamako et des autres villes ;
- curer les caniveaux existants et en créer d'autres si nécessaire ;
- libérer les servitudes des cours d'eau ;
- veiller à l'application rigoureuse des textes relatifs aux autorisations de construire ;
- accélérer le lotissement et viabiliser les nouveaux quartiers avant toute occupation ;
- aménager les berges des fleuves là où ces derniers traversent des villes ou de grosses agglomérations ;
- tenir compte des niveaux des plus hautes eaux dans les futurs plans d'urbanisation.
-

Gestion des risques d'inondation liés aux incidents de manipulation des ouvrages, avaries et ruptures

La sécurité du barrage de Sélingué a retenu l'attention des responsables politiques et administratifs maliens à cause de la localisation de ce barrage – dont la rupture pourrait causer d'énormes pertes matérielles et en vies humaines – en amont des principales villes situées le long du fleuve Niger.

Les crues exceptionnelles de septembre 2001 et le remplissage rapide de la retenue ont causé d'importantes inondations qui ont attiré l'attention des pouvoirs administratifs et techniques sur les possibilités de rupture dudit barrage avec ses conséquences sur les villes et les villages en aval, les installations socio-économiques, les cultures et le bétail.

Dans le cas du fleuve Niger au Mali, seule la rupture du barrage de Sélingué peut occasionner un risque majeur sur les personnes et les biens. Cependant, hors du Mali, le futur barrage de Fomi en Guinée, une fois construit, aura les mêmes risques que ceux de Sélingué.

État des lieux sous l'angle des phénomènes physiques et institutionnels

Phénomènes physiques

Le scénario de rupture du barrage de Sélingué et de ses effets en aval se déduit aisément des événements de risque d'inondation ayant frappé les zones aval du barrage de Sélingué en 2001.

Le fleuve Niger a connu des inondations antérieures à celle de 2001. Les plus récentes remontent à la fin des années 1960 (1967 et 1969). Le niveau maximum atteint à Bamako le 14 septembre 2001 a été de 4,25 m. Ce niveau reste nettement inférieur à celui atteint en 1967, à savoir 4,99 m.

Les débits maximums pendant les inondations en septembre 2001 ont atteint la valeur critique de 2 994,8 $m^3.s^{-1}$ à Sélingué. La vitesse moyenne de la montée du niveau d'eau du fleuve Niger à Bamako a été de 14 cm par jour entre le 8 et le 14 septembre 2001.

À Sélingué, avec l'ouverture des vannes du barrage, le niveau d'eau a enregistré une montée de plus de 4 m entre le 9 et le 12 septembre 2001 soit, une moyenne de 1 mètre par jour.

En termes de dégâts et en dehors des chiffres, il faut signaler que la digue de protection des périmètres irrigués à l'aval immédiat du barrage a cédé et que sept villages ont été sinistrés. On a constaté la perte de 324,64 ha de parcelles de riz. Les populations riveraines de plusieurs quartiers de Bamako ont été évacuées. Certaines infrastructures hôtelières installées le long du fleuve Niger ont été vidées de leur

clientèle. Les pertes en vies humaines et en bétail n'ont pas été estimées. Cependant, les pertes matérielles de l'inondation de 2001 portant sur les cultures et sur les infrastructures ont été estimées, pour la seule localité de Selingué, à 755 418 724 Fcfa.

L'hivernage de 2003 a été caractérisé par de fortes pluies. Le cumul des précipitations enregistrées est égal ou supérieur à la normale sur presque toute l'étendue du territoire national. En certains endroits, il a été enregistré des hauteurs de pluie dépassant 130 mm en 24 heures et ayant entraîné des montées de niveau d'eau atteignant parfois 4 m en ravageant tout sur leur passage. Selon un rapport produit par le ministère chargé de la protection civile, les dégâts causés à l'échelle nationale ont été évalués à 9 084 773 446 Fcfa.

Suite à la crue exceptionnelle de 1967 qui a souligné l'extrême gravité d'une absence totale de prévisions dans le haut bassin du fleuve Niger, le Mali a bénéficié de plusieurs systèmes de prévisions hydrologiques, que ce soit au niveau bilatéral avec la République de Guinée ou, au niveau multilatéral, avec la mise en place de projets financés par la communauté internationale comme le Programme Hydroniger qui a couvert la presque totalité du bassin du Niger. Les différents projets avaient pour objectifs :

- la protection des populations riveraines et des activités économiques ;
- l'élaboration de prévisions de crue et de décrue pour inciter notamment les utilisateurs des aménagements agricoles à mieux gérer les apports d'eau, à sécuriser et à améliorer la production agricole ainsi que le transport fluvial et à rentabiliser les centrales hydroélectriques.

Le projet Gestion hydroécologique du Niger supérieur (Ghenis) qui est la plus récente initiative conjointe entre le Mali et la Guinée (janvier 1999 à juin 2002) visait à sauvegarder l'environnement de la partie supérieure du bassin du fleuve Niger et à aboutir à une gestion hydroécologique durable du bassin versant. Pour atteindre l'objectif global, le projet devait contribuer à l'amélioration de la connaissance hydroécologique sur le bassin supérieur du fleuve et il devait faciliter la prise de décision concernant la maîtrise des risques de dégradation des écosystèmes. Parmi les résultats obtenus, un réseau d'alerte, de suivi et de contrôle des paramètres physicochimiques, biologiques et de la qualité hydroécologique du bassin du Niger supérieur a été mis sur pied et en exploitation.

Malgré son état inachevé, le réseau d'alerte mis en place a déjà donné la preuve de son utilité pendant les inondations à Bamako en 2001. Avec les données en provenance de Banankoro (frontière avec la Guinée), les hydrologues ont été capables d'informer en temps réel les autorités, les usagers et le public sur la propagation de la crue.

Aujourd'hui, force est de reconnaître l'état défectueux des réseaux mis en place : peu de Plateformes de Collecte des Données (PCD) supposées fonctionner transmettent des données exploitables en raison de l'inadaptation de certains équipements et de la faible capacité financière d'entretien par la Direction nationale de l'hydraulique.

Un cas possible exceptionnel pourrait être lié à la rupture du barrage de Sélingué (2 milliards de m^3) qui est situé sur le Sankarani, un affluent du fleuve Niger à quelque 150 km en amont de Bamako. Dans ce cas, sans système de protection en aval, les pertes en vies humaines et matérielles seront incalculables.

Les activités de modélisation du projet Ghenis ont permis de mettre en place un système de simulation hydrologique et hydrodynamique du Niger supérieur permettant de prévoir les niveaux, les débits et le transfert des pollutions. Le modèle choisi (Mike 11) a, d'abord, été adapté à la zone d'étude, c'est-à-dire construit avec la saisie des informations spécifiques sur le réseau hydrographique, la pluviométrie, l'évaporation, les hauteurs et les débits. Ensuite, on a procédé à son calage à l'aide de données hydrométriques d'une année sèche (1984) et d'une année humide (1969) et la vérification a été faite sur une année moyenne (1994).

L'exploitation du modèle a permis d'analyser divers scénarios quantitatifs ou qualitatifs et d'anticiper sur les impacts des aménagements en cours et projetés sur le régime hydrologique.

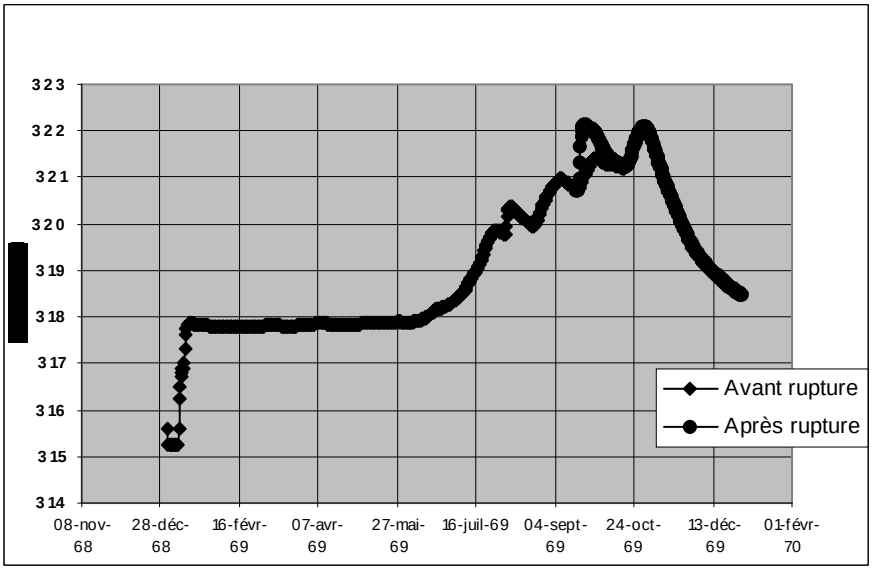
Ainsi, parce que l'on veut considérer la rupture du barrage en mettant les choses au pire, sa rupture a été simulée pour une année humide comme 1969.

La date initiale de cette simulation sans barrage a été choisie en tenant compte du fait que le réservoir de Sélingué est plein au moment de la rupture (09/09/1969).

Les conséquences à l'aval d'une rupture du barrage de Sélingué sont mieux illustrées par la figure 12 ci-après.

On constate, entre la situation avant rupture et celle après rupture, une différence maximale de hauteur de l'ordre de un mètre du 21 au 23 septembre. À Koulikoro, on observe une augmentation des hauteurs d'eau de l'ordre de 1 mètre à près de 4 m. À Ké-Macina, la différence s'estompe pour devenir nulle.

Figure 12 - Cotes du Niger à Bamako en cas de rupture du barrage de Sélingué en année humide comme 1969



Institutions nationales concernées par les risques d'inondation liés aux incidents de manipulation des ouvrages, aux avaries et aux ruptures en cas d'inondation

Plusieurs structures nationales sont impliquées dans la gestion des risques liés aux ruptures de barrages dans le bassin du fleuve Niger. Il s'agit :

du Ministère des Mines, de l'Énergie et de l'Eau (MMEE)

La tutelle actuelle du secteur de l'eau est assurée par le Ministère des Mines, de l'Énergie et de l'Eau. Dans le domaine du secteur de l'eau, sa mission consiste à élaborer la politique nationale de l'eau. Deux de ses structures départementales sont directement impliquées dans la gestion des risques de rupture des barrages.

de la Direction nationale de l'énergie (DNE)

Cette institution est concernée par la réalisation et l'exploitation des centrales hydroélectriques à travers le pays. Les barrages hydroélectriques en cours d'exploitation sur le fleuve Niger sont ceux de Sotuba (sur une dérivation du fleuve Niger) et de Selingué (sur un affluent du Niger).

Une rupture de barrage impliquerait cette institution à cause de sa mission de mise en œuvre de la stratégie nationale en matière de production hydroélectrique et en tant que principale institution officielle nationale interlocutrice de la société de production et d'exploitation de l'énergie hydroélectrique. Le travail de suivi, d'auscultation et de planification des réparations lui incombe.

de la Direction nationale de l'hydraulique (DNH)

Cette institution, chargée de la mise en œuvre et de l'application de la politique nationale en matière de mobilisation, de gestion et d'exploitation des ressources en eau.

La DNH a pour mission d'élaborer les éléments de la politique nationale de l'eau au Mali. À ce titre, elle est chargée :

- de faire l'inventaire et d'évaluer le potentiel, au plan national, des ressources hydrauliques ;
- d'étudier, de contrôler, de superviser les travaux de réalisation des ouvrages hydrauliques et de veiller à leur bon état de fonctionnement ;
- de procéder à l'évaluation des projets de développement dans le secteur de l'eau ;
- de participer à la promotion de la coopération sous-régionale dans le domaine de la gestion des ressources en eau.

À cet effet, cette institution est concernée par tout problème sur ces ouvrages, en particulier les problèmes de fuite pouvant générer de graves erreurs dans la planification et la gestion des retenues ainsi que les problèmes de rupture pouvant engendrer de véritables désastres en aval.

La DNH dispose depuis 1997, d'un laboratoire d'hydrologie isotopique doté d'équipements et de compétences nécessaires pour la détection des fuites et pour l'auscultation sécuritaire des barrages.

de l'Énergie du Mali (EDM)

L'EDM opère l'exploitation des barrages de Sélingué et de Sotuba pour la production et la vente d'électricité.

En tant que producteur et exploitant des ressources des barrages hydroélectriques, cette institution est le premier responsable des cas de rupture causée par une mauvaise gestion des retenues.

du Service de protection civile

Ce service joue un rôle primordial dans la protection, l'évacuation et le secours lors des inondations.

du comité de coordination interministériel du secteur Eau et Assainissement à travers la commission « Gestion des Eaux »

La commission « Gestion des Eaux » a pour attributions de :

- suivre la mise en œuvre des programmes d'exploitation des eaux ;
- promouvoir les échanges de données et d'informations relatives aux ressources en eau ;
- recueillir les avis des différents acteurs en vue d'une gestion rationnelle des eaux ;
- donner des avis techniques ou faire des suggestions sur les différents programmes de gestion des eaux et veiller à leur adéquation ;
- conseiller les décideurs sur l'incidence de la gestion des eaux sur le plan national et sous-régional.

du comité de gestion de la retenue de Sélingué

La commission « Gestion des Eaux » de la retenue de Sélingué est chargée d'assurer une gestion concertée des ressources en eau de la retenue de Sélingué. À cet effet, elle a pour attributions de :

- examiner les différents programmes de gestion d'eau élaborés par les structures nationales bénéficiant des eaux de la retenue et de veiller à leur adéquation ;
- arrêter les programmes de gestion des eaux de la retenue (remplissage et déstockage) ;
- informer les décideurs sur l'incidence de la gestion des eaux de la retenue dans tous les aspects techniques des activités liées au barrage (production électrique, irrigation, navigation, pêche, santé, industrie, tourisme, protection de l'environnement…) ;
- s'assurer de la bonne tenue de l'ouvrage (fuites, auscultation et stabilité de l'ouvrage…).

Recommandations

Sous l'angle technique

La sûreté de barrage doit être considérée dans tout le cycle de vie d'un barrage. Elle commence à l'étape d'exploration et de choix d'emplacement, continue par la conception et la construction puis par la vie opérationnelle entière de la structure et même pendant sa mise hors de fonctionnement. Pendant l'étape opérationnelle, la sûreté du barrage est contrôlée par un programme de sûreté de barrage qui devrait inclure les trois éléments suivants :

- les activités récurrentes ;
- la révision de sécurité de barrage ;
- le programme d'amélioration de sécurité de barrage.

Les activités récurrentes incluent le suivi et la surveillance, les inspections, la formation du personnel de terrain, la planification d'état d'urgence pour la préparation des secours, les opérations et l'entretien. Ces activités devraient être vues en tant qu'aspects complémentaires d'un programme intégré prévu pour assurer la sécurité de la structure mais aussi la sécurité des personnes dont les vies et la propriété pourraient être menacées lors de la rupture du barrage.

Les révisions de sécurité de barrage sont programmées sur un cycle périodique, qui change d'un pays à l'autre, mais s'étendent typiquement entre 3 et 10 ans. Elles comportent :

- une évaluation détaillée de l'exécution de la structure, y compris les effets du vieillissement depuis sa dernière revue ;
- la conformité aux directives courantes de sécurité de barrage ;
- les pratiques courantes admises et le besoin de mesures réparatrices.

De telles revues incluent de plus en plus une identification des modes de défaillance et une évaluation des risques. Cette façon de procéder se présente comme un moyen de synthétiser toutes les considérations qui peuvent affecter la sécurité d'un barrage existant, quoiqu'elles puissent être assignées à différents types d'activité récurrente ou à différentes disciplines. Cette approche holistique constitue également le moyen d'une meilleure intégration des activités récurrentes et des décisions économiques sur le choix des mesures réparatrices pour réduire le risque et pour assurer la durabilité.

Un programme d'amélioration de sécurité de barrage comporte généralement des mesures structurelles et des investigations de support. Il peut également inclure des mesures non structurales.

Dans chacune des trois parties d'un programme de sécurité de barrage, il est essentiel qu'une bonne compréhension soit réalisée de ces facteurs qui affectent l'exécution du barrage.

Une vue d'ensemble de la sécurité de barrage devra être prise en compte, y compris tous les aspects de recherche initiale d'emplacement, pour la conception, la construction, l'exploitation et l'évaluation continue de ses structures.

La valeur supplémentaire de sécurité, garantie par l'utilisation des techniques conventionnelles et par celles de traceurs, devrait être identifiée avant, pendant et après la construction du barrage. Cette technique combinée apparaît comme un moyen sûr d'investigation et de sûreté.

Sous l'angle Institutionnel

La gestion des risques liés à la rupture des barrages nécessite de :

- cartographier, délimiter les zones à risque et les classifier par ordre de risque, élaborer un plan d'intervention en cas de rupture de barrage et créer un modèle de simulation des inondations par scénario de rupture (rupture par brèche, rupture de partie centrale, rupture des ailes) ;
- doter les services techniques en charge de l'eau, notamment la Direction Nationale de l'Hydraulique, en équipements de surveillance permettant les études d'auscultation des barrages depuis la phase de conception jusqu'à celle de réalisation et d'exploitation ;
- mettre en place un système d'alerte précoce contre les inondations sur le fleuve Niger dans les grandes villes riveraines du Niger en incluant une synergie entre la Direction nationale de l'hydraulique, la Direction nationale de la météorologie, les gestionnaires des ouvrages (Énergie du Mali et Office du Niger) et le Service de protection civile ;
- sécuriser les populations riveraines du fleuve Niger en aval du barrage de Selingué par la prévention et l'information sur l'arrivée de crues susceptibles d'inonder les agglomérations et les zones de production agro-pastorales ;
- réduire, voire annuler, les effets des inondations dues aux crues exceptionnelles et de celles pouvant résulter de la rupture du barrage de Sélingué sur les espaces en aval situés sur les rivages du fleuve Niger ;
- renforcer les capacités de la commission « Gestion des Eaux » du barrage de Sélingué et des gestionnaires d'ouvrages hydrauliques en moyens d'intervention ;
- former les agents de la Protection Civile en matière d'alerte, d'évacuation et de sauvetage des personnes et des biens lors des inondations exceptionnelles issues des ruptures de barrage.

 © IRD éditions 2007

Gestion de l'occupation de l'espace et des catastrophes

Outils de prévention

Les outils de prévention sont généralement mis en œuvre au niveau de certains ministères dont les attributions spécifiques sont notamment de :

- définir et de mettre en œuvre les mesures et les moyens de prévention des risques majeurs d'origine naturelle (Ministère de l'Environnement) ;
- préparer et mettre en œuvre les mesures de prévention et de secours destinées à assurer la protection des populations notamment dans le cas de sinistres ou de calamités (Ministère de la Sécurité et de la Protection civile) ;
- élaborer et mettre en œuvre un plan de prévision et d'annonce des crues et de prévention des inondations (Ministère chargé de l'Eau).

En outre, ce ministère a pour attributions de :

- prendre en charge avec, le cas échéant, la participation des collectivités territoriales concernées tous les travaux tendant à la réalisation d'ouvrages de protection contre les inondations lorsque ces travaux présentent le caractère d'utilité publique ;
- modifier ou supprimer tout ouvrage susceptible de faire obstacle à l'écoulement des eaux ou de restreindre de façon nuisible le champ des inondations sur les parties submersibles des cours d'eau ;
- autoriser tout ouvrage hydraulique de prévention des inondations ;
- contrôler périodiquement les ouvrages hydrauliques susceptibles de constituer une menace pour la sécurité publique ;
- veiller au bon fonctionnement et à la protection des ouvrages hydrauliques d'importance sous-régionale, nationale ou régionale afin de prévenir toute atteinte à la sécurité publique.

Enfin, il faudrait signaler que les cotes d'alerte constituent des instruments appropriés pour collecter l'information et la porter à temps aux populations. Cependant, selon le directeur adjoint de l'ODRS, ce système n'a pas fonctionné en 2001 à cause des carences de la circulation de l'information.

Selon un paysan de Samaya (zone de Sélingué), Ousmane Kanté, des informations sont apportées régulièrement aux populations, mais celles-ci se laissent souvent surprendre par les crues à cause de leur avidité qui les pousse à cultiver sur les espaces interdits susceptibles d'être inondés.

La solution d'un tel problème ne pourrait-elle pas venir de la création d'une cellule de concertation régulière entre les autorités concernées et les populations intéressées ?

Gestion des crises

La gestion des crises est assurée par les ministères susmentionnés auxquels il convient d'ajouter d'autres ministères techniques qui ont pour attributions de :

- coordonner l'action humanitaire en relation avec les ministères concernés en matière de catastrophes naturelles dues à des inondations (Ministère des Affaires étrangères) ;
- mettre en œuvre des aides d'urgence en relation avec le Ministère des Affaires Étrangères et les autres ministères techniques concernés (Ministère de l'Administration territoriale et des Collectivités locales) ;
- prendre des mesures de protection et d'entraide sociale (Ministère chargé des Affaires sociales) ;
- veiller à la santé publique (Ministère de la Santé).

Depuis l'indépendance, des secours de diverse nature et des organes (commissions locales, régionales et nationales) ont été institués pour assister les victimes de sinistres et de calamités publiques (inondations notamment) :

- Décret N° 177.PG du 25 juin 1959 réorganisant le service des Affaires sociales ;
- Décret N° 63/SEITAS du 11 février 1960 portant réglementation des secours au titre de la République soudanaise ;
- Décret N° 44/PG du 22 février 1968 qui précisait que « les demandes de secours pour sinistres et calamités collectifs doivent mentionner les mesures d'urgences prises par les autorités locales et régionales » et que « les secours ne peuvent constituer des réparations de préjudices subis par les demandeurs ni des dédommagements aux pertes dues aux catastrophes et calamités naturelles » ;
- Décret N° 109/PG du 26 janvier 1968 portant réglementation des secours après décès ;
- Décret N° 000595/P-RM du 04 décembre 2000 réglementant la procédure de paiement du secours après décès ou capital décès applicable aux fonctionnaires, magistrats, militaires, personnels de sécurité, personnels de l'administration relevant du Code du travail et autres agents de l'État.

Les Ministères concernés se concertent et se rendent immédiatement sur les lieux des inondations en apportant directement des secours en nature et ou en argent avec le concours des Hauts commissaires et des commissions locales de secours.

Il y a lieu de recommander l'application rigoureuse des textes relatifs aux attributions du Ministre chargé de l'Eau.

Il semble nécessaire de corriger les lacunes qui seraient liées à l'absence d'une réglementation spécifique relative à la question de pollution exceptionnelle.

Les pollutions

État des lieux sous l'angle des phénomènes physiques

Long de 4 200 km, prenant sa source en Guinée, le Niger traverse le Mali sur 1 750 km, reliant ainsi les zones humides du sud aux régions désertiques du nord. C'est donc le principal pourvoyeur en eau d'irrigation du Mali et aussi la source d'approvisionnement en eau des nombreuses populations riveraines.

Malheureusement, depuis quelques décennies et, à l'instar de nombreux autres cours d'eau, le Niger est l'objet d'une pollution croissante, suite à la grande implantation des industries autour du fleuve et de l'urbanisation des villes non accompagnées de mesures d'assainissement. De nombreuses localités en sont victimes, compte tenu de leur position géographique car, à leur niveau, des quantités considérables de déchets industriels, hospitaliers et domestiques sont régulièrement déversées dans le fleuve Niger, compromettant ainsi dangereusement son avenir.

Une étude effectuée par le Ministère des Mines et de l'Énergie a révélé que depuis plusieurs années, la qualité de l'eau distribuée aux populations de Bamako et de Kati se dégradait progressivement, notamment en début d'hivernage, avec des pointes en 1984, 1988, 1993 et 1998 (MMEE, 2001). « *La flore, la faune et l'écosystème subissent durement les conséquences de cette pollution* », constate le directeur de l'Agence du bassin du fleuve. Cette situation est préoccupante pour les autorités qui ont tiré sur la sonnette d'alarme pour tenter de sauver ce fleuve qui est qualifié d'artère nourricière du pays.

La pollution des eaux, à savoir : la dégradation du milieu par le fait de l'homme, peut être physique, c'est-à-dire due à la présence de matières en suspension : elle se traduit par un trouble ou une coloration plus ou moins prononcée. Elle peut être aussi chimique, suite à la présence de substances en solution. Dans ce cas, on assiste à un changement de saveur et parfois à l'apparition d'un caractère toxique lorsque le corps dissous est un poison.

Pour la caractériser, on utilise différents paramètres dont les plus usités sont la demande biologique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO), les matières en suspension (MES), les matières azotées et, enfin, les paramètres bactériologiques (Leroy, 1999).

Les causes de pollution du fleuve Niger sont multiples. On distingue les différentes pollutions suivantes.

Les pollutions domestiques

Il s'agit essentiellement des eaux usées domestiques comprenant deux catégories :

- les eaux-vannes, provenant des wc ou des latrines ;
- les eaux domestiques regroupant les eaux de ménages et les eaux savonneuses résultant des bains, des douches, de la lessive, etc. Elles sont transportées par des effluents dont le volume varie selon les villes. Les quantités de déchets produits sont importantes. À titre d'exemple, le district de Bamako produit quotidiennement 2 000 m cubes d'ordures ménagères et 2 200 m cubes d'eaux usées dont une bonne partie est déversée dans le fleuve (source ABN). Selon une étude faite par Tecsult (1994), la production moyenne de déchets solides pour la ville de Bamako était de 1 033 828 m^3 en 2003.

Selon J.-B. Leroy (1999), la pollution domestique peut être évaluée à :

- 65 g/habitant/jour de charge organique dissoute ;
- 70 g/habitant/jour de matières en suspension ;
- 14 g/habitant /jour d'azote Kjeldahl.

Calculés sur cette base, les déchets domestiques produits par an sont importants (tableau 6) : plus de 2 000 t de MES à Mopti contre 344 à Diafarabé.

Localité	Population	Matières en suspension	Azote	Charge organique
Diafarabé	13 461	344	69	319
Djénné	19 233	491	98	456
Macina	31 655	809	162	751
Mopti	79 867	2 040	408	1 894
Youwarou	14 767	377	75	350

Tableau 6 - Quantité de déchets produits dans certaines localités du delta (en t)

Les pollutions urbaines et industrielles

Les pollutions urbaines sont très variées et regroupent les déchets d'abattoirs, des teintureries, des usines et des hôpitaux auxquels s'ajoutent les déchets occasionnés par le lavage des rues, des marchés et des trottoirs. Elles n'ont pas les mêmes impacts sur le fleuve Niger. Les déchets d'abattoirs – qui sont des déchets organiques – sont moins préoccupants que ceux des usines. Dans le district de Bamako, la production annuelle de déchets industriels atteint 9 715 t métriques dont 7 830 t métriques sont récupérées (81 %), 276 t métriques (3 %) sont recyclées, 238 t métriques sont brûlées (2 %) et 1 372 t métriques (14 %) jetées (ESPGRN SOTUBA).

Une étude effectuée dans la région de Koulikoro par la Direction régionale de l'assainissement, du contrôle des pollutions et des nuisances (DRACPN) fait ressortir que plusieurs unités industrielles contribuent à polluer le fleuve Niger et que 80 % des

usines maliennes sont implantées entre Bamako et Koulikoro (tableau 7). Elle fait ressortir aussi que la principale source de pollution du fleuve Niger est l'Huilerie cotonnière du Mali (Huicoma).

Si l'impact des pollutions engendrées par certaines unités industrielles a pu être quantifié (Huicoma, Bramali, Sukala), pour beaucoup d'entre elles nous ne disposons pas de données chiffrées. Les lignes qui suivent concernent donc essentiellement l'Huilerie cotonnière du Mali (Huicoma) et la Brasserie du Mali (Bramali).

© IRD éditions 2007

Tableau 7 - Inventaire des unités industrielles, minières, artisanales et commerciales de la région de Koulikoro

N°		Lieu d'implantation	Distance de Koulikoro	Potentialités en matière de pollutions et de nuisances							Observation
				Eau	Sol	Air	Bruits	Odeur	Paysage	Autres	
1	Huicoma	Koulikoro	-	+	+	+	+	+	+	+	Prolifération d'insectes
2	INACOM	//	-		+				+		
3	Comanav	//	-	+			+			+	
4	Usine de fûts	//	-		+		+				Non fonctionnelle
5	Usine de beurre de Karité	//	-	+				+			
6	GMM (Grands Moulins du Mali)	Kayo	5 km			+		+			Incinération des déchets
7	OMNIUM S.A. (pile Mansa)	Kayo	5 km	+	+	+	+				Pas d'observation
8	Briqueterie	Massala	9 km								
9	SAMPACARAP profil	Sala	32 km				+		+		En construction
10	SAMPACARA Métallurgie	//	- // -								
11	Nouvelle Brasserie Bamakoise	Moribabougou	40 km								
12	BRAMALI	Banankoro	80 km	+	+			+			Non fonctionnelle
13	Total Gaz Mali	//	- // -			+			+		En construction
14	SIKA – MALI	//	- // -			+			+		Pas d'observation
15	Usine d'aliments pour le bétail	//	- // -								Pas d'observation
16	Boulangerie SANOGO	Koulikoro									- // -
17	Boulangerie Bourou Massa	Kati	75 km								
18	Boulangerie Fana	Fana	175 km								
19	Carrière de DIO	Dio	85 km		+	+			+		
20	Carrière de Moribabougou	Moribabougou	40 km		+	+			+		
21	Carrière de Yékébougou	Yékébougou	130 km		+	+			+		En construction
22	Dépôt d'hydrocarbure	N'gabakoro-droit	32 km								
23	Atelier métallique	Tienfala	30 km		+			+			
24	Atelier métallique	Kati	75 km		+		+		+		Non fonctionnelle
25	SOMACO	Baguinéda	85 km								
26	Entreprise de matériel de construction	Dio	85 km			+	+				Non fonctionnelle
27	Eau minerale " Diago"	Kati - Lido	75 km						+		
28	Eau minérale Tombouctou	Kati	75 km						+		

 © IRD éditions 2007

29	CMDT Usine d'égrainage de coton	Ouéléssébougou	130 km			+	+				
30	CMDT - Fana	Fana	175 km			+	+				
31	CMDT – Dioïla	Dioïla	215 km			+	+				En construction
32	Bonneterie	Fana	175 km								En construction à Fana
33	Entreprise Italienne de TP	Didéini	245 km			+					
34	Usine d'aliments pour le bétail	Fana	175 km	+							
35	Association des teintureries	Koulikoro	-	+	+					+	
36	Association des exploitants de déchets de Huicoma	Kouliloro	-	+	+					+	
37	Mine d'or de Kangaba	Kangaba	125 km	+	+					+	

Le signe plus (+) indique que les potentialités sont positives en matière de pollutions ou de nuisances en agissant sur le sol, l'air, l'eau, etc.

Le Mali est un pays peu industrialisé. Néanmoins, rien qu'à Bamako, plus d'une centaine d'industries dans la zone industrielle en commune II rejettent des eaux usées. Les méthodes de traitement et d'évacuation des effluents industriels sont, en général, médiocres car les installations existantes sont insuffisantes ou non opérationnelles (SNV). Ainsi, la plupart des usines évacuent leurs eaux usées dans des puits d'infiltration, dans le fleuve ou dans les caniveaux pour eaux pluviales. D'autres les épandent simplement sur le sol. Quelques exemples permettront d'illustrer ces constats.

Huicoma

Les sources de pollution du fleuve par Huicoma se situent à plusieurs niveaux.

La savonnerie

Cette unité a une capacité d'environ 8 t/jour (Primature, Mission de restructuration du secteur coton, 2002). Elle produit des déchets solides tels que la pâte de neutralisation qui se retrouvent tout autour de l'usine ainsi que des eaux usées pouvant être chargées de soude caustique.

L'huilerie

La production annuelle d'huile est de 57 000 t d'huile raffinée dont 35 000 t en fût de 200 l.

Le lavage des fûts d'huile neutre à l'eau chaude produit des eaux usées chargées de soude caustique qui est un produit corrosif et dangereux pour la santé et l'environnement. Ces eaux usées sont déversées dans le fleuve au moins trois fois par mois selon les populations.

Le brûlage de coke dans les chaudières produit, d'une part, quelques 6 t de cendres pâteuses, un produit basique dangereux pour l'environnement et la santé, et, d'autre part, des escarbilles (aérosols) qui sont, dans le meilleur des cas, récupérés dans des fûts de 200 l.

Les déchets d'hydrogénation (réaction de l'hydrogène avec l'huile en présence de nickel) de l'huile sont stockés, en attendant une solution de recyclage pour récupérer le nickel, dans 42 fûts de 200 l. à 300 m en amont du point de captage de la station de traitement d'eau potable de EDM. Ces déchets dangereux, car contenant du nickel qui fait partie des métaux lourds, se retrouvent dans le fleuve sous l'effet des eaux de ruissellement.

Autres sources de pollution

Les huiles usées provenant des opérations de vidange des machines et des autres engins (environ 2 000 l par an) sont déversées dans la nature pour terminer leur course dans le fleuve à la faveur des eaux de pluie qui drainent aussi toute une gamme de déchets (déjections animales, feuilles mortes, sacs en plastique, épluchures, poussière des villes). Ces huiles sont des composés organiques de synthèse qui peuvent être responsables de la non pénétration des rayons solaires dans l'eau et de la diminution de la quantité d'oxygène dissous. En plus de la détérioration de la qualité de l'eau, elles modifient la faune et la flore aquatique et entraînent l'eutrophisation des rivières. Les

eaux de lessivage des filtres usés (environ 1 000 par an) sont des sources de pollution du fleuve car elles contiennent d'importantes quantités d'huile.

La situation est donc préoccupante à Koulikoro car les pollutions engendrées par Huicoma menacent sérieusement l'environnement et la vie des populations. Comme constat, on peut retenir :

- le changement de couleur et du goût de l'eau qui devient fade ;
- la mort des poissons entraînant une diminution des captures ;
- l'encombrement des filets de pêche par divers objets ;
- le noircissement et le pourrissement des matériels de pêche surtout quand ils sont en contact avec les mousses ;
- la destruction des pontes et des alevins qui flottent sur l'eau en toute période ;
- l'apparition de végétaux flottants ;
- la prolifération des insectes sur le fleuve ;
- la formation de grosses mousses de savon à la surface de l'eau ;
- l'apparition de diverses maladies (démangeaisons, dermatites, maux de ventre, problèmes de vision, etc.).

Les analyses effectuées par le laboratoire de la qualité de l'eau pour évaluer le niveau des pollutions montrent que :

- en amont et en aval des stations d'épuration, l'eau est polluée, basique et très colorée avec une turbidité élevée ; la DCO ainsi que les teneurs en nitrate, nitrite et nickel sont très élevées ;
- au niveau de la prise d'eau EDM de Koulikoro, la turbidité de l'eau est comprise entre 70 et 250 alors que la normale est comprise entre 0,8 et 5,5 ; quant au PH, il se situe entre 6,1 et 7,5 pour une normale comprise entre 7,1 et 7,9.

Bramali

Les déchets produits sont constitués de débris de verre, des drèches de bière, des emballages et des eaux usées de l'usine.

Les pollutions agricoles

Même si le niveau d'intensification de l'agriculture au Mali n'est pas le même que celui des pays développés, la recherche de rendements de plus en plus élevés entraîne une mécanisation croissante et une utilisation plus importante d'engrais et de pesticides. Une des conséquences pour le milieu aquatique est l'érosion des sols, suite à des monocultures, par les eaux de ruissellement qui drainent vers le fleuve tous les éléments arrachés à la terre : même une forte pluie survenant juste après une application d'engrais entraînera une quantité importante d'éléments nutritifs.

Pour la protection des cultures, des quantités importantes de produits chimiques sont utilisées chaque année.

Ainsi, en zone Office du Niger, le Fenthion et le Cyanox sont utilisés depuis plusieurs années dans la lutte contre les oiseaux pour des quantités respectives de 2 160 et 4 370 l. Si la méthode actuelle de lutte contre les déprédateurs (par signalisation des itinéraires de pulvérisation du produit par les avions) permet de minimiser les impacts sur l'environnement aquatique, il faut quand même signaler que l'eau reste non potable deux à trois jours après la pulvérisation (Diarra L., 1998).

De même, pour lutter contre les rongeurs, plus de 25 000 t de ces produits souvent dangereux pour l'homme sont déversés dans les écosystèmes sahéliens (Diarra W., 2003).

Plus récemment, en zone Office du Niger et dans la région de Mopti, la Division Prévention des Risques Protection des Animaux et Végétaux (DPRPAV 2003) a utilisé pour lutter contre les ravageurs par voie aérienne et/ou terrestre, des milliers de litres de pesticides (tableau 8).

Type de ravageurs	Niono			Mopti	
	2001	2002	2003	2002	2003
Oiseaux	15 005	4 910	17 826	1 440	1 050
Sauteriaux	6 975	505	7 827	970	2 853
Cantharides et chenilles	1 028	-	1 445	-	49

Source : Rapport annuel de la DPRPAV

Tableau 8 - Quantités de pesticide utilisées autour de Niono et de Mopti (litres d'avicides ou de ULV)

Même si l'on reconnaît l'effet bénéfique de ces traitements, il y a lieu de s'inquiéter parce que ces produits qui restent longtemps dans le sol (car, en général, très peu biodégradables) seront transportés en grande partie vers le fleuve par les eaux de ruissellement ou en profondeur pour polluer les eaux souterraines.

Transportés par les eaux, ces produits aboutiront en aval dans des mares et souvent à des concentrations dépassant les niveaux acceptables. La consommation de ces eaux polluées peut avoir des conséquences graves pour le bétail et pour l'homme.

Le maraîchage dans le lit du fleuve au niveau du district mérite aussi d'être signalé parmi les sources de pollution. Les ressources en eau utilisées pour irriguer les surfaces agricoles sont aussi utilisées pour rincer le matériel de pulvérisation des pesticides.

Les pollutions par les transports

Les sources de pollution par les moyens de transport sont variées mais difficiles à quantifier.

À la Comanav, même si les problèmes de pollution sont moindres, il faut quand même signaler :

- le déversement des huiles de vidange des moteurs de bateaux (400 l par vidange); mais de nos jours cet impact est faible car les populations récupèrent ces huiles pour d'autres besoins ;
- le lavage des citernes contenant des lubrifiants ;
- les pertes d'huiles dues à des fuites de réservoir ou à des moteurs de bateaux défaillants.

Les transports fluviaux génèrent différents types de déchets notamment dans les zones ou le trafic est intense. Les points de stationnement des bateaux sont de véritables lieux d'échange qui génèrent différents déchets : sachets plastiques, huiles, graisses, qui peuvent être toxiques. Le niveau de pollution dépend de l'importance du lieu et de la durée du stationnement.

Au cours du voyage, tous les déchets produits par les voyageurs sont déversés dans le fleuve. Il en est de même pour toutes les marchandises avariées.

Le nettoyage de cuve de produits pétroliers et des citernes transportant les pesticides contribue aussi à la pollution des eaux.

Autres sources de pollution

Compte tenu de la complexité du sujet, il est difficile de traiter de façon exhaustive l'ensemble des sources de pollution du fleuve Niger. Cependant nous pensons qu'il est nécessaire de signaler les sources suivantes :

- beaucoup de pêcheurs utilisent des produits toxiques et explosifs en vue du ramassage de poisson ;
- les pesticides sont utilisés dans la lutte contre certains vecteurs de maladies. Depuis longtemps le DDT est employé au Mali et, actuellement, un vaste programme de lutte contre l'onchocercose est mis en œuvre en collaboration avec l'OMS. Dans ce cadre, des quantités importantes de pesticides, notamment le Témephos (Abate) et le Chlorphoxim, sont utilisés pour lutter contre les larves du diptère Simulium damnosum. Ces pesticides contribuent à polluer les eaux du Niger ;
- de nombreux usagers utilisent le fleuve comme débarras de produits de toutes sortes : cadavres d'animaux, vidanges de fosse septique, nettoyage de cuve de produits pétroliers ;
- les déchets animaux représentent une autre source de pollution du fleuve. Même si leur volume réel est difficile à évaluer, compte tenu de l'importance du cheptel

dans le delta, force est de reconnaître que, lorsque ces déchets seront déversés dans le fleuve, des problèmes considérables de pollution surviendront.

Gestion des risques de pollution

Le Mali est un pays peu industrialisé. Néanmoins, rien qu'à Bamako, plus d'une centaine d'industries dans la zone industrielle en commune II rejettent des eaux usées. Les méthodes de traitement et d'évacuation des effluents industriels sont en général médiocres car les installations existantes sont insuffisantes ou non opérationnelles. Ainsi, la plupart des usines évacuent leurs eaux usées dans des puits d'infiltration, dans le fleuve ou dans les caniveaux pour eaux pluviales. D'autres les épandent simplement sur le sol. Quelques exemples permettront d'illustrer ces constats.

Huicoma

Pour l'évacuation des déchets solides et/ou liquides, plusieurs dépôts sont utilisés. Les déchets y sont stockés dans des fûts de 200 l à même le sol sans le moindre aménagement. Les fûts des déchets d'hydrogénation (qui se situent à 200 m du fleuve et à 300 m en amont du point de captage de EDM) coulent sous l'effet de la corrosion. Le sol, couvert d'huile et d'autres produits souvent dangereux, représente une source de pollution.

À la raffinerie, les eaux usées sont traitées dans deux bassins de décantation : l'un reçoit les eaux de refroidissement ainsi que les eaux du traitement en cas de panne d'électricité, tandis que le second traite les eaux de nettoyage des ateliers et des équipements et l'eau de lavage de l'huile brute. Ces bassins reçoivent donc beaucoup d'eaux usées de toute qualité. Or, une simple décantation ne peut en aucun cas épurer ces eaux chimiquement polluées. Toutes les eaux provenant des bassins de décantation constituent donc une source de pollution du fleuve. D'autre part, il faut signaler que la capacité de traitement des eaux usées de l'huilerie ne dépasse pas 60 %. Le reste des déchets liquides (40 %) est rejeté directement dans le fleuve.

La totalité des déchets produits à la savonnerie est déversée directement dans le fleuve sans aucune forme de traitement. Même si la station de traitement des eaux usées est en bon état, elle n'est pas fonctionnelle à cause du coût de fonctionnement trop élevé.

Bramali

Au niveau de Bramali, il n'y a pas de station de traitement des eaux usées. En conséquence, plus de 85 % des eaux usées sont déversées dans la nature. L'unité dispose de deux grands bassins qui ne peuvent arrêter que les grosses particules de déchet et ne répondent aucunement aux normes en vigueur. Cette situation a pour conséquence, entre autres, la pollution des eaux de surface lorsque les eaux usées sont entraînées par les eaux de ruissellement qui aboutissent souvent au fleuve.

Siribala

En zone Office du Niger, les eaux résiduelles de la sucrerie de Siribala ne subissent aucun traitement préalable et ne font l'objet d'aucun recyclage. Ces eaux sont acheminées normalement vers une cuvette située à 200 m de l'usine. Mais, en cas de panne de la pompe de refoulement, elles sont alors déversées dans les drains agricoles, entraînant une pollution occasionnelle de l'eau. Selon les pêcheurs de la zone, l'effet de cette pollution est l'asphyxie immédiate du poisson dans les endroits à forte concentration d'eau résiduelle. L'effet létal du produit s'observe sur près de 20 km au-delà du déversoir de l'usine. Sa rémanence qui reste à préciser est d'environ un mois selon les pêcheurs (Diarra L., 1998).

Recommandations

Au terme de ce bref survol, nous proposons quelques mesures d'atténuation des impacts de la pollution. D'une façon générale, pour améliorer la qualité de l'eau, nous recommandons :

- de communiquer pour un changement de comportement (CCC) : il s'agira de mettre un accent particulier sur l'implication des populations dans la sauvegarde de l'environnement. Une prise de conscience sur les conséquences néfastes de certains gestes quotidiens devra être l'objectif visé par une bonne politique d'information, d'éducation et de communication (IEC) ;
- de traiter les déchets liquides de toutes les unités industrielles avant leur rejet dans le fleuve ;
- de construire des magasins de stockage des déchets solides avant leur recyclage ;
- d'appliquer la loi N° 01-120 relative aux Nuisances (loi du pollueur-payeur) ;
- d'installer un système d'épuration des eaux usées de la zone industrielle ;
- de créer une décharge finale pour les industries ;
- de lutter contre les plantes polluantes ;
- de faire des analyses périodiques pour un contrôle permanent de la qualité de l'eau ;
- d'appliquer les mesures d'atténuation et d'accompagnement ;
- de tenter d'éloigner à certaines saisons le cheptel des bordures du fleuve pour limiter la pollution due aux déchets animaux ;
- lorsqu'on est sûr que les déchets transportés sont importants, il importe de déterminer la DBO maximum acceptable afin d'éviter que la concentration d'oxygène ne tombe à un niveau dangereux pour les poissons.

Dans le cas particulier de Huicoma, les mesures à prendre sont les suivantes.

À court terme :

- construire des silos pour une gestion économique et saine des stocks de graines ;
- créer un dépôt d'huiles usées ;
- reconditionner les déchets d'hydrogénation dans des fûts appropriés ;

- regrouper les fûts dans un magasin en évitant de les stocker à même le sol ;
- recycler les déchets d'hydrogénation en vue d'y extraire le nickel ;
- procéder au tri des déchets ;
- arrêter l'envoi des résidus de pâte de neutralisation et des déchets plastiques sur les dépotoirs ;
- mettre le stock de résidus de la pâte de neutralisation à l'abri de la pluie.

Autorité municipale : identification et aménagement d'une décharge finale

À moyen terme :

- améliorer le système d'épuration des eaux usées ;
- procéder à l'évaluation quantitative et qualitative de chaque type de déchets :
  - les eaux usées de la savonnerie et de l'huilerie ;
  - les cendres des cheminées et des chaudières ;
  - les résidus de pâte de neutralisation ;
  - les déchets plastiques.

À long terme :

- construire une station d'épuration pour l'ensemble des eaux usées de la savonnerie ;
- installer des filtres sur les deux cheminées pour récupérer les escarbilles.

Pour l'amélioration de la qualité de l'eau au niveau du district de Bamako, les mesures suivantes peuvent être envisagées :

- amélioration de la filière/système de traitement ; il s'agira d'améliorer les performances de la station de traitement par l'insertion d'une phase d'injection de charbon actif avant décantation ;
- préservation de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution ;
- renforcement des équipements de laboratoires ;
- renforcement des ressources humaines d'exploitation ;
- information, éducation et communication (IEC). Cette action devrait s'effectuer en permanence de façon à influer sur le savoir être des populations ;
- application des textes existants ;
- renforcement du cadre réglementaire de l'eau ;
- construction d'une nouvelle station de traitement.

Conclusions et recommandations

Conclusions

Pour mieux gérer les inondations dans le bassin du fleuve Niger et minimiser les dégâts, une sensibilisation accrue doit être faite du côté de la population et les services techniques doivent jouer pleinement leur rôle ; pour cela le gouvernement doit mettre à la disposition de ces derniers des moyens adéquats.

Il est nécessaire de mettre en place, au plan national, un mécanisme de prévention et de gestion des calamités naturelles : ceci pourrait être une cellule de veille dotée de ressources humaines, matérielles et financières conséquentes.

La qualité de l'eau n'est pas uniquement une préoccupation locale : les contaminants dans les eaux superficielles voyagent souvent sur de longues distances en franchissant les frontières nationales.

Elle constitue un enjeu de taille pour les nombreux cours d'eau, ce qui induit la nécessité d'examiner les droits et les besoins des utilisateurs en aval.

Les facteurs influant sur la qualité des eaux transfrontalières sont :

- la croissance démographique et l'urbanisation ;
- les changements climatiques ;
- l'expansion économique, la demande d'énergie et la production accrue de déchets ;
- l'intensification de l'agriculture ;
- les préoccupations liées aux eaux transfrontalières :
  - offre et demande d'eau ;
  - emploi et rejets de produits chimiques ;
  - perte d'habitat aquatique et de diversité biologique ;
  - gestion des déchets.

Il faut garder à l'esprit que l'impact des pollutions accidentelles souvent sous-estimé, est important et qu'il doit en être tenu compte dans toute politique de gestion des milieux aquatiques.

Quelle que soit la qualité des méthodes et des moyens de lutte, la solution de tels problèmes, ou du moins la raréfaction de leur occurrence, passe avant tout par la prévention.

Avec une volonté sans faille et un engagement soutenu des populations dans la gestion et dans la sauvegarde des ressources du bassin du fleuve Niger, la stabilité de l'environnement socio-économique sera une réalité.

Recommandations

Pour remédier aux différents problèmes de dégradation des écosystèmes, de limitation de la pollution et de sauvegarde du fleuve et de son environnement, il est nécessaire de mener certaines actions :

- assurer la formation des populations riveraines en général et de toute la communauté en particulier sur la nécessité de la gestion des ressources naturelles et sur le suivi de l'environnement en liaison avec la convention de Rio, notamment sur la lutte pour la diversité biologique et contre la désertification et les changements climatiques ;
- soutenir la participation des femmes dans leurs activités de teinture ou de maraîchage sur les berges le long du fleuve en mettant en place des aires de lavage pour empêcher la pollution de l'eau du fleuve et des aires de jardinage avec des enclos et des puits pour empêcher la dégradation des berges et la coupe de bois sur les berges ;
- informer les populations et les décideurs sur les différentes causes de détérioration de l'environnement du fleuve (forte pression sur les ressources, ouverture anarchique de carrières par les orpailleurs et par les fabricants de brique sur les abords immédiats du fleuve, rejets des eaux usées et de déchets solides dans le fleuve, exploitation anarchique de sables et de graviers, etc. ;
- responsabiliser, faire participer et impliquer les populations dans toutes les actions de développement des ressources du fleuve ;
- interdire à toutes les sociétés industrielles le rejet systématique des eaux usées et des déchets solides dans le fleuve, les obliger de faire un pré-traitement et mettre en place des stations d'épuration et de traitement des déchets ;
- mettre en place un comité de surveillance et de contrôle des sociétés ;
- vérifier la qualité de l'eau qui constitue un enjeu de taille pour les nombreux cours d'eau qui sont souvent contaminés par les impacts des activités de développement socio-économiques.

 © IRD éditions 2007

CHAPITRE 5

Cadre institutionnel et juridique de gestion de l'activité liée au fleuve Niger

Cheick CISSE, Pierre MORAND

Méthodologie

Pour répondre à cette série de questionnements qui, en réalité, traduit les soucis des utilisateurs du fleuve et des décideurs, le groupe de travail a arrêté un cheminement qui tend à :

- 1°- dégager l'opportunité de l'analyse du cadre juridique et institutionnel pour l'avenir du fleuve Niger ;
- 2°- décrire les cadres juridiques et institutionnels existants ;
- 3°- examiner les contraintes en mettant en évidence les problèmes ;
- 4°- analyser les options en proposant des recommandations.

Cette méthodologie convenue commande le plan de la présente contribution à la question 5.

Introduction

Pourquoi un cadrage juridique et institutionnel pour l'avenir du fleuve Niger ?

À l'échelle internationale, régionale et nationale apparaissent plusieurs niveaux de décision, des intérêts et des enjeux concurrents qui interfèrent ou entrent en compétition sur une ressource partagée.

D'un côté, en effet, la présence de neuf États indépendants prétendant à un accès égal en vertu du droit international à l'utilisation économique, commerciale ou même stratégique du fleuve, produit un contexte politique délicat susceptible d'engendrer des conflits civils ou armés : le droit des États mérite d'être défini.

D'un autre côté, le Mali s'est engagé dans un processus de décentralisation qui confère à chaque collectivité territoriale intéressée des compétences de gestion du fleuve Niger : les droits de ces entités doivent être précisés dans le cadre du droit national.

Par ailleurs, un droit coutumier spécifique a toujours réglementé les utilisations du fleuve Niger par les pêcheurs, agriculteurs, éleveurs ou autres : l'harmonisation des règles juridiques coutumières ou des usages locaux du droit national ou du droit international ne devient-elle pas une nécessité ?

La diversité de la nature des acteurs et la multiplicité des utilisateurs, l'importance des enjeux alimentée par la rareté des ressources et la prise de conscience corrélative de l'intérêt du fleuve Niger pour la mise en œuvre d'objectifs économiques ou même politiques nationaux justifient pleinement le cadrage juridique et institutionnel du fleuve Niger aux fins d'une gestion optimale pérenne d'une ressource rare et partagée au profit des populations riveraines qui aspirent à la paix et à l'intégration régionale.

Si le droit dans les divers aspects déjà apparus devait être revu ou amélioré, quels sont, au demeurant, les cadres juridiques et institutionnels existants ?

Les cadres juridiques et institutionnels existants

Les cadres juridiques et institutionnels existants reposent sur un ensemble de dispositions juridiques et de structures institutionnelles conçues pour gérer des domaines particuliers de l'activité liée au fleuve Niger à l'échelle nationale et internationale.

La gestion du fleuve Niger est donc complexe et encore plus par l'interférence incontournable des coutumes, pratiques et usages des divers utilisateurs.

L'approche de cette mosaïque pourrait commencer par la description, même rapide, des structures institutionnelles qui se voient confier des missions, avant d'aborder les législations tendant à réglementer la gestion des activités principales et/ou connexes liées aux ressources du fleuve.

Les institutions existantes

À l'échelle nationale, on peut retenir certains ministères, leurs services techniques et diverses associations.

Le Ministère des Mines, de l'Énergie et de l'Eau

Il exerce une tutelle statutaire et de principe sur tout le secteur de l'eau dont il a la charge institutionnelle à travers, principalement, la Direction nationale de l'hydraulique (DNH) qui est chargée de faire l'inventaire et d'évaluer au plan national les ressources hydrauliques, d'étudier, de contrôler, de superviser les travaux de réalisation des ouvrages hydrauliques et de veiller à leur bon état de fonctionnement.

Elle procède à l'évaluation des projets de développement dans le secteur de l'eau et participe à la promotion de la coopération sous-régionale dans le domaine de la gestion des ressources en eau.

Elle suit la gestion hydroécologique du Niger supérieur.

Les Directions régionales et sous-régionales de l'hydraulique et de l'eau (DRHE), qui sont des services déconcentrés sous la coordination et le contrôle de la DNH, ont un rôle d'appui et de conseil auprès des collectivités territoriales en cumulant les fonctions de gestion, de maîtrise d'ouvrage et de contrôle (contrairement aux textes et à l'esprit de la décentralisation).

Il est intéressant de noter qu'un arrêté interministériel n° 2 878/MMEE/MATCL-56 du 04 septembre 2002 crée un organe consultatif et de coordination : le Comité du bassin du Niger supérieur.

Le Comité du bassin du Niger supérieur

Il couvre les portions s'étendant sur les régions de Sikasso, Koulikoro, Ségou et de Mopti avec des sous-comités de cercle et il est chargé de :

- coordonner l'exploitation des ressources du bassin du Niger supérieur avec les différents acteurs bénéficiaires de ces ressources ;
- suivre les programmes d'aménagement et d'exploitation des ressources du bassin ;
- informer les décideurs sur l'incidence de l'exploitation des ressources du bassin en tenant compte de tous les aspects techniques des activités liées au développement (production électrique, migration, navigation, pêche, santé, industrie, tourisme) ;
- assurer une gestion intégrée et concertée des ressources du bassin avec tous les acteurs ;

- collaborer avec les structures nationales et sous-régionales directement concernées par la gestion des ressources du bassin ;
- donner des avis techniques ou faire des suggestions sur les différents programmes de gestion des ressources du bassin du Niger supérieur élaborés par les structures nationales ;
- contribuer à la protection des ressources contre leur surexploitation et leur dégradation à l'échelle du bassin ;
- contribuer à la prévention et à la lutte contre les catastrophes naturelles et contre la dégradation du bassin par les effets anthropiques.

La Commission Gestion des eaux de la retenue de Sélingué

Elle est chargée de la régularisation de l'utilisation de l'eau, notamment de la répartition des ressources (*cf.* arrêté interministériel 022578/MMEE/MAEP/ME-SG 02 du 30/12/2002). Aux termes de cet arrêté, la Commission Gestion des eaux de la retenue de Sélingué a pour attributions :

- d'examiner les différents programmes de gestion de l'eau élaborés par les structures nationales bénéficiaires des eaux de la retenue et de veiller à leur adéquation ;
- d'arrêter les programmes de gestion des eaux de la retenue (remplissage et déstockage) ;
- d'informer les décideurs sur l'incidence de la gestion des eaux de la retenue dans tous les aspects techniques des activités liées au barrage (production électrique, migration, pêche, santé, industrie, tourisme, protection de l'environnement) ;
- de s'assurer de la bonne tenue de l'ouvrage (fuites, auscultation et stabilité de l'ouvrage, …).

Le Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche

Il concourt à l'exercice de certaines responsabilités dans le secteur de l'eau en concertation et en collaboration avec le ministère de tutelle de l'eau à travers, notamment :

- la Direction nationale d'appui au monde rural (DNAMR), à l'échelle nationale, et, au niveau des collectivités territoriales, les Directions régionales et sub-régionales qui se présentent comme des services déconcentrés de l'État ;
- la Direction nationale de l'équipement rural (DNER) et les Directions régionales et sub-régionales qui sont encore des services de l'État ;
- l'Office du développement rural de Sélingué (ODRS).

Il s'occupe de l'aménagement hydroagricole, de la pêche et du suivi de la qualité de l'eau.

Il ressort de l'entretien accordé le 26 février 2004 par Monsieur Hinna Haidara, directeur adjoint de l'ODRS, que, du point de vue institutionnel, beaucoup d'efforts sont actuellement entrepris pour améliorer les textes en matière de pêche, comme, par exemple l'identification des problèmes à résoudre ou qui n'ont pas été pris en compte,

ou les interdictions nouvelles devenues nécessaires. De même, en évoquant les conflits potentiels qui seront analysés plus loin, il a préconisé l'élargissement de la vision aux aménagements futurs du fleuve pour éviter les conflits prévisibles le long des bras du fleuve qui débouchent sur le lac.

L'Institut d'économie rurale s'occupe principalement de recherche.

Le Ministère de l'Administration territoriale et des Collectivités locales

Dans le cadre de sa mission d'élaboration et de mise en oeuvre de la politique nationale en matière d'organisation administrative du territoire national et de développement des collectivités territoriales, il assure notamment :

- la gestion des relations entre l'État et les collectivités locales ;
- la coordination et le contrôle de l'action des représentants de l'État ;
- la mise en oeuvre des aides d'urgence ou des secours en relation avec les ministères chargés des affaires étrangères et de la protection civile (catastrophes naturelles, inondations).

Le Ministère de l'Environnement

Il a pour mission d'élaborer, de coordonner et de suivre la politique nationale de l'environnement défini (au sens de la Loi 01-020-RM du 30 mai 2001 relative aux pollutions et aux nuisances) par « un ensemble perçu comme une entité, dans un espace et un temps donnés, des facteurs physiques, chimiques, biologiques et sociaux susceptibles d'avoir un effet direct ou indirect, immédiat ou à terme sur l'espèce humaine et ses activités, et sur les espèces animales et végétales ».

Il exerce ses activités à travers, notamment, la Direction nationale de la conservation de la nature et l'Agence du bassin du fleuve Niger créée par l'ordonnance n°2-049 PRM du 29 mars 2002 et organisée par le décret n° 02-289 PRM du 30 mars 2002.

Le Ministère de l'Environnement exerce sa tutelle en concertation avec le Ministère chargé de l'Eau et de l'Énergie, le Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche et le Ministère des Finances.

La mission de l'Agence est la sauvegarde du fleuve Niger, de ses affluents et de leurs bassins versants, et la gestion intégrée de ses ressources.

Dans ce cadre, l'Agence vise à :

- renforcer les capacités de gestion des ressources du fleuve de ses affluents et de leurs bassins versants ;
- promouvoir l'amélioration et la rationalisation de la gestion des ressources en eau pour les différents usagers ;
- contribuer à la prévention des risques naturels (inondation, érosion, sécheresse), à la lutte contre les pollutions et les nuisances et au maintien de la navigation ;

- entretenir des relations de coopération avec les organismes techniques similaires des pays riverains concernés ;
- concevoir et gérer un mécanisme financier de perception de redevances auprès des organismes préleveurs et pollueurs d'eau et d'utilisation de ces redevances.

Il est intéressant de noter que l'organisation de l'Agence associe à ces missions l'État, les collectivités territoriales, les usagers et le personnel représentés au sein du conseil d'administration de l'Agence du fleuve Niger comprenant vingt cinq membres.

Elle comprend une Direction générale, quatre départements (Étude et Surveillance des milieux, Gestion et Aménagement, Administration et Finances, Formation et Communication) et quatre antennes régionales qui couvrent les quatre grands sous-ensembles du fleuve Niger (le Niger supérieur, le delta intérieur, le Bani et la boucle du Niger).

De cette façon, l'Agence doit atteindre cinq résultats opérationnels en devenant :

1°- Un observatoire opérationnel de l'état et de l'évolution :

- de la ressource en eau ;
- des milieux physiques et biologiques associés ;
- des contraintes et des menaces qui perturbent les équilibres naturels ;
- des usages de l'eau ;
- de la gestion des modèles de fonctionnement du fleuve Niger.

2 - Un outil d'évaluation, de proposition, de coordination et d'amélioration des pratiques concernant :

- le renforcement des capacités de gestion des ressources en eau et des milieux aquatiques ;
- la lutte contre les pollutions ;
- la protection et la restauration des écosystèmes et des espaces naturels ;
- la réduction des pertes et des gaspillages de l'efficience des usages de l'eau ;
- la mise en œuvre des aménagements hydrauliques.

3 - Un centre de proposition technique pour les mesures à prendre au niveau des différents utilisateurs publics et collectifs concernant la gestion des ouvrages qui influencent le fonctionnement global du système hydrique (gestion des retenues des eaux des barrages de Markala et de Sélingué et gestion des prélèvements d'eau des grands offices de culture irriguée).

4 - Un outil financier de perception de redevances auprès des organismes publics ou privés, des préleveurs et des pollueurs destinées à la gestion et à l'aménagement du fleuve en concertation avec les autres services intéressés de l'État.

5 - Un instrument de diffusion de l'information sur la gestion et l'aménagement du fleuve auprès des populations, des usagers, des services publics et des partenaires au développement.

Les associations et les ONG d'usagers du fleuve Niger

Les associations existent dans tous les domaines d'activités liées au fleuve Niger (pêche, agriculture et élevage, notamment) qu'il serait fastidieux d'énumérer. Il faudrait peut-être noter cependant, parmi les grandes associations :

- l'association des producteurs ;
- l'association des pêcheurs résidents au Mali (Apram) ;
- l'association des pêcheurs et pisciculteurs du Mali (APPM) ;
- l'association pour le développement intégré à base communautaire (ADIBAC).

Les institutions intergouvernementales

L'Institut de recherche pour le développement (IRD)

Établissement public français, l'IRD effectue des recherches pour le développement depuis plusieurs décennies dans le cadre de la coopération interétatique. La présente étude est menée sous son égide.

L'Autorité du bassin du Niger (ABN)

Composée de neuf États riverains du fleuve Niger, de ses affluents et de ses sous-affluents, elle a été instituée par la convention portant création de l'Autorité du Bassin du Niger et signée à Faranah (République de Guinée) le 21 novembre 1980.

Ayant son siège à Niamey, elle a pour but de promouvoir la coopération entre les pays membres et d'assurer le développement intégré du bassin du Niger dans tous les domaines de l'énergie, de l'hydraulique, de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche et de la pisciculture, de la sylviculture et de l'exploitation forestière, des transports et communications et de l'industrie.

Conscients, en réalisant un progrès considérable dans le domaine de la coopération internationale, de leur interdépendance, les neufs États riverains (la République Fédérale du Cameroun, la République de Côte d'Ivoire, la République du Bénin, la République de Guinée, le Burkina-Faso, la République du Mali, la République du Niger, la République fédérale du Nigeria et la République du Tchad) ont assigné à l'Autorité du bassin du Niger les objectifs suivants :

- harmoniser et coordonner les politiques nationales de mise en valeur des ressources en eau du bassin du Niger ;
- promouvoir et participer à la planification du développement par l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de développement intégré du bassin ;
- promouvoir et participer à la conception et à l'exploitation des ouvrages et des projets d'intérêt commun ;

- assurer le contrôle et la réglementation de toute forme de navigation sur le fleuve, ses affluents et ses sous-affluents ;
- participer à la formulation des demandes d'assistance et à la mobilisation des financements des études et des travaux nécessaires à la mise en valeur des ressources du bassin.

Dans ce cadre, l'Autorité du Bassin du Niger s'informera, d'une part, de façon permanente des plans de développement des États intéressant notamment le bassin. les États informeront, d'autre part, l'organe d'exécution de l'Autorité (le secrétariat exécutif) de tous les projets et travaux qu'ils se proposeraient d'entreprendre dans le bassin et s'abstiendront d'exécuter sur la portion du fleuve, de ses affluents et sous-affluents relevant de leur juridiction territoriale, tous travaux susceptibles de polluer les eaux ou de modifier négativement les caractéristiques biologiques de la faune et de la flore.

L'Autorité du bassin du Niger est dotée des organes permanents suivants :

- le sommet des chefs d'État et de gouvernement, organe d'orientation et de décision ;
- le conseil des ministres, organe de contrôle ;
- le comité technique des experts dont le mandat est de préparer les sessions du conseil des ministres et de présenter des rapports et des recommandations au conseil des ministres ;
- le secrétariat exécutif, organe d'exécution dirigé par un secrétaire exécutif, responsable devant les instances supérieures de l'Autorité et chargé notamment d'entreprendre tous travaux et études pour la réalisation des objectifs de l'Autorité du bassin du Niger et de formuler toutes propositions propres à contribuer au développement harmonieux de l'Autorité.

La commission de gestion des sources d'eau du bassin du Fouta Djallon et les commissions mixtes

Sur le plan bilatéral, les commissions mixtes examinent les problèmes de coopération qui peuvent intéresser le fleuve Niger.

Il faudrait mentionner particulièrement la commission mixte Mali-Niger qui constitue un cadre de concertation permanente nécessaire pour harmoniser les intérêts et les enjeux de l'utilisation du fleuve et pour aplanir les difficultés et les inquiétudes relatives notamment au niveau des étiages.

Il résulte cependant de ce qui précède qu'il existe une volonté politique réelle de faire du fleuve Niger un cadre de coopération et même d'intégration sous-régionale ; ce qui explique la multitude des institutions décrites plus haut qui y concoure sur le plan national, international et institutionnel.

Sur le plan juridique, il convient d'examiner maintenant les textes majeurs qui gouvernent la matière.

Aspects relatifs à la pêche

Cadre légal, politique sectorielle, système d'encadrement et organisations professionnelles

L'ancien cadre (de l'Indépendance à 1995-97)

Sur un plan normatif, l'activité de pêche était soumise pendant cette période à plusieurs codes : principalement le code domanial et le code de la pêche et, accessoirement, le code de l'eau.

Le code domanial de 1963 (qui concerne tous les territoires et ressources naturelles) avait pour caractéristique majeure de faire des ressources aquatiques dans leur ensemble une ressource nationale (sans appropriation locale) libre d'accès en tous points et pour tous, moyennant le paiement d'une licence annuelle aux services de l'État et le respect de la réglementation nationale.

En 1986, un code de la pêche fut édicté, qui ne remettait pas en cause le code domanial, mais qui apportait certaines précisions sur les réglementations (pratiques interdites) et qui introduisait aussi une certaine souplesse avec, notamment, la possibilité de mettre en place des conventions locales.

Malgré cela, la pêche restait placée jusqu'en 1995 sous un régime de règles définies de façon quasi arbitraire par l'État central avec un service (les Eaux et Forêts) chargé d'en assurer l'application selon des modalités uniformes sur l'ensemble du territoire (surveillance, contrôle et répression).

En 1995, une nouvelle loi, dite 95-032, a abrogé le précédent texte et a préparé la pêche au passage à une gestion décentralisée. Cette loi introduit en effet la notion de « collectivité territoriale » bénéficiant d'une instance consultative appelée, pour ce qui concerne la pêche, « conseil de pêche ». Elle pose le principe selon lequel la réglementation de la pêche doit être précisée localement par ces collectivités (mais en accord avec un cadre réglementaire national).

Les actions d'encadrement et de développement de la pêche, concentrées sur les zones de grand intérêt halieutique (delta intérieur du Niger, Sélingué), ont été confiées depuis la fin des années 1970 à deux organismes spécialisés : l'OPM (Opération Pêche de Mopti, à Mopti) et l'OERHN (à Sélingué). Ces deux organismes étaient dotés d'une certaine autonomie et monopolisaient en leur sein la quasi totalité des cadres et des techniciens nationaux spécialisés en pêche. Ils étaient chargés d'actions de développement et d'encadrement du secteur, y compris de certaines actions dans le domaine sanitaire et social (programmes de vaccination), mais laissaient les actions de répression aux Eaux et Forêts. Ces deux organismes perdurent jusqu'à ce jour avec des missions à peu près inchangées, le second étant devenu l'ODRS en 1996.

Jusqu'en 1996, la politique de développement sectorielle n'était pas formalisée dans un document, mais elle était dominée par trois axes : étatisme centralisateur (« les initiatives ne peuvent venir que de l'État »), paternalisme coercitif (« les pêcheurs ont besoin d'être aidés mais aussi surveillés et sanctionnés, car ils sont peu conscients et

menacent de détruire la ressource ») et productivisme dirigiste mais velléitaire, à base de plans triennaux (1970-72) et d'objectifs de production ambitieux mais déconnectés des contraintes et des dynamiques du monde réel. En même temps et de façon contradictoire, la pêche était régulièrement qualifiée d'« activité de cueillette », donc archaïque, et l'accent était mis en permanence sur la nécessité du développement de la pisciculture, bien que ceci n'ait pratiquement jamais abouti à des projets viables, sauf très localement à Niono (zone Office du Niger). Mais on peut aussi dire, d'une façon plus générale, que la pêche n'était pas une grande priorité : aucun ministère ni aucune direction nationale ne mentionnait d'ailleurs le mot « pêche » dans son intitulé.

Le nouveau cadre (de 1995-97 à nos jours)

La réforme de décentralisation, dévoilée progressivement par un ensemble de textes adoptés par l'Assemblée nationale entre 1993 et 1998, a abouti en 1998 à la mise en place des premières collectivités territoriales décentralisées au niveau le plus fin : les communes. La commune est définie comme une collectivité d'essence démocratique et dotée d'une grande autonomie. À la tête de cette institution est placé un conseil communal élu tous les 5 ans (au suffrage universel direct) par la population recensée sur le territoire de la commune. Le conseil communal élit ensuite en son sein un maire et des adjoints. L'institution communale assume de très importantes responsabilités au niveau local : gérer l'état-civil, gérer un budget alimenté par les impôts et les taxes prélevés sur la population locale ou sur les activités économiques, décider de nouvelles taxes, gérer des équipements communautaires (écoles, centres de santé, petite voirie…) et définir le plan de développement communal. La commune est donc devenue l'unité territoriale privilégiée pour concevoir, organiser et mettre en œuvre des actions de développement. C'est aussi l'unité de base pour la gestion des ressources naturelles. Cependant, du point de vue de la gestion du foncier, le conseil communal doit composer avec les autorités traditionnelles puisque les droits d'usage et d'occupation acquis dans le cadre coutumier ont été confirmés par les nouveaux textes. Pour gérer ses ressources naturelles, la commune peut se doter de conseils spécialisés, notamment d'un Conseil communal de pêche (décret 96-011) composé de deux représentants par organisation socioprofessionnelle de la pêche et d'un certain nombre de membres de droit : maire de la commune, chefs traditionnels des pêcheries, chef de poste du service chargé de la pêche, représentant du service chargé de l'action coopérative et représentant de la chambre d'agriculture.

Les communes, tout comme les autres collectivités territoriales de niveau supérieur (les cercles), ont leur propre domaine dont elles assurent théoriquement la gestion (notamment en ce qui concerne les ressources naturelles). Le fleuve et les grands espaces aquatiques stratégiques (Sélingué) n'entrent cependant pas dans la définition du domaine des collectivités et restent dans le domaine de l'État. Mais, par un mécanisme de dévolution, l'État a la possibilité (dans les textes) de confier la gestion de tout ou partie des ressources de son domaine à des collectivités territoriales, à condition que celles-ci soient capables de définir et mettre en œuvre un plan de gestion. Or, c'est justement dans cette capacité des communes à définir et à mettre en œuvre une gestion que réside (pour l'instant) le talon d'Achille de la décentralisation. En effet, très peu de communes sont, à ce jour, capables d'exercer de façon convenable et performante une telle gestion. C'est pourquoi les services de l'État semblent encore constituer aujourd'hui, et pour un certain temps encore, le rouage principal de tout projet et de toute évolution dans le domaine de la gestion des ressources et des pêches en particulier,

notamment en ce qui concerne les aspects de régulation de l'effort d'exploitation. Toutefois, la position et la mission des services de l'État ne sont plus les mêmes que par le passé : elles se définissent d'avantage en termes d'animation et de consultation et moins en termes d'autorité brute et de répression.

C'est justement pour accompagner ces changements de mission que les services de l'État ont été profondément réformés, concomitamment à la décentralisation. Depuis 1996, le Ministère du Développement rural (MDR) a ainsi subi une réforme qui a conduit à sa restructuration totale. Les anciennes directions nationales, au nombre de six, dont celle de la DNRFFH (Direction nationale des ressources forestières, fauniques et halieutiques) ont été supprimées et remplacées par trois directions nationales plus opérationnelles. Parmi elles, la DNAER (Direction nationale de l'aménagement et de l'équipement rural) est dotée d'une section « Aménagement et gestion des ressources halieutiques » et a repris la charge de l'élaboration et de la supervision de la mise en œuvre de la politique nationale du secteur. Cependant, le plus gros service intervenant dans le domaine de la pêche (l'Opération Pêche de Mopti) s'est vu rattaché à une autre direction nationale : la DNAMR (Direction nationale de l'appui au monde rural). Et d'autres fonctions concernant la pêche (telles que la surveillance) qui étaient assurées par l'ancienne DNRFFH passent sous la responsabilité de la troisième des nouvelles directions du MDR : la DGRC (Direction générale de la réglementation et du contrôle). En 2002, le MDR a changé de nom et est devenu le Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche. Un conseiller ministériel spécialisé dans la pêche a été nommé. Tout cela constitue un gain de reconnaissance sans précédent pour le secteur pêche.

De façon concomitante à ces restructurations institutionnelles, la politique nationale du secteur pêche a été complètement redéfinie en 1997 dans un schéma directeur sectoriel, avec l'appui de la FAO (projet PNUD/PAMOS). Ce schéma s'appuie, en premier lieu, sur les options fondamentales de la politique macro-économique du gouvernement : désengagement de l'État des activités productrices et commerciales, décentralisation des décisions et des actions de développement, responsabilisation des communautés villageoises et solidarité avec les populations les plus désavantagées. Il s'appuie, en second lieu, sur la politique du gouvernement en matière de développement rural : amélioration du revenu et des conditions de vie des populations rurales, sécurité alimentaire et préservation des ressources naturelles. Ce document de politique sectorielle est toujours en vigueur.

Les organisations professionnelles sont au nombre de deux : l'Apram (Association des Pêcheurs Résidents au Mali) et l'APPM (Association pour la Pêche et la Pisciculture au Mali). Ces organisations sont contemporaines de l'avènement de la démocratie : l'Apram a été fondée en 1991 et elle a été révélée au public et au monde politique par ses interventions en faveur du monde de la pêche lors de la conférence nationale de juillet 1991. Peu de temps après, une partie de l'Apram a fait scission, ce qui a donné lieu à la création de l'APPM.

L'organisation Apram fait état d'un cadre organique démocratique à étages multiples : des cellules à la base (approximativement au niveau de chaque arrondissement ou bien dans les grandes localités de pêche), puis des comités dans tous les cercles où il y a de la pêche, ensuite des bureaux régionaux et enfin un bureau exécutif national. En réalité, il est probable que, seuls, les deux niveaux extrêmes (la cellule à la base et le bureau national au sommet) représentent effectivement des

structures actives. Il faut noter que le président de l'Apram est membre du Conseil économique et social. À ce titre, il est le plus haut représentant de la pêche dans les institutions de la république du Mali.

De son côté, l'APPM est plutôt une fédération d'organisations puisque son bureau national comprend une majorité de membres qui sont eux-mêmes des présidents ou des vice-présidents d'associations ou de coopératives locales. Les femmes commerçantes y sont assez bien représentées.

Application, mise en œuvre, perceptions, réactions

L'ancien cadre (de la décennie 1960 au début des années 1990) et sa mise en œuvre sur le terrain

Par le fait qu'il affichait avant tout une souveraineté nationale sur le territoire et était peu sensible à l'appropriation locale et coutumière, le code domanial édicté juste après l'Indépendance était théoriquement favorable à la mobilité, donc à la pêche professionnelle migrante. L'utilisation de ce droit restait cependant conditionnée en pratique par le respect des droits et usages coutumiers, nécessitant généralement des accords auprès des communautés autochtones pour toute installation durable de campements de pêche[1]. Et ceci n'allait pas sans poser de nombreux problèmes. Fay (1989 et 1994) en décrit des exemples typiques : par exemple, lorsque des autorités traditionnelles de deux zones d'accueil voisines se disputent la perception de la rente économique dégagée par des pêcheurs migrants qui exploitent les eaux à la limite des deux zones ou à cheval sur les deux zones, les formes traditionnelles d'appropriation de l'eau n'étant pas bien sûr, en l'absence de registre cadastral, basées sur des délimitations parfaites et incontestables.

Les réglementations officielles de la pêche constituaient une autre source de difficultés : avec la volonté (légitime) de « protéger la ressource », les règles édictées par les autorités se sont avérées mal appropriées aux pêcheries continentales (et particulièrement aux cas des pêcheries fluviales). D'une part, certaines restrictions ou interdits étaient abusifs et injustifiés, du moins en regard de ce que l'on sait (aujourd'hui) de la dynamique de la ressource. Par exemple, toute utilisation de maille inférieure à 50 mm était officiellement interdite. Or, les pêches de petits poissons pélagiques (*tineni Brycinus leuciscus*) qui sont réalisées en décrue nécessitent l'emploi de filets à maille très fine (10 mm). On sait aujourd'hui que de telles pêches sont rationnelles et durables.

Plus généralement, les pêcheries continentales sont basées sur l'utilisation combinée ou successive d'un grand nombre de techniques et de pratiques en fonction

1 Ne serait-ce que parce qu'il faut installer les cases à terre et qu'il faut aussi lier de bonnes relations de voisinage avec les locaux pour pouvoir vivre correctement (acheter ou troquer des biens ou de la nourriture, etc.). Il faut dire que la pêche déployée avec des moyens performants (grands filets) est une activité économique à gros chiffre d'affaires monétaire (contrairement à la plupart des autres activités rurales), si bien que les pêcheurs migrants se retrouvaient en quelque sorte en position de titulaires de concessions d'exploitations chargés d'exploiter à plein régime les espaces aquatiques en contrepartie du versement d'une rente aux pouvoirs traditionnels locaux.

des milieux, des saisons et des espèces cibles. Il n'y a donc guère de sens à établir une liste unique et uniforme d'interdictions absolues applicables à tout le territoire national et en toutes saisons. Or, c'est justement comme cela qu'était conçue la réglementation.

À partir de 1986, ce problème a été pris en compte « en théorie », puisqu'il a été prévu de mettre en place des conventions locales de pêche (au niveau des cercles) tenant compte des particularités locales de la pêche. Mais la mise au point de ces conventions a été confiée aux autorités administratives locales qui n'ont fait, la plupart du temps, que répercuter les règlements nationaux.

Pire, certains aménagements dans le temps des interdictions techniques qui figurent dans les conventions comme par exemple l'interdiction de la senne « seulement » de janvier à juin (convention locale du cercle de Mopti, 1986) ciblent délibérément la seule période d'utilisation et d'efficacité de cette technique !

Pour toutes ces raisons, cette réglementation de la pêche était en pratique inapplicable : son respect à la lettre aurait, dans la plupart des cas, empêché toute pêche efficace et économiquement rentable. Le caractère illicite de l'activité des pêcheurs était donc avéré et général. Mais il était aussi complaisamment accepté par les agents de l'État (surtout ceux des « Eaux et Forêts ») qui disposaient ainsi avec les pêcheurs d'un effectif permanent de « contrevenants obligés » toujours prêts à solliciter un « arrangement » pour éviter de se voir confisquer leurs engins illicites. À partir de la fin des années 1980, avec l'aggravation de la sécheresse, le poids de ces prébendes imposées par les agents des Eaux et Forêts devint de plus en plus insupportable pour les populations rurales et pour les pêcheurs en particulier (ce qui contribua d'ailleurs à discréditer l'ancien régime). Après les événements et le changement de régime de mars 1991, plusieurs agents des Eaux et Forêts furent brûlés, et les pêcheurs, comme d'autres populations rurales, se mirent à fonctionner « la bride sur le cou » jusqu'à la fin des années 1990 sans autre contrainte que de s'arranger entre eux et avec les autres ruraux. Beaucoup cessèrent même de payer la licence nationale de pêche (dont le montant des recettes annuelles chuta de 80% entre 1990 et 2000). L'avènement des réformes de décentralisation, avec la délégation de pouvoirs de gestion des ressources naturelles aux collectivités territoriales locales (cercles et communes), imposera aux pêcheurs de se plier à nouveau à des règles autres que celles de l'ordre coutumier ; ce qui n'ira pas sans soulever un certain nombre de problèmes d'adaptation (*cf.* supra).

Le nouveau cadre et ses difficultés d'application, collectivités territoriales et mode de vie des pêcheurs migrants

La pêche est une activité qui est, forcément et pour sa composante la plus professionnelle, assez mobile : il faut en effet pêcher beaucoup et constamment (donc se trouver toujours là où le poisson est disponible) pour rentabiliser les engins de pêche efficaces qui sont très onéreux. Mais cette mobilité ne s'inscrit pas dans un cadre coutumier ancestral aussi routinier et balisé que celui des parcours pastoraux : les pêcheurs réalisent, certes, des circuits migratoires pendulaires qui peuvent être réguliers, c'est-à-dire récurrents d'une année sur l'autre. Mais ils effectuent aussi d'autres types de déplacements, moins réguliers, plus exploratoires ou plus définitifs ; ne serait-ce que parce que certains écosystèmes aquatiques s'assèchent (soit définitivement : Faguibiné, soit pour plusieurs années : Aougoundou) et que d'autres apparaissent (par exemple du fait des aménagements hydroélectriques et hydroagricoles : Office du Niger, Sélingué,

Sourou, Manantali et aussi dans les pays voisins). C'est ainsi que la migration de pêche, contrairement à la migration pastorale, n'implique pas forcément le retour. Elle est souvent suivie d'un processus de sédentarisation sur les lieux de migration : cas des pêcheurs installés autour du lac de Sélingué qui sont venus de la région de Ségou et du delta au début des années 1980 et qui n'y retournent que de temps à autre et, aussi, de nombreux pêcheurs de la région de Ké-Macina installés de façon quasi-sédentaire dans des campements du nord-est du delta. Le passage de la migration saisonnière à la migration définitive avec installation (sur les lieux de migration) se fait généralement de façon progressive, non explicite et non assumée : le pêcheur garde son statut de « migrant » et d'étranger (sur les lieux de migration) alors même qu'il y passe dix mois sur douze depuis vingt ans ou plus et qu'il y vit en famille dans une vraie case. Ainsi, du point de vue de son statut résidentiel, le pêcheur, plus que tout autre citoyen rural, est un adepte du flou et du provisoire prolongé. Se voir inscrire sur le registre des impôts ou sur le registre électoral de la commune d'accueil ne l'intéresse pas. Il préfère généralement rester rattaché administrativement à son village d'origine, souvent situé à plusieurs dizaines ou centaines de km de son lieu de vie habituel.

Avec la décentralisation qui confère aux collectivités territoriales les plus fines (cercles, communes) des compétences en matière de gestion des ressources naturelles, en matière de perception de taxes et recettes et en matière d'organisation de services publics, les pêcheurs migrants vont se trouver placés au pied du mur avec le choix soit de devenir des citoyens de seconde zone sur leurs lieux de vie, dépourvus d'accès aux services publics communaux et contraints de subir des règles et des taxes qui leur seront imposées par les « autochtones », soit de s'inscrire sur les registres des communes d'accueil et de devenir de vrais citoyens locaux aux côtés des autochtones. S'ils prennent cette seconde option, ils pourront participer aux instances démocratiques (notamment aux Conseils de pêche) des cercles et des communes qui les accueillent, mais ils devront aussi accepter de faire de leur activité professionnelle une source de recettes pour les collectivités. En retour, ils seront davantage incités à profiter des services publics (écoles, maternités) mis en place par ces collectivités. Les liens économiques et sociaux (envois d'argent, mariages) avec le village d'origine, qui sont aujourd'hui privilégiés, en pâtiront forcément par contrecoup et les possibilités de mobilité ultérieure seront forcément réduites, compte tenu de l'investissement social et économique qui aura été consenti dans la collectivité territoriale d'accueil. En d'autres termes, le mode de vie et la culture sociale des communautés de pêcheurs seront appelés à changer radicalement par rapport à ce qu'ils sont aujourd'hui. Ces communautés ne pourront plus rester en marge des communautés autochtones des zones d'accueil, mais elles devront, au contraire, s'intégrer de plus en plus à ces dernières via les institutions et les services des collectivités territoriales.

Le problème de la faible prise en compte des avis et des problèmes des pêcheurs dans la gestion de l'eau et dans la politique d'aménagement du fleuve

En dehors du point précité qui pose actuellement problème mais qui trouvera, sans doute, sa solution au fur et à mesure que le monde de la pêche s'organisera et s'adaptera au contexte démocratique moderne, le principal problème de la pêche dans la situation actuelle provient de son historique de sous-représentation dans toutes les instances décisionnelles, en particulier dans les instances de gestion de l'eau, dont les décisions peuvent avoir une influence considérable sur le niveau de ressources et sur les possibilités d'activité des pêcheurs.

Malgré les initiatives récentes (commission « gestion des eaux » de la retenue de Sélingué) qui permettent aux pêcheurs d'être simplement un peu mieux informés de ce que font les gestionnaires des vannes du barrage (et donc de ne pas se faire emporter leurs filets), on peut dire que l'influence des avis des pêcheurs et de leurs organisations professionnelles sur la gestion de l'eau reste quasiment nulle.

Au-delà de la gestion annuelle ou quotidienne des ouvrages, la politique d'aménagement du fleuve reste en effet strictement subordonnée à la satisfaction des besoins nationaux en électricité et aux programmes d'extension des zones agricoles irriguées.

Seule l'Agence de bassin du fleuve Niger qui associe à son fonctionnement les collectivités territoriales pourrait faire évoluer cette situation dans le sens d'une meilleure prise en compte des intérêts de tous les usagers du fleuve, au nombre desquels figurent les pêcheurs.

Les textes majeurs

Le Code domanial et foncier

Dans la mesure où le domaine et la propriété foncière des collectivités territoriales sont analysés plus loin, il s'agira ici de définir rapidement les éléments du domaine public intéressant l'étude relative au fleuve Niger.

D'abord, il y aurait lieu de faire remarquer que le domaine national englobe le sol et le sous-sol du territoire et comprend :

- les domaines public et privé de l'État ;
- les domaines public et privé des collectivités territoriales ;
- le domaine foncier des autres personnes, physiques ou morales, composé des immeubles faisant l'objet d'un titre foncier.

Quant au domaine public proprement dit, il est constitué de l'ensemble des biens de toutes natures, immobiliers ou mobiliers classés ou délimités dans le domaine public, affectés ou non à l'usage du public.

Le domaine public immobilier de l'État, en particulier, comprend le domaine naturel et le domaine artificiel.

Le domaine public naturel comprend les sites naturels déterminés par la Loi, dont :

- les cours d'eau navigables ou flottables dans les limites déterminés par la hauteur des eaux coulant à pleins bords avant de déborder, ainsi qu'une zone de passage de 25 m de large à partir de ces limites sur chaque rive et sur les bords des îles ;
- les sources et les cours d'eau non navigables ni flottables dans les limites déterminées par la hauteur des eaux coulant à pleins bords avant de déborder ;
- les lacs et les étangs dans les limites déterminées par le niveau des plus hautes eaux avant débordement, avec une zone de passage de 25 m de large à partir de ces limites sur chaque rive extérieure et sur chacun des bords des îles.

Quant au domaine public immobilier artificiel, il est composé des aménagements et des ouvrages réalisés pour des raisons d'intérêt général ou d'utilité publique et des terrains qui les supportent déterminés par la Loi ou ayant fait l'objet d'une procédure de classement.

Il comprend notamment :

- les canaux de navigation, les canaux d'irrigation ou de drainage, les aqueducs, les dépendances de ces ouvrages lorsqu'ils sont exécutés dans un but d'utilité publique ;

- les routes, les voies ferrées, les voies de communication de toutes natures et leurs dispositifs de protection, les conduites d'eau, les conduites d'égouts, les digues fluviales, les ouvrages d'éclairage et de balisage et leurs dépendances ;
- les ports fluviaux et leurs dépendances ;
- les aménagements aéroportuaires et leurs dépendances ;
- les lignes télégraphiques et téléphoniques, les stations radioélectriques et les autres installations de télécommunication et leurs dépendances ;
- les ouvrages déclarés d'utilité publiques en vue de l'utilisation des forces hydrauliques et du transport de l'énergie électrique ;
- les ouvrages de fortification des places de guerre ou des postes militaires ainsi qu'une zone de 250 m de large autour de ceux-ci ;
- et, de manière générale, tous les biens non susceptibles de propriété privée.

La Charte pastorale codifiée par la Loi n°004 du 27 février 2001

Elle définit les principes fondamentaux et les règles générales régissant l'exercice des activités pastorales. Elle définit les droits essentiels des pasteurs en matière de mobilité des animaux et d'accès aux ressources pastorales ainsi que leurs obligations, principalement de préservation de l'environnement et des biens d'autrui. Elle s'applique principalement à l'élevage pastoral des espèces bovines, caprines, camelines, équines et asines – à l'exclusion de la santé animale -, à l'exploitation du bétail et à sa commercialisation.

Les principes fondamentaux concernent d'abord la mobilité des animaux sur toute l'étendue du territoire national, au niveau régional et local, et sur le territoire des pays voisins dans le cadre du respect de la réglementation en vigueur et des accords internationaux sur la transhumance. De même, les activités pastorales doivent être exercées dans le respect et la préservation de l'environnement. L'exploitation des ressources pastorales pour l'alimentation des animaux doit se faire dans le respect des droits reconnus aux différents utilisateurs de l'espace. La contribution à la lutte contre la désertification incombe aux pasteurs et à leurs organisations professionnelles en collaboration avec les services techniques compétents, tout en veillant à la qualité de vie et à la surveillance du milieu en vue de préserver les ressources pastorales non seulement pour leur maintien mais encore pour leur survie contre les feux de brousse et la pollution.

Les déplacements des animaux sont réglementés sur le territoire et dans les pays voisins. Sur le territoire national, les animaux se déplacent sur des pistes pastorales constituées de pistes pastorales locales et de pistes de transhumance. Ces pistes sont gérées par les collectivités territoriales et par les organisations de pasteurs en concertation avec tous les acteurs concernés et font l'objet dans ce cadre d'un suivi des services techniques chargés de l'élevage.

Les déplacements des troupeaux maliens dans les pays voisins aux fins de transhumance sont autorisés conformément aux accords bilatéraux et sous réserve de réciprocité. Les pasteurs en transhumance sont tenus de respecter la législation des pays d'accueil.

Le droit d'accès aux ressources pastorales comporte l'accès aux pâturages et aux terres salées et l'accès à l'eau sur les espaces relevant des domaines public de l'État et des collectivités territoriales.

Les espaces pastoraux relevant des domaines de l'État et des collectivités territoriales sont constitués par les pâturages herbacés et aériens, les bourgoutières communautaires, les terres salées, les points d'eau et les gîtes d'étapes. L'accès y est ouvert conformément à la réglementation fixant les délais et modalités de passage d'animaux et selon les coutumes et les droits d'usage locaux.

Les espaces agricoles et les jachères sont réglementés en concertation avec tous les utilisateurs par les collectivités territoriales quant à leurs conditions d'accès et à leur date d'accès après les récoltes.

L'accès à l'eau est possible par les points d'eau naturels ou artificiels. L'accès aux ressources en eau des rivières, fleuves, mares et lacs du domaine public est libre et ne donne lieu à la perception d'aucune taxe ni redevance. Il est facilité par l'interdiction de toute entrave et par des servitudes de passage.

L'accès aux puits et aux forages publics est ouvert à tous les pasteurs, mais il est réglementé par les collectivités territoriales propriétaires qui instituent des taxes ou redevances et les comités de gestion à cet effet.

La protection des espaces pastoraux et la garantie des droits d'usage pastoraux est organisée par la Loi.

Les espaces et les ressources pastoraux doivent être préservés, protégés et pris en compte dans tout projet ou programme de développement.

Le schéma national, le schéma régional et le schéma local d'aménagement du territoire doivent prévoir la délimitation et l'aménagement de ces espaces pour l'exercice des activités pastorales.

La mise en valeur pastorale est constituée par l'exercice habituel et prolongé d'activités pastorales sur un espace du domaine de l'État ou d'une collectivité territoriale avec des aménagements traditionnels ou modernes et des mesures de préservation ou de restauration de l'environnement.

La protection des pistes pastorales qui font partie du domaine public de l'État ou des collectivités territoriales impose aux fonds riverains une servitude destinée à éviter tout dégât lors des déplacements des animaux.

La gestion des ressources pastorales est une gestion décentralisée et participative.

D'une part, la gestion des ressources pastorales relève de la compétence, sur leur territoire, des collectivités territoriales qui élaborent des règlements locaux visant l'utilisation rationnelle et paisible des ressources tout en veillant à la mise en œuvre de

la charte pastorale avec les services techniques de l'État. Ces ressources doivent être gérées avec la participation des organisations de pasteurs et la concertation des autres utilisateurs.

D'autre part, les organisations de pasteurs, partenaires privilégiés de l'État, des collectivités territoriales et des services techniques compétents, participent à la conception, à la mise en œuvre et au suivi de la politique nationale d'élevage.

La gestion locale des conflits est assurée par la contribution des collectivités territoriales et de tous les acteurs concernés avant le recours aux juridictions compétentes dont la saisine doit être précédée par l'arbitrage des instances locales de gestion des conflits.

Le Code des collectivités territoriales et les textes connexes

Dans la mesure où la décentralisation est une option politique fondamentale pour le développement rapide des populations, il paraît opportun de traiter du Code des collectivités territoriales sans occulter la Loi n° 93-008/AN/RM du 11 février 1993 déterminant les conditions de la libre administration des Collectivités Territoriales et la Loi n° 96-050 du 16 octobre 1996 portant principes de constitution et de gestion du domaine des collectivités territoriales.

Le Code des Collectivités Territoriales (Loi n° 95-034/AN/RM du 12 avril 1995) qui définit les institutions de ces collectivités leur reconnaît la personnalité morale, l'autonomie financière et la compétence pour régler, par leurs délibérations, leurs affaires respectives notamment celles relatives aux programmes de développement économique, social et culturel avec, entre autres :

- la protection de l'environnement ;
- la gestion domaniale et foncière ;
- la politique de création et de gestion des équipements collectifs en matière d'hydraulique rurale ou urbaine, d'organisation des activités rurales et de production agro-sylvo-pastorale.

Si le domaine de telle ou telle collectivité se compose d'un domaine public et d'un domaine privé, il est important de noter que l'État peut, pour des raisons d'intérêt général ou d'utilité publique, transférer la gestion d'une partie de son domaine public naturel ou artificiel à cette collectivité décentralisée, à charge pour elle d'en assurer la conservation.

Loi n°93-008/AN/RM du 11 février 1993 déterminant les conditions de la libre administration des collectivités territoriales

Comme la loi susmentionnée, cette loi reconnaît la personnalité morale et l'autonomie financière des collectivités territoriales dans le respect de l'unité nationale et de l'intégrité du territoire.

Elle détermine les éléments du domaine des collectivités publiques et privées composé des biens meubles et immeubles acquis à titre onéreux ou gratuit et des biens

du domaine privé de l'État que celui-ci affecte ou cède à titre onéreux ou gratuit. Les collectivités peuvent également bénéficier du transfert de la gestion d'une partie du domaine public de l'État qui, pour des motifs d'intérêt général, se réserve le droit de reprendre tout ou partie de ces biens, à charge d'en rembourser les impenses.

Loi n°96-050 du 16 octobre 1996 portant principes de constitution et de gestion du domaine des collectivités territoriales

En confirmant la composition du domaine des collectivités locales, cette loi offre l'avantage de catégoriser, selon la nature juridique desdites collectivités, le caractère d'intérêt national, régional, de cercle ou communal des biens constitutifs.

En distinguant également le domaine public immobilier du domaine privé immobilier, elle précise que le domaine public immobilier des collectivités territoriales se compose d'un domaine public naturel et d'un domaine public artificiel.

Le domaine public naturel des collectivités territoriales comprend, ainsi, toutes les dépendances du domaine public de l'État telles que définies par les législations en vigueur, situées sur le territoire desdites collectivités territoriales et dont l'Etat a transféré la conservation et la gestion à celles-ci.

Il est intéressant de mentionner :

- les cours d'eau ;
- les mares, les lacs et les étangs ;
- les périmètres de protection ;
- les sites naturels déclarés domaine public par la Loi.

Quant au domaine public artificiel, il comprend les aménagements et les ouvrages réalisés pour des raisons d'intérêt régional, de cercle ou communal. Disposant de leur domaine conformément à la Loi, les collectivités territoriales sont responsables de la gestion, de l'aménagement, de la conservation et de la sauvegarde de l'équilibre écologique de leur domaine.

Elles élaborent un schéma d'aménagement du territoire qui, revu et corrigé périodiquement en tenant compte du schéma national, précisera le domaine agricole, forestier, pastoral, piscicole, faunistique, minier et de l'habitat.

Les autorités villageoises, de fractions ou de quartiers, peuvent recevoir des délégations de pouvoir des organes de délibération des collectivités territoriales.

Parmi ces éléments, notons particulièrement :

Le domaine agricole des collectivités territoriales

Il comprend :

- les zones de culture sèche ou pluviale ;
- les zones de culture irriguée ainsi que leurs aménagements hydrauliques ;

- les zones de culture de décrue ;
- les zones de maraîchage ;
- les zones d'arboriculture ;
- les jachères de moins de 10 ans.

Les collectivités territoriales gèrent leurs activités en collaboration avec les organisations professionnelles et les services techniques compétents conformément aux lois et aux conventions locales. Elles peuvent confier à toute personne physique, morale publique ou privée la gestion de certaines unités d'aménagement du domaine.

Elles déterminent, par leur organe de délibération, les servitudes autour des cours d'eau, des mares, des lacs, des étangs, des ouvrages d'irrigation et des canaux dans le respect des dispositions spécifiques relatives au domaine public prévues par le Code domanial et foncier.

De même, l'accès au domaine agricole est autorisé et contrôlé par les instances ayant en charge la gestion du domaine conformément aux lois, règlements et conventions locales.

Enfin, le taux des redevances perçues est fixé par l'organe compétent de la collectivité territoriale après consultation de la Chambre régionale d'agriculture, en ce qui concerne l'agriculture irriguée.

Le domaine pastoral des collectivités territoriales

Il comprend :

- les zones de pâturage ;
- les jachères de plus de 10 ans ;
- les parcours pastoraux ;
- les points d'eau.

C'est en collaboration avec les organisations professionnelles et les services techniques compétents que les organes de délibération des collectivités réglementent l'organisation des activités pastorales conformément aux lois et aux conventions locales.

Ces organes définissent les parcours et les servitudes autour des cours d'eau, des mares, des lacs et des étangs en collaboration avec les services compétents et fixent le taux des redevances perçues à l'occasion de la délivrance des autorisations d'accès aux pâturages après consultation de la Chambre régionale d'agriculture.

Le domaine piscicole des collectivités territoriales

Il comprend les aménagements hydrauliques et piscicoles que les collectivités réalisent sur leur territoire et les eaux publiques qui leur sont concédées par l'Etat. Les activités de pêche sont organisées en collaboration avec les organisations professionnelles et les services techniques compétents conformément aux lois et aux

conventions locales. Les organes de délibération prennent connaissance des demandes de concession des droits de pêche et fixent, après consultation de la Chambre régionale d'agriculture, les taux des redevances perçues à l'occasion de la délivrance des autorisations de pêche dans leur domaine.

Le Code de l'eau

La Loi n° 2-006 du 31 janvier 2002 fixe les règles d'utilisation, de conservation, de protection et de gestion des ressources en eau.

Elle s'applique à toutes les eaux dépendant du domaine hydraulique, c'est-à-dire du domaine public hydraulique de l'État et du domaine public hydraulique des collectivités territoriales réglementés par le code domanial et foncier.

La gestion globale durable et équitable de la ressource en eau ainsi que sa protection est assurée par l'État qui peut transférer une partie des ressources hydrauliques aux collectivités décentralisées. D'une part, un schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux établi par le ministère chargé de l'eau pour vingt ans fixe les objectifs d'utilisations, de mise en valeur et de protection quantitative et qualitative des ressources en eau ainsi que des écosystèmes aquatiques. D'autre part, la protection qualitative vise à interdire tout déversement ou écoulement, rejet, dépôt direct ou indirect dans les eaux de matières de toutes natures susceptibles de porter atteinte à la santé publique ainsi qu'à la faune et à la flore aquatique. La protection quantitative est basée sur la réglementation des prélèvements d'eaux de surface et des prélèvements d'eaux souterraines et sur l'institution, par déclaration d'utilité publique, de périmètres de protection pour préserver des points de prélèvement des eaux destinées à la consommation humaine.

En matière de lutte contre les effets nuisibles des eaux, la Loi prévoit des mesures d'assainissement du milieu naturel et contre les inondations.

En plus de l'approvisionnement en eau potable dont la production, le transport et la distribution constituent un service public délégué à des exploitants, la Loi contient des dispositions propres à certains usages tels que l'irrigation, l'industrie, la production de l'énergie, la pêche et la pisciculture, la navigation, le transport, le tourisme et les loisirs.

Des organes consultatifs dans la gestion des ressources en eau sont créés respectivement auprès de l'administration chargée de l'eau et auprès des autorités des collectivités territoriales avec un conseil national de l'eau, des conseils régionaux et locaux de l'eau et des comités de bassins et de sous-bassins qui ont pour mission de donner leur avis sur toutes les questions relatives à l'eau.

Enfin, le Code de l'Eau autorise les fonctionnaires de l'administration chargée de l'eau, de la santé publique et de l'environnement ainsi que les agents des administrations régionales, des cercles et des communes compétents sur leur territoire respectif, dûment mandatés, à faire des constats en cas d'infraction au Code de l'Eau. Ils doivent en saisir les officiers de police judiciaire territorialement compétents à fins de droit.

Loi n°95-032 du 20 mars 1995 fixant les conditions de gestion de la pêche et de la pisciculture

Cette loi qui abroge la Loi n° 86-44/AN/RM du 24 mars 1986 portant Code de la Pêche, fixe les conditions générales de conservation, de protection, de mise en valeur et d'exploitation des ressources halieutiques et piscicoles du domaine piscicole national.

D'abord, elle définit :

- le domaine piscicole national comme toute surface en eau où l'activité de pêche ou de pisciculture peut s'exercer ;
- la pêche comme la recherche et la capture du poisson, des mollusques, des crustacés et des algues aquatiques ;
- la pisciculture comme l'élevage du poisson dans un milieu aménagé ou protégé à cet effet ;
- les produits de la pêche comme les poissons, les mollusques, les crustacés et les algues sous toutes les formes, pêchés dans les eaux maliennes ou en provenance d'autres pays ainsi que leurs produits dérivés ;
- les engins de pêche comme tout matériel utilisé pour la pêche ;
- la réserve piscicole comme une aire délimitée et classée pour permettre le libre jeu des facteurs écologiques sans intervention extérieure à l'exception des mesures jugées indispensables par les autorités compétentes ;
- la mise en défens comme l'interdiction temporaire de la pêche sur un plan d'eau donnée ;
- les droits d'usage comme ceux par lesquels les personnes physiques ou les communautés jouissent à titre temporaire ou définitif des eaux ou de leurs produits en vue de satisfaire leurs besoins individuels ou collectifs à l'exclusion de toute transaction commerciale ;
- l'introduction d'espèces comme l'importation et la mise en liberté de toute espèce aquatique dans un site naturel différent de son milieu écologique d'origine.

La Loi n° 95-032 détermine la composition et la répartition du domaine piscicole.

Ainsi, le domaine piscicole national comprend les fleuves, les rivières, les lacs, les mares, les étangs et les canaux d'irrigation qu'ils soient naturels ou artificiels et se répartit entre l'État, les collectivités territoriales décentralisées et les particuliers.

Elle réglemente également la gestion du domaine piscicole. À ce titre, elle édicte des principes généraux qui reviennent à une protection particulière des ressources halieutiques par l'État, les collectivités territoriales et les particuliers.

Elle pose des règles concernant :

- le droit de pêche qui appartient à l'Etat et aux collectivités territoriales décentralisées et qui peut être concédé par ceux-ci sans faire obstacle à l'exercice de servitudes. À l'exception des droits d'usage, il est interdit de

pêcher dans les domaines piscicoles de l'État et des collectivités décentralisées sans permis ou sans autorisation ;

- le droit d'usage qui doit être prévu par les plans de gestion des réserves piscicoles, des réserves naturelles intégrales, des parcs nationaux, des réserves de faune, des sanctuaires et des forêts classées. Les droits d'usage sont exercés conformément aux lois et aux conventions au niveau régional et local ;
- les mesures de protection qui peuvent et doivent être prises par les autorités compétentes et dont les modalités sont déterminées par voie réglementaire et conventionnelle.

L'exercice de la pêche et de la pisciculture qui implique, notamment :

- l'interdiction de toute activité ou acte de nature à détruire la faune et la flore aquatiques ;
- l'obligation de remettre à l'eau toute prise non utilisée ;
- l'interdiction de pêcher à l'explosif, à l'aide d'engins électrocutants, de substances radioactives, de produits chimiques, de poison, de drogues ou de plantes toxiques, sauf dérogation de l'autorité chargée de la pêche pour des fins de recherche scientifique.

Un conseil de pêche est créé à l'échelon de chaque collectivité territoriale décentralisée et au niveau national.

Enfin, la Loi prévoit la répression des infractions en matière de pêche avec :

- des actions et des poursuites à la diligence du directeur chargé des pêches et de la pisciculture ou le représentant des collectivités territoriales décentralisées devant les tribunaux conjointement avec le Ministère Public ;
- des pénalités qui atteignent toutes les catégories d'interdiction susmentionnées ;
- des transactions.

Les conventions internationales

Le régime du fleuve Niger était déterminé par l'Acte général de Berlin du 26 février 1885, l'Acte général de Bruxelles du 2 juillet 1890 et la Convention de Saint Germain-en-Laye du 1er septembre 1919, successivement avant l'indépendance des États africains, notamment des neuf États riverains. Ces États (la République fédérale du Cameroun, la République de Côte d'Ivoire, la République du Bénin, la République de Guinée, le Burkina Faso, la République du Mali, la République du Niger, la République Fédérale du Nigeria et la République du Tchad) ont adopté à Niamey, le 26 octobre 1963, l'acte relatif à la navigation et à la coopération économique entre les États du bassin du Niger qui abroge les conventions internationales antérieures.

L'acte relatif à la navigation et à la coopération entre les États du bassin du Niger du 26 octobre 1963 maintient la liberté de navigation et le principe d'égalité des usagers.

Par cet acte, les États riverains s'engagent à établir une étroite coopération en vue de l'étude et de l'exécution de tous les projets susceptibles d'exercer une influence sensible sur certaines caractéristiques du régime du fleuve, de ses affluents et sous-affluents, sur leurs conditions de navigabilité et d'exploitation agricole et industrielle, sur l'état sanitaire des eaux et sur les caractéristiques biologiques de la faune et de la flore. Il prévoit une institution intergouvernementale chargée d'encourager, de promouvoir et de coordonner les études et les programmes relatifs aux travaux de mise en valeur des ressources du bassin.

L'accord signé à Niamey le 25 novembre 1964 et révisé le 2 février 1968, le 15 juin 1973 et le 26 janvier 1979 à cette fin, crée la Commission du fleuve Niger. La convention révisée, portant création signée à N'Jaména le 29 octobre 1987 de l'Autorité du bassin du Niger, transforme la Commission du fleuve Niger en une Autorité du bassin du fleuve Niger qui en hérite tous les avoirs et en assume toutes les obligations, avec son siège à Niamey.

Dépassant le cadre étriqué de « fleuve international » ou de « voie d'eau internationale » qui a longtemps dominé le droit international notamment le droit fluvial international, la convention révisée portant création de l'Autorité du bassin du Fleuve Niger adopte la notion doctrinale de bassin fluvial. Notion qui, en droit international, tient compte de l'évolution technique liée à l'utilisation agricole et industrielle susceptible d'engendrer une pollution chimique, sanitaire ou autre et qui permet de créer les véritables conditions d'une coopération efficace orientée vers l'intégration régionale des intérêts compte tenu des enjeux d'une ressource rare et partagée comme le fleuve Niger.

Aussi la convention a-t-elle opté judicieusement pour la mise en place d'organes permanents avec des pouvoirs d'orientation et de décision (sommet des chefs d'État et de Gouvernement, organe suprême), de contrôle (conseil des ministres « *responsable du suivi des activités du secrétariat exécutif dont il rend compte au sommet* », comité des experts chargés de faire des recommandations dudit conseil dont il prépare les sessions) et, enfin, d'exécution (secrétariat exécutif : organe d'exécution de l'Autorité chargé d'entreprendre tous travaux et études en vue de la réalisation des objectifs de l'Autorité et de formuler toutes propositions propres à contribuer au développement harmonieux de l'Autorité).

De même, la convention assigne à l'Autorité le but de promouvoir la coopération entre les pays membres et d'assurer un développement intégré du bassin du Niger dans tous les domaines de l'énergie, de l'hydraulique, de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche et de la pisciculture, de la sylviculture et de l'exploitation forestière, des transports et des communications et de l'industrie.

À ces fins, l'Autorité du bassin du fleuve Niger est chargée de :

- harmoniser et coordonner les politiques nationales de mise en valeur des ressources en eau du bassin du Niger ;
- promouvoir et participer à la planification du développement par l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de développement intégré du bassin ;

- promouvoir et participer à la conception et à l'exploitation des ouvrages et des projets d'intérêt commun ;
- assurer le contrôle et la réglementation de toute forme de navigation sur le fleuve, ses affluents et ses sous-affluents ;
- participer à la formulation des demandes d'assistance et à la mobilisation des financements des études et des travaux nécessaires à la mise en valeur des ressources du bassin.

Cette convention est donc remarquable par son internationalisme qui porte au rapprochement des intérêts par la voie de la coopération, de la négociation sereine et du règlement pacifique des différends. À cet égard, elle dispose que tout désaccord pouvant surgir entre les États membres dans l'interprétation ou l'application de la présente convention est réglé à l'amiable par voie de négociations directes. À défaut, le différend est porté par l'une des parties devant le sommet qui statue en dernier ressort à l'exclusion apparemment de toute procédure juridictionnelle interne ou internationale. Ce qui n'est pas rien au regard des impératifs de développement et d'intégration régionale.

Coutumes, pratiques et usages

De nombreuses études font ressortir la persistance de la coexistence formelle des règles juridiques héritées de la colonisation avec un ensemble de règles issues des traditions séculaires qui emportent coutumes, pratiques et/ou usages et gouvernent le comportement des hommes dans leur environnement.

Ce fait dont il est temps de prendre conscience fait apparaître un double ordonnancement juridique, traditionnel et moderne, coutumier et étatique, de la terre, de l'eau, de la forêt, de la pêche…

II en résulte une complexité qui stigmatise la problématique de l'articulation des droits coutumiers et étatiques. Quelle normalité impérative observer et appliquer ? Comment appliquer des droits fonciers, étatiques et coutumiers dans un environnement déjà régi par les règles qui ont résisté à l'épreuve de tous les régimes successifs ?

En réalité, dans tout l'espace socio-historique occupé par le Mali et pas seulement le long du fleuve Niger, le droit foncier qui touche à tous les éléments de la nature (terre, eau, forêt, pâturages, faune, …) est porté par une cosmogonie qui associe intimement les concepts juridiques, religieux et sacrés.

Cette cosmogonie est commune à toutes les ethnies qui composent les unes avec les autres, malgré les guerres hégémoniques et grâce aux solidarités multiformes dont la fonction sociale reste encore vivace (cousinage à plaisanterie, bon voisinage, alliances totémiques, identités mystiques, etc.).

Partout, même au-delà des frontières actuelles (trop récentes), les coutumes continuent de rythmer la vie à travers des institutions traditionnelles et des usages qui sont encore respectés dans les pratiques.

Aujourd'hui encore, malgré la toute puissance « publique » de l'État, les espaces agricoles, pastoraux, halieutiques ou autres sont (aussi) réglementés par le droit coutumier et pas seulement par le code domanial et foncier.

En matière de gestion des ressources foncières force est de se référer, selon le cas au *Dugukolotigi* (chef de terre), au *Jitigi* (maître de l'eau), au *Kungotigi* (maître de la brousse) au *Baba Aougal* (maître de la pêche) ou au *Jowro* (maître des pâturages). Aujourd'hui, la décentralisation est une option politique qui tend à donner force à cette réalité socio-économique et, malgré la très moderne souveraineté de l'État, propriétaire de la terre, du sol, des sous-sols et de leurs accessoires, ces institutions traditionnelles fonctionnent.

II en résulte une articulation singulière du droit coutumier et des règles juridiques étatiques : depuis le code domanial et foncier qui a été critiqué pour ses aspects répressifs, les codes successifs tendent à une participation des populations à la gestion des ressources foncières. Mieux, en cas de conflit, le législateur malien fait obligation aux parties en litige, de recourir aux instances locales de règlement des conflits avant toute saisine de la juridiction compétente. Mieux encore, il ressort d'une lecture aussi bien verticale que croisée des textes en vigueur que les usagers, c'est-à-dire les populations intéressées, se sont vu reconnaître un pouvoir de réglementation avec les chartes ou les conventions locales. Ces conventions ne sont autres que la codification des coutumes, des pratiques et des usages en matière foncière (agriculture, pêche, pâturage, etc.).

Une telle tendance a été effectivement déterminée par la politique de la décentralisation telle qu'elle apparaît dans les textes majeurs décrits plus haut.

II reste que, si les litiges parviennent à la juridiction compétente malgré toutes les précautions, des conflits graves demeurent mal résolus.

Contraintes et mise en évidence des problèmes ; mise en œuvre et application du cadre juridique

II résulte de ce qui précède que la mise en œuvre et les applications du cadre juridique pose problème du fait de son ambivalence.

II est apparu plus haut que le législateur, soucieux de plus en plus d'ancrer la décentralisation, a fait place à la concertation et à une certaine cohésion des institutions au niveau local, national et international par divers mécanismes décisionnels.

Si toutes les autorités ou organes chargés de la gestion des ressources concernées ont un pouvoir de tutelle, le législateur leur a imposé une obligation de coordination verticale et horizontale avec une compétence liée de consultation. Qu'il s'agisse des organes centraux et déconcentrés de l'État (c'est-à-dire au niveau national et régional) ou des organes locaux, les mécanismes décisionnels devraient aboutir à une harmonisation de la gestion des ressources. L'exercice du pouvoir de tutelle permet d'assurer un fonctionnement normal des services compétents intéressés pendant que les cadres de concertation institutionnels, étatiques et coutumiers contribuent à régler à la base les conflits et à corriger les lacunes sur le terrain.

Par ailleurs, il convient de mentionner certains cadres de concertation prévus par la Constitution aux côtés des institutions de l'État et des collectivités territoriales :

- l'Assemblée nationale qui, avec sa Commission du Développement rural et de l'Environnement, a notamment l'initiative des lois en matière d'environnement concurremment avec le Haut Conseil des Collectivités ;
- le Haut Conseil des Collectivités territoriales qui a pour mission d'étudier et de donner un avis motivé sur toute politique de développement local et régional. Il peut faire des propositions au gouvernement sur toute question concernant la protection de l'environnement et l'amélioration de la qualité de vie des citoyens à l'intérieur des collectivités. Le gouvernement est tenu de le saisir pour avis sur ces questions ;
- le Conseil économique, social et culturel qui a compétence sur tous les aspects du développement économique, social et culturel y compris, conformément à l'article 15 de la Constitution, sur la protection, la défense de l'environnement et la promotion de la qualité de la vie qui sont un devoir pour tous et pour l'État.

L'analyse achève de montrer que la mise en œuvre et les applications du cadre juridique font appel à une multitude d'acteurs de nature si diverse et sectorielle et à des compétences si variées que la gestion des ressources, notamment du fleuve Niger, semble mériter une meilleure harmonisation et des corrections.

Réaction des utilisateurs « porteurs d'enjeux » relative au cadre existant

C'est ce qu'indiquent les réactions des utilisateurs vis-à-vis du cadre existant. D'après des informations recueillies auprès de certains services techniques compétents

et d'usagers, il y aurait trop de textes et de structures. Selon les mêmes sources, certaines structures comme l'Agence du bassin du fleuve Niger sont mal implantées ou ne fonctionnent pas (système d'alerte pour les inondations en 2001 à Sélingué, entre autres exemples ; Conseils de Pêche qui doivent se saisir de conflits et qui n'ont pas été institués).

Ainsi, de nombreuses réformes sont en cours pour corriger les dysfonctionnements et les carences constatées. Le projet de convention locale de pêche est en cours d'élaboration avec le concours de plusieurs services techniques compétents (ODRS, DNAER, DNCN, DNAMR) et la participation des maires limitrophes de Sélingué, des sous-préfets de Bougouni et de Yanfolila, des représentants des Hauts Commissaires et des usagers. Il s'agira principalement d'identifier les problèmes à résoudre qui n'ont pas été pris en compte par les textes.

Est également en cours d'élaboration un projet pilote d'amélioration de l'environnement politique et institutionnel pour le développement des systèmes de cogestion en pêche continentale.

Enfin, de plus en plus, il s'agit d'aller vers une gestion intégrée de l'eau et d'abandonner la gestion sectorielle. Ce qui interpelle les États de l'ABN, l'administration malienne, les collectivités territoriales et les usagers.

Les nombreux litiges fonciers relatifs à l'utilisation des espaces agricoles, piscicoles ou pastoraux, notamment, portés devant les tribunaux de l'État doivent, selon nos informateurs, amener les autorités centrales à reconsidérer les « choses du monde rural » et à respecter nos coutumes notamment en matière de nomination de *Jowro* ou de propriété de la terre. À cet égard, des utilisateurs « porteurs d'enjeux », notamment les agriculteurs, les pasteurs et autres ont vivement réagi lors de la conférence nationale en 1991 contre l'autoritarisme et la centralisation répressive de l'État qui traduit une méconnaissance, un mépris ou une ignorance du monde rural.

Si, depuis la révolution du 26 mars 1991, des améliorations se font sentir dans les textes relatifs à la gouvernance des espaces territoriaux décentralisés et, par conséquent, dans les textes relatifs aux ressources foncières, la participation et la concertation des usagers porteurs d'enjeux ne semble être qu'un début de solution des problèmes liés au cadre juridique existant et nés, bien souvent, de l'application des textes.

Contraintes dans l'application des textes

Comme il ressort des textes étatiques, les contraintes dans l'application des textes viennent principalement de la juxtaposition de plusieurs ordonnancements juridiques dans l'espace territorial d'application.

Ces textes imposent, en effet, aux utilisateurs des espaces agricoles, pastoraux, halieutiques ou forestiers à se référer, dans les matières concernées, au cadre juridique coutumier pour éviter des conflits ou harmoniser les vues ou les solutions. Ces contraintes intéressent également l'exercice des compétences des services techniques de

l'État, nationaux ou déconcentrés, et des collectivités décentralisées qui doivent veiller à la régularité juridique des actes de gestion foncière.

Il est évident qu'une même obligation de respecter le droit étatique pèse sur les utilisateurs et les services compétents. Ce qui entraîne, de plus, le contrôle de ces services par des moyens (humains, techniques, intellectuels et culturels) insuffisants d'inves-tigation.

Dans cette perspective, la régularité juridique des actes de gestion foncière s'analyse en un double rapport de légalité : rapport de légalité conforme ou compatible avec le cadre juridique étatique et rapport de légalité conforme ou compatible avec le droit coutumier.

Mais, s'il y a contradiction entre les deux droits comme dans le cas où une collectivité villageoise ou une famille considère qu'un bras de fleuve est sa propriété face à une autre collectivité, une autre famille ou contre l'Autorité administrative, les conflits deviennent inévitables. En dépit de la souveraineté territoriale de l'État et malgré la théorie de l'immatriculation de la terre et de l'inaliénabilité du domaine public non susceptible d'appropriation privée, l'instabilité institutionnelle et politique sera le lourd tribut d'une éventuelle décision de justice ou d'un ordre administratif de déguerpissement tant que les contraintes dans l'application des textes ne seront pas levées par une réécriture de la législation foncière contraire à des coutumes auxquelles elle est venue se substituer par la force.

Ce n'est pas tout, car la réécriture s'impose encore du fait de la multiplicité et de l'enchevêtrement des institutions qui gèrent les ressources foncières : il n'est que de se reporter, plus haut, à leur énumération non exhaustive pour s'en convaincre.

Pour s'en convaincre, il suffirait, par exemple, de considérer les compétences répétitives des différents organes de gestion de l'eau le long du fleuve Niger, alors que l'Agence du Bassin du fleuve Niger exerce des compétences qui couvrent à suffisance les soucis auxquels le comité du bassin du Niger supérieur et la commission des eaux de la retenue de Sélingué (grâce à ses quatre antennes régionales englobant les quatre grands sous-ensembles du fleuve : le Niger supérieur, le delta intérieur, le Bani et la boucle du Niger) doivent faire face.

Alors que, précisément, l'Agence a pour mission la sauvegarde du fleuve Niger, de ses affluents et de leurs bassins versants et la gestion intégrée de ses ressources, que l'État, les collectivités territoriales et les utilisateurs sont associés à ses missions et qu'elle est conçue pour atteindre cinq résultats opérationnels dont la pertinence est évidente, non seulement à l'échelle du Mali mais à l'échelle de l'ensemble des neuf États riverains du fleuve Niger !

L'Agence pourrait ne pas dépendre d'un ministère mais de l'Autorité du bassin du fleuve Niger dont elle serait un outil de réalisation des missions. Ce qui pourrait lever certaines contraintes d'application nées de la prolifération des institutions dont il faudrait freiner la tendance par une meilleure harmonisation de la gestion et une rationalisation des outils quant à leur utilisation et leur implantation.

Cette méthode d'approche tend à indiquer l'intérêt de l'abandon de la gestion sectorielle nationale au profit d'une coopération internationale et sous-régionale recentrée sur l'intégration des intérêts vitaux des peuples.

Déjà, même et surtout dans le cadre des options actuelles, certaines suggestions et recommandations qu'il conviendrait de prendre en compte apparaissent à partir de tous les constats liés aux applications du cadre juridique comme aux réactions des porteurs d'enjeux susmentionnés.

Les options

Les options actuelles

C'est un truisme que de dire que les options actuelles ont imprimé un processus institutionnel de décentralisation capable véritablement de susciter un développement économique, social et culturel à la base : c'est une révolution qu'il s'agit de parachever en prenant des mesures appropriées pour la prise en charge autonome des collectivités territoriales avec les compétences indispensables.

Ce processus a été décrit plus haut dans son contexte et dans un cadre juridique et institutionnel global.

Suggestions et recommandations

Il s'agit, ici, de souligner la nécessité d'accélérer la décentralisation d'autant qu'elle rencontre l'adhésion des populations, notamment celles majoritairement rurales :

- en levant les contradictions des textes liées à la lenteur du désengagement de l'État ;
- en harmonisant les différents codes avec les réalités locales et avec l'histoire politique et institutionnelle du pays pour bâtir un Mali démocratique et prospère.

De là vient l'exigence de corriger la prolifération des organes de gestion du fleuve Niger sur le territoire national du Mali.

De là vient aussi l'urgence d'intégrer les outils de gestion de la portion malienne du fleuve Niger dans le champ institutionnel de l'Autorité du Bassin du fleuve Niger en concrétisant la coopération internationale sur la base d'une gestion harmonisée des institutions et des ressources partagées du fleuve conformément aux intérêts vitaux des peuples riverains et aux vœux exprimés par les chefs d'État et de Gouvernement des pays riverains, à charge de réciprocité et de réadaptation institutionnelle de tous les instruments juridiques de gestion du fleuve Niger.

Il y va de l'avenir du fleuve, de sa vie comme de sa mort.

 © IRD éditions 2007

CHAPITRE 6

Les systèmes d'information environnementaux

Almoustapha FOFANA, Pierrick GIVONE,
Jérôme MARIE, Pierre MORAND,
Didier ORANGE, Pierre Sibiri TRAORÉ

Introduction

Un système d'information est un ensemble structuré :

- de données, de traitements et de leur communication avec leur description à l'aide, respectivement, de structures, de procédures et de protocoles ;
- de moyens techniques (le système informatique) mais aussi de documents, matériels de reprographie, communication,… ayant pour fonction de générer, mémoriser, traiter, transférer et exploiter des informations dans le cadre d'objectifs définis.

Un système d'information repose sur une modélisation des données qui doit être fidèle, cohérente et irredondante.

Une approche à la fois globale et durable de la gestion de l'environnement et des ressources renouvelables implique nécessairement l'acquisition, la maîtrise, le stockage et la diffusion d'une grande quantité (et d'une bonne qualité) de données, d'informations et de connaissances, et donc la mise en œuvre et le maintien de systèmes d'information environnementaux (SIE). Les enjeux sont considérables : ce sont ceux d'un développement économique et sociable garantissant notre avenir.

Cette tentative de définition a essentiellement pour but de rappeler que la conception, la mise en œuvre et la maintenance d'un système d'information environnementale (donc 4D par nature) ne se réduit jamais au problème technologique de l'emploi d'un système d'information géographique et d'un système gestionnaire de bases de données, aussi sophistiqués et performants soient-ils. La contribution de notre collègue Housseini Maïga est très claire et très informative à ce sujet : il s'agit avant tout de contribuer à organiser, coordonner, harmoniser, structurer, promouvoir,… des institutions dont la mission se partage entre la coopération et la production, y compris l'information. Ceci ne signifie évidemment pas que la partie technologique des SIE soit à négliger. Elle exige des compétences technologiques de haut niveau et des ressources financières significatives qui, à elles seules et aussi élevées soient-elles, ne garantissent pas le succès de l'opération qui réside dans le dépassement des quatre difficultés fondamentales suivantes :

- produire des données, des informations et des procédures de traitement (modèles) en quantité et qualité suffisante. Ce point est une banalité à court terme, mais il devient rapidement vital : un SIE n'existe que si l'effort de collecte des données/informations se maintient sans terme annoncé ;
- partager les informations, et pas simplement à l'échelle régionale (celle du bassin versant). Ce point est aussi important que le précédent car, déjà à l'échelle nationale et infranationale, aucun service n'a vocation à recueillir et à organiser toutes les informations requises. Leur partage qui assure leur capitalisation doit être la règle absolue, acceptée d'emblée par tous. Il existe désormais des moyens technologiques (voir ci-après) pour organiser de manière réaliste le partage des données/informations ;
- diffuser les informations du système. Ceci s'entend aussi bien entre les pourvoyeurs de données/informations/modèles qu'à l'attention des utilisateurs du système. En fait, un SIE ne peut exister que s'il dispose d'utilisateurs avec lesquels il passe un contrat opérationnel d'information, les utilisateurs garantissant en retour les ressources nécessaires à son fonctionnement. Cette règle ne peut, comme la précédente, souffrir d'exception. La diffusion de l'information concerne aussi bien (tout média confondu) un bulletin, par exemple mensuel, à destination du plus grand nombre, que des informations sectoriellement très ciblées (à usage de la navigation sur le fleuve par exemple) et des tableaux de bords pour les décideurs. Ce point exige naturellement (mais cela peut être une difficulté majeure sur le bassin versant du fleuve Niger) que les moyens de cette diffusion existent et que les réseaux de communication soient adaptés, ou en situation de le devenir à terme ;
- s'incarner dans une institution. La technologie moderne du traitement de l'information rend désormais possible une « virtualisation » à peu près complète de toute opération relevant de l'exploitation des systèmes d'information. Il ne s'agit donc pas de créer un lieu physique dépositaire unique des données/informations/modèles à traiter, mais de disposer d'une institution collectivement mise en place sur le bassin versant dont la mission souhaitée et acceptée par tous soit d'organiser, en responsabilité, le SIE du fleuve Niger. À ce stade, l'Autorité du bassin du Niger (ABN) semble pouvoir jouer ce rôle à condition qu'une volonté politique commune s'exprime (ou renforce une expression ancienne) clairement dans ce sens. Ce point est d'autant plus important que l'attractivité du bassin versant vis-à-vis de programmes

internationaux susceptibles de financer un tel projet (UE, GMES ou Challenge programme, par exemple) sera d'autant plus forte et avérée qu'une telle institution démontrera des capacités opérationnelles.

Lorsque ces conditions seront réunies et ces difficultés surmontées (en fait quand ces processus seront engagés dans cette direction), on pourra envisager la suite en termes de co-construction de connaissances comme élément d'une gestion intégrée fondée sur la disponibilité des systèmes d'information environnementaux.

Analyse et catégorisation des besoins d'information

Rappel sur les besoins exprimés

II s'agit, ici, d'analyser et de catégoriser les besoins d'information exprimés par l'ensemble des gestionnaires (autorités, et non pas utilisateurs au sens large) pour les six questions, en tenant compte du fait que :

- la question 6 identifie les besoins à partir du détail des questions 1 à 5 et des analyses correspondantes ;
- des besoins d'informations ont été parallèlement identifiés par les gestionnaires impliqués dans le groupe de travail qui a initialement élaboré le détail de la question 6.

L'expertise se base donc sur l'examen de ces deux sources de besoin qui devraient, normalement, coïncider (*cf.* tableau suivant).

Synthèse des besoins exprimés spécifiquement dans le cadre de la question 6	**Besoins en information exprimés dans le cadre des questions 1 à 5**
a) l'accès à une base de données permanente sur la pollution du fleuve (en terme d'indicateurs de pollution et de niveaux de référence) **b)** la fourniture d'informations des crues pour la protection des biens et des populations (en supposant qu'un modèle pertinent puisse être utilisé, que des cartes de risque puissent être établies et qu'un système opérationnel d'alerte puisse être déployé) **c)** la consolidation des connaissances scientifiques pour l'évaluation d'impact sur le régime hydrologique de barrages existants et à venir (en termes de données et d'options de modélisation, de méthodologies et d'indicateurs d'évaluation d'impact) **d)** la disponibilité d'un modèle liant le régime hydrologique aux superficies inondées dans le delta intérieur, base d'un système d'aide à la décision régional pour le secteur agro-pastoral et celui de la pêche **e)** la distribution adéquate des ressources en eau entre les utilisateurs pour satisfaire les besoins énergétiques et autres au plan saisonnier et sur le plus long terme **f)** la diffusion large d'informations sur le fleuve au moyen d'un système de suivi/observatoire (impliquant des choix de données et des mécanismes de diffusion de l'information)	**Question 1 :** informations sur les données, les paramètres et la gestion requis pour une distribution équitable, efficace et durable des ressources en eau, notamment pendant les périodes de crue et d'étiage avec une attention prioritaire sur Bamako, Niamey et le delta intérieur **Question 2** : informations sur l'usage et la disponibilité de l'eau pour une agriculture irriguée et sur le cadre économique et légal de la gestion du fleuve pour la production agricole. **Question 3** : indicateurs de l'évolution du régime du fleuve et des changements environnementaux à court, moyen et long terme en relation à la variabilité des pluies **Question 4** : informations sur les risques de crue et de pollution, alerte précoce et gestion des crises **Question 5** : informations sur le cadre institutionnel et légal réglementant la gestion du fleuve, incluant des informations sur les communautés décentralisées (cartes, etc.)

Inventaire des besoins en information

La lecture des contributions d'experts permet de préciser et de reformuler un certain nombre de besoins en information sous la revue rapide suivante :

À l'exception, peut-être, de la question 5, l'ensemble des contributions soulève des questions de base sur la variabilité interannuelle du cycle hydrologique du fleuve Niger. La revue des connaissances existantes indique que la dynamique saisonnière du cycle est déjà bien connue et devrait pouvoir répondre aux questions relatives au calendrier (stable) et à la vitesse des mises en eau (propagation des crues et étiages). Il s'agit plutôt d'améliorer notre capacité à caractériser et à prévoir les extrêmes climatiques (notamment sur le haut bassin) qui conditionnent l'expression de ce cycle saisonnier sous forme d'étiages (question 1) et de crues (question 4) excessifs. Le développement de cette capacité à fournir de l'information sur les déterminants du cycle doit s'accompagner de celui de la capacité à suivre et à partager des données sur leurs impacts hydrologiques locaux (par exemple en termes de hauteurs d'eau au niveau des retenues ou d'étendue des surfaces inondées dans le delta intérieur du Niger-DIN). Il doit enfin s'inscrire dans un cadre dynamique non stationnaire qui tienne compte des grandes tendances climatiques et démographiques sur des échelles de temps décennales et centennales.

Plusieurs réponses à la question 1 suggèrent un manque d'information détaillée, précise et standardisée sur la topographie du bassin en général et du lit du fleuve en particulier. Associée aux conditions atmosphériques qui contrôlent l'entrée d'eau dans l'hydrosystème, la variable topographique revêt une importance primordiale car elle définit les « conditions aux frontières » du bassin et des sous-bassins dont elle détermine la performance à toutes les échelles. Cette information est donc critique pour améliorer le réalisme de tous les modèles existants ou en projet (notamment hydrologiques et hydrauliques), pour supporter la conception d'aménagements futurs et pour évaluer les impacts écologiques (la connectivité hydrologique et la mobilité des poissons dans le DIN) et humains.

Les contributions sectorielles liées notamment au DIN font ressortir un certain nombre de besoins spécifiques additionnels relatifs aux suivis des dynamiques écologiques affectées par le régime du fleuve avec :

- le suivi de la production halieutique pour asseoir la durabilité interannuelle de la ressource (par exemple en pérennisant un système d'information sur les marchés de poisson) ;
- le suivi des superficies infestées par des macrophytes (besoin commun au DIN et aux agglomérations urbaines le long du fleuve) ;
- le suivi de la régression des forêts et de la conversion des pâturages naturels (bourgoutières) en zones cultivées ;
- et le suivi de l'ensablement du lit du fleuve (même si ce dernier est à la fois une cause et une conséquence des changements dans le régime du fleuve).

Les analyses sectorielles liées aux établissements humains mettent en évidence les besoins d'information structurante sur l'occupation des terres du bassin, notamment à proximité et à l'intérieur du lit du fleuve avec :

- les communautés décentralisées et régimes fonciers (DIN, périmètres irrigués) ;
- le cadastre et plans d'occupation (zones urbaines, périmètres irrigués) en relation à la délimitation et à la dénomination des sous-bassins et des aquifères ;
- les mandats d'intervention (notamment : couverture géographique) des différentes agences et institutions.

Les contributions relatives à la gestion des ressources soulignent la nécessité de documenter la distribution spatio-temporelle de la demande en eau, en termes de magnitude de la demande dans les différents pôles de gestion (demande annuelle intégrale) mais aussi au plan de la caractérisation du cycle saisonnier (distribution temporelle par secteur d'utilisation économique et géographique) avec :

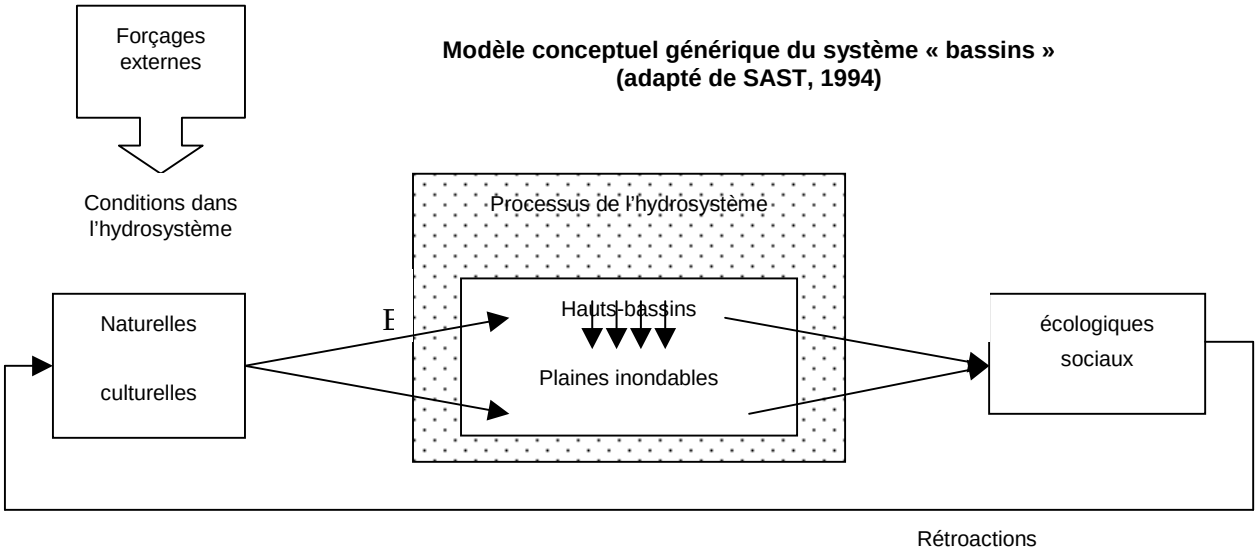
- le suivi du nombre et de la répartition des usagers raccordés aux réseaux d'adduction et d'évacuation d'eaux (zones urbaines, périmètres irrigués) et aux réseaux de fourniture d'électricité pour permettre de cadrer le cycle saisonnier de consommation (c'est-à-dire de pression sur la ressource) ;
- la clarification du cycle saisonnier de production d'énergie électrique (pas seulement hydroélectrique, mais aussi thermique) et de production agricole, notamment en relation aux calendriers de gestion des retenues d'eau ;
- la traduction, pour les différents postes demandeurs, du cycle de la demande en calendriers de cotes minimales locales.

Finalement, la nécessité de suivre la qualité de l'eau du fleuve et des eaux souterraines superficielles qui lui sont rattachées est relevée.

Critères d'analyse des besoins

Nécessité d'une approche systémique

La revue des besoins en information fait ressortir une large variété de demandes qui traduit, en fait, la diversité des composantes de l'hydrosystème intégré « bassin du fleuve Niger » (et non seulement « fleuve Niger ») qui interagissent de manière régulière et interdépendante. L'analyse des besoins peut s'organiser selon une approche systémique autour d'un modèle conceptuel générique de bassin :



Avec, dans le cas du bassin du fleuve Niger, pour composantes de l'hydrosystème :

- 1. Forçages couplés océan-atmosphère d'échelle globale (ENSO, TAO...) ;
- 2. Topographie, état de la végétation de surface ;
- 3 Utilisation des terres, timing du pic de décharge ;
- 4. Régime de ruissellement en amont de la retenue de Sélingué ;
- 5. Dynamique de l'onde de crue (*flood pulse*) dans le DIN ;
- 6. Productivité et renouvellement des ressources halieutiques ;
- 7. Dommages matériels et humains lors des crues ;
- 8. Intensification de la pêche après des crues favorables.

La description des implications d'une approche systémique peut aider à orienter le choix des systèmes d'information et, en conséquence, les réponses aux impacts causés par les conditions et les processus de l'hydrosystème. On peut dire notamment :

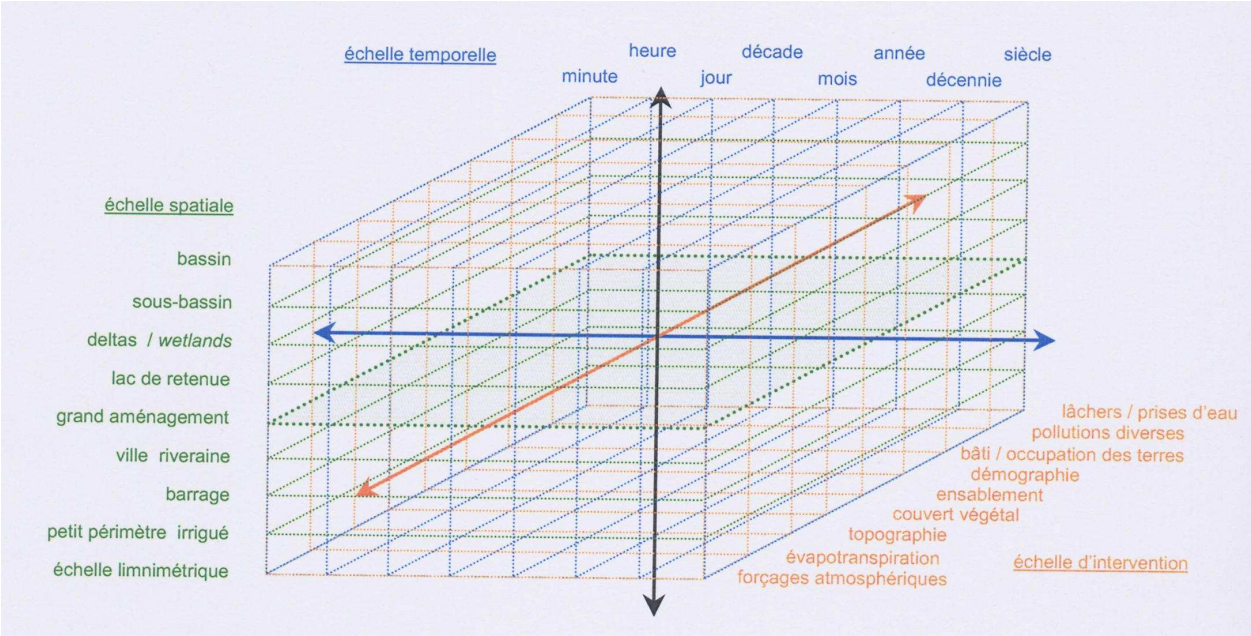
- qu'il existe logiquement un haut degré d'interconnectivité dans l'hydrosystème (et pas uniquement dans la dimension hydraulique longitudinale amont-aval). Des décisions de gestion prises pour des objectifs spécifiques peuvent grandement affecter d'autres secteurs non visés du système ;
- que des activités dans une zone géographique du système peuvent affecter d'autres régions du bassin ;
- qu'en conséquence, les réponses potentielles des parties ou régions indirectement touchées doivent être prises en compte lors de décisions qui peuvent affecter l'ensemble de l'hydrosystème ;
- qu'un système d'observation/de suivi de l'hydrosystème est nécessaire pour évaluer les effets (désirés, non désirés) ou, le cas échéant, l'absence d'effet des futures décisions de gestion ;

- que plusieurs modèles plus détaillés (hydraulique, hydrologique, écologique, économique, sociologique , ...) peuvent être conçus pour traiter les interconnexions entre les différentes composantes de l'hydrosystème ;
- que la complexité des dynamiques naturelles et culturelles du bassin du fleuve Niger requièrent un haut niveau de trans-disciplinarité technique et scientifique pour comprendre les impacts des diverses options de gestion.

Une autre grille de lecture

L'approche systémique met l'accent sur les interactions entre les différents besoins d'information. Elle peut être complétée par une caractérisation analytique des sources et des jeux de données potentiellement à même de répondre à ces besoins :

- au plan de leur résolution temporelle, selon qu'il s'agisse d'informations statiques (ou presque : la topographie), périodiques (les recensements du cheptel) ou dynamiques (les cotes ou les débits) ;
- par rapport à leur couverture spatiale, selon qu'ils concernent un pôle local (l'Office du Niger), un sous-bassin (Sankarani), une région « homogène » (le DIN) ou la totalité du bassin ;
- au niveau topologique, car pouvant être ponctuels (ou 0-D : échelle limnimétrique), linéaires (ou 1-D : les courants et les écoulements), surfaciques (ou 2-D : une zone inondée), volumiques (ou 3-D : le volume d'une retenue d'eau) ;
- selon qu'il s'agisse de données relatives à la ressource même (eau) ou à ses utilisations/impacts ;
- selon la stratégie d'utilisation de la ressource visée, qu'il s'agisse de maximiser la production à court terme (nécessitant des capacités orientées vers la prévision et l'exploitation de la variabilité annuelle) ou, plutôt, d'optimiser la durabilité de l'hydrosystème (auquel cas on pourrait préférer le développement de capacités de prévention et de mitigation des excès du cycle), ou une combinaison des deux ;
- en fonction des commodités économiques sectorielles qui pilotent la demande d'information : production électrique, agriculture, pêche, navigation, adduction d'eau ;
- selon la capacité à intervenir sur le processus que l'on veut « informer » ou documenter : certains échappant pratiquement à tout contrôle (les forçages atmosphériques), d'autres concentrant une énorme emprise de l'homme sur le bassin (la gestion des barrages).



Exemple de matrice d'analyse des besoins en information en fonction de l'échelle (spatiale, temporelle ou d'intervention) des processus à caractériser

© IRD éditions 2007

Système d'information

Domaines	Nom du système d'information	Rattachement institutionnel	Informations collectées	Informations produites	Niveau de pérennisation	Niveau de couverture	Niveau d'informatisation
Eaux de surface	• Radio • Téléphone • BLU • PCD (Plate forme de Collecte des Données) • Poste • Réseau hydrométrique	• MMEE • DNH	Hauteurs et débits des cours d'eau	• Bulletins (mensuels, décadaires, hebdomadaires) • Note sur la crue, annuaires hydrologiques	• Hebdomadaire • Décadaire • Semestriel • Annuel	National : 100 stations hydrométriques	• Logiciels maison : GESTRA, GHENIS • Logiciels spécialisés : HYDROM, SAFARHY, IDRISSI,HYDRACCESS • Logiciels courants, • Messagerie électronique
Eau souterraine	Réseau piezométrique	• MMEE • DNH	Niveau statique	Annuaire piézométrique	Bi annuel	National	Logiciels courants
Hydraulique urbaine Adduction d'eau	Suivi technique et financier	• MMEE • DNH	• Financières et techniques • Nombre de villes dotées de réseau AE • Volume d'eau mobilisé	Rapport de suivi semestriel	Contrat de 5ans	60 systèmes AEP	Logiciels courants
Aménagement hydraulique	Aménagement des cours d'eau	• MMEE • DNH	• Débits • Pluviométrie • Étude géotechnique • Levée topographique • Données topographiques	Rapports techniques (ensablement du chenal navigable, pose de balise, réparation des quais, protection des berges)	Continuel	National	• Logiciels courants • Logiciels spécialisé
Hydraulique rurale	Réalisation des forages et des puits	• MMEE • DNH	• Nombre d'ouvrages réalisés • Nouveaux forages • Nouveaux puits	• Tableau de bord rendu à la Direction hebdomadairement • Rapport trimestriel • Rapport mensuel	Continuel	Tout le territoire	Logiciel courant

© IRD éditions 2007

			• Réalisation en équipements de pompe • Réhabilitation	• Rapport annuel			
Qualité des eaux (*cf.* tableau ci - joint)	Qualité des eaux	• MMEE • DNH • LQE	Paramètres : • Physico-chimiques • Bactériologique	Certificat d'analyse d'eau	Journalier	National	Logiciels courants
Météorologie	GTPA (Radio, Télé, Journaux, BLU)	• MTIC • DNM	• Pluviométrie • Niveau d'eau • État des cultures • Pâturages • État Phytosanitaire • État zoosanitaire • Pêche	• Bulletins décadaires • Bulletins mensuels	• Saison des pluies • Saison sèche	National	• Logiciel spécialisé CLIMBASE • Logiciels courants
	Agro météo	• MTIC • DNM	Nombre de paysans suivis	Champs suivis Champs non suivis	Saison des pluies		
	Système d'information destiné aux usagers	• DNM	• Pluviométrie • Température (maxi, mini, moyenne) • Vent (direction, vitesse) • Insolation • Évaporation, ETP	Annuaire climatologique Prévision saisonnière	• Annuel • Juillet, Août, septembre	Tout le pays	100%
Environnement	Information sur la forêt	• MEA • DNCN	• Quantité de bois exploité au niveau des forêts classées • Potentiel des ressources ligneuses • Composition floristique des forêts	• Rapport trimestriel • Rapport annuel • Bulletin sahel vert	Continuel	Tout le pays	

© IRD éditions 2007

	Information sur la faune	• MEA • DNCN	Nombre et diversité des espèces qui existent		Continuel	Tout le pays	
Navigation	RAC	• MET	• Transport fret • Passagers • Position des unités	• Tonnage et passagers • Programmation des unités	Campagne 6 mois	Koulikoro à Gao	Billeterie, transport , fret et passagers, secrétariat
	• Téléphone • Fax		Étiage Mopti - Koulikoro		12 mois		
DNACPN : Assainissement	• Assainissement • Contrôle des pollutions et des nuisances	• MEA	Pollution par : • Eaux usées domestiques • Eaux usées artisanales • Eaux usées industrielles • Jacinthe d'eau	• Information • Sensibilisation • Éducation • Application des textes	Rapports : • Mensuel • Trimestriel • Semestriel • Annuel	District de Bamako	Connections internet : dnacpn@datatech.toolnet.org
DNAMR : Développement rural	Bureau de documentation courante	• MA	Bilan de la campagne agricole du Mali : • Superficies emblavées • Superficies semées • Productions • Quantités des intrants • Rendements	Rapport d'activité, émissions radio et TV : • réalisation • comparaison à l'année précédente	Bibliothèque et production régulière de : • Rapport mensuel • Rapport décadaire • Rapport annuel	Répertoire de la documentation informatisée : • Zonale • Nationale • Régionale	• Messagerie électronique • Logiciel courant de traitement des données
CMDT		• MA	• Rapport bilan • Rapport de commercialisation • Rapport d'achat	• Superficies • Exploitation • Production • Commercialisation • Évacuation du coton • Égrenage • Population	Conservation des archives de la base jusqu'à la direction à condition que le système d'encadrement soit durable	• Toute la région de Sikasso • Une partie de la Région de Kaye • Une partie de la Région de	• Toute la Direction Générale • La Région pour la comptabilité en matière générale et la trésorerie générale.

© IRD éditions 2007

						Ségou	
Étude et recherche agricole	IER	• MA • MEP	Étude et recherches sur les systèmes de production agricole	État d'évolution des systèmes agraires	Pluriannuel et annuel	Zonal, national et régional	• Logiciels courants • Logiciels spécialisés • Logiciels de gestion des données • Le SIG • Les tableurs
			Recherche thématique	Développement variétal des productions agricoles	Pluriannuel et annuel	Zonal, national et régional	
			Évolution des systèmes agraires	Nouvelles orientations de la politique agricole	Pluriannuel et annuel	Zonal, national et régional	
			Analyse des politiques agricoles	Tendance des filières agricoles	Pluriannuel et annuel	Zonal, national et régional	
			Étude des filières agricoles	Développement des techniques de préservation des ressources naturelles	Pluriannuel et annuel	Zonal, national et régional	
			Recherche et Développement	Amélioration génétique des productions animales			
DNAER							
Aménagements des ressources naturelles 1. Potentiels aménageables et aménagés	Répertoire régionalisé des ressources aménagées et aménageables du Mali	• Bureau de la Statistique et du Suivi-Évaluation • Division des études et de la planification	Caractéristiques des ressources aménageables et aménagées	Extraits de la base de données	Actualisation périodique	Tout le pays	Base de données sur accès internet
2. Normes techniques des aménagements hydroagricoles	Référentiel national des normes techniques d'aménagement	Division des études et de la planification	Normes techniques des aménagements hydroagricoles	Références techniques	• DNAER • Bureaux d'études • ONG	Tout le pays	Centralisation des données
3. Schémas directeurs et plans d'aménagement	Plans et schémas	Division des études et de la planification	Planifications des ressources aménageables	Élaboration des schémas et des plans directeurs d'aménagement des différentes zones du territoire national	DNAER		Pas informatisé pour l'instant
Documentation : Informations documentaires	Répertoire de documentation	Bureau de documentation et de communication	Indexations documentaires	Recueil des index documentaires	Réseau de documentation du MAEP	Idem	La base de données existe

 © IRD éditions 2007

Santé animale	RAC, FAX	• MEP	Maladies infectieuse de la liste A et B de l'OIE	• Létalité • Mortalité • Quantité de vaccins disponibles	• Continuel	National	• Messagerie électronique • Logiciel de traitement
Pêche	Capture du poisson		• Quantité de poisson pêché par variété • Quantité de poisson commercialisé	Quantité de poisson frais, fumé, brûlé et séché	• Rapport mensuel • Rapport annuel	National	• Messagerie électronique • Logiciel de traitement
Protection civile	Sécurité des personnes et des biens	• Ministère de la Sécurité et de la Protection Civile	• Pertes en vies humaines suite aux inondations • Pertes en bien matériel	Évaluation des dégâts	Rapport annuel	National	• Messagerie électronique • Logiciel de traitement
Industrie	Recensement industriel	• MIC • Direction nationale des industries	*Cf.* ci-dessous	Aucune publication	6 recensements réalisés	National	SPSS, EXCEL, WORD, ACCESS, EPI INFO70%
	Enquêtes industrielles		Idem	Aucune publication		National	-//-
	Suivi des projets industriels		Idem	Aucune publication	Le suivi des projets est permanent, tous les trimestres	National	-//-

© IRD éditions 2007

Informations collectées (complément au tableau)		Abréviations du tableau
1 - Sur les entreprises industrielles a- Identification des unités industrielles : Nom, raison sociale, statut juridique, adresse du siège social, année de création et de démarrage ; Numéro fiscal et numéro statistique, régime de propriété, nationalité des propriétaires. b- Établissements de l'entreprise c- Branches d'activité : activités principales, secondaires d- Financement et investissement : Capital social, dettes à moyen et à long terme ; Investissements réalisés, immobilisations incorporelles, corporelles, financières. e- Chiffre d'affaires global f- Élément de la valeur ajoutée : frais de personnel, impôts et taxes, frais financiers, dotations aux amortissement, excédent brut d'exploitation g- Consommation intermédiaires h- Emploi : effectif total, par axe, par catégorie i- Coûts d'achat des matières premières j- Principales productions effectuées en volume et en valeur k- Productions vendues l- Difficultés déclarées par l'entreprise m- Adhésion à la démarche qualité	2 - Sur les projets industriels agréés a- Désignation du projet b- Référence de l'arrêté d'agrément c- Capacité théorique de production d- Montant total de financement dont fonds propres et emprunts e- Effectif total à employer f- Branche d'activité g- Origine du financement : national ou étranger h- Lieu d'implantation du projet i- Observations sur la situation de réalisation du projet	- MMEE = Ministère des Mines de l'Énergie et de l'Eau - MIC = Ministère des Industries et du Commerce - MA = Ministère de l'Agriculture - MEP = Ministère de l'Élevage et de la Pêche - DNH = Direction Nationale de l'Hydraulique - DNM = Direction Nationale de la Météorologie+ - DNACPN = Direction Nationale de l'Assainissement, du Contrôle des pollutions et des Nuisances - DNCN = Direction Nationale de la Conservation de la Nature - DNAMR = Direction Nationale d'Appui au Monde Rural - DNAER = Direction Nationale d'Aménagement et de l'Équipement Rural - CMDT = Compagnie Malienne du Développement des Textiles - OIE = Organisation Internationale des Épizooties - LQE = Laboratoire de la Qualité des Eaux. - GTPA = Groupe de Travail Pluridisciplinaire d'Assistance à l'Agro-météo

 © IRD éditions 2007

Évaluation des modèles et des SIE en fonction des besoins

Ne sera traitée ici que l'évaluation concernant le modèle hydrodynamique partiel du fleuve Niger établi par Sogreah. Cette évaluation n'est qu'une évaluation de principe sur le fond car il faudrait disposer de rapports établis par une structure opérationnelle mettant en œuvre, ou ayant mis en œuvre par le passé, ce modèle pour établir réellement s'il y a adéquation entre la commande initiale et l'outil constitué.

Le modèle proposé ici est le modèle Carima bien connu de la communauté technique. C'est un modèle hydrodynamique résolvant les équations de Saint-Venant en 1D sur une géométrie qui accepte les mailles et la gestion des casiers en relation avec les lits d'écoulements principaux.

Ce type de modèle est classique ; il est employé depuis longtemps à différentes échelles et pour différents usages opérationnels, mais plutôt en prévention/aide à la décision qu'en prévision en temps réel.

La mise en œuvre de ce type de modèle est très dépendante des données et des informations disponibles. On distingue classiquement trois types de données nécessaires :

1 - Les données géométriques

Elles permettent une description en 1D par l'intermédiaire de sections en travers des lits mineurs, moyens et majeurs de la rivière concernée. Elles doivent être complétées par les données décrivant les casiers disposés dans le lit majeur, en communication avec les écoulements principaux et annexes.

En général, et c'est le cas du modèle Carima, le fonctionnement hydraulique des casiers n'est pas décrit par les mêmes équations de l'hydrodynamique mais par un simple bilan des entrées/sorties du casier à chaque pas de temps. Le mécanisme simplifié modélisé est, typiquement, le suivant : on dispose d'une relation « hauteur/volume » qui détermine la cote de l'eau dans le casier en fonction du volume stocké. Cette cote est mise, à chaque pas de temps, en relation avec la cote de l'eau dans le lit de la rivière connectée au casier : ce qui détermine l'entrée dans le casier (ou la sortie du casier) d'un certain volume d'eau pendant le pas de temps concerné. D'une manière générale, la précision des résultats de ce type de modèle est très liée à celle des données de géométrie.

Au contraire des modèles 1D à casier, les modèles 2D qui sont très différents – bien que la confusion soit parfois entretenue – résolvent les mêmes équations de Saint-Venant (ou de Navier-Stockes) sur un domaine 2D horizontal (en général) mais, parfois aussi, sur une section en travers. La totalité du domaine géométrique considéré est alors traitée hydrauliquement de la même manière : à partir de sa description par un maillage basé sur un MNT (modèle numérique de terrain) dont la précision en altitude (comme celle des sections en travers en 1D) doit être de l'ordre du décimètre.

Les modèles 2D sont plus complexes car plus sophistiqués, ils ont quand même tendance à se banaliser, en particulier parce que les équipements informatiques qui les accueillent se sont, eux-mêmes, banalisés.

Compte tenu de l'ancienneté relative du modèle Sogreah et, de toutes manières, de son caractère sectoriel, une ré-analyse des données géométriques utilisées est une nécessité absolue avant de réutiliser l'outil disponible.

2 - Les données hydrologiques

Ces données sont utilisées pour alimenter les modèles hydrodynamiques en variables hydrologiques (débits, les tirants d'eau, …) pour permettre au modèle de simuler un élément du régime hydrologique (crue, étiage, débit moyen, …). Ces données sont directement mesurées par les stations hydrométéorologiques disponibles sur le bassin versant et/ou élaborées à partir de celles-ci. L'ensemble des études hydrologiques disponibles sur le bassin du Niger est mobilisable ; un grand nombre est disponible auprès de l'IRD.

3 - Les données « d'environnement hydraulique »

Il s'agit de données d'une autre nature telles que les paramètres hydrauliques (comme les coefficients de frottement, les couples de débits/tirants d'eau, les courbes de tarage, …) indispensables au calage des modèles ainsi que des données relatives aux ouvrages hydrauliques influençant l'écoulement ou, plus globales, comme celles relatives aux laisses de crues pour un événement donné. Toutes ces données sont également indispensables au bon fonctionnement des modèles hydrodynamiques.

Éléments d'analyse des modèles hydrodynamiques

Pour les usages liés aux besoins de la gestion intégrée du fleuve Niger (de la gestion des crues au dimensionnement d'ouvrages hydrauliques de toutes natures) mais aussi aux besoins en gestion de surfaces dédiées à la production rizicole et/ou piscicole ou en gestion de la navigation, la véritable option à étudier est celle de la réutilisation du modèle hydrodynamique 1D actuellement disponible après une réévaluation (sans doute importante) et une extension à d'autres secteurs du fleuve, versus la mise en œuvre d'un nouveau modèle hydrodynamique 2D paraissant plus adapté a priori. Cette option est importante, car elle déterminera pour longtemps les ressources à affecter à l'outil finalement retenu. Les modèles 2D sont plus sophistiqués et donc plus compliqués à mettre en œuvre de manière opérationnelle mais, paradoxalement, ils exigent moins de maîtrise de la modélisation hydraulique car la totalité des zones considérées sont traitées de la même manière, sans avoir à faire des choix complexes (de lits mineurs, de zones de stockage, de casiers,…) qui pèsent lourd dans le résultat final.

Il faut savoir, par exemple, que les modèles hydrodynamiques sont, tous, de type semi-déterministe et qu'ils nécessitent donc un calage préalable à leur utilisation. Ce calage n'est pas une étape simple et il ne faut pas l'imaginer comme ne devant se produire qu'une seule fois, le caractère monotone du calage étant totalement illusoire face aux modifications de la géométrie du fleuve et de l'impact des ouvrages hydrauliques significatifs ou, simplement, pour traiter à la fois les étiages et les crues.

Lorsque des casiers sont inclus dans la modélisation 1D, le calage devient encore plus complexe : ce qui peut finir par annuler l'avantage des modèles 1D en la matière. Ce point est à débattre sérieusement ; un seul élément semble se dégager : il n'est pas forcément utile de changer de modèle s'il est, finalement, décidé de conserver un modèle 1D.

Eléments d'analyse du choix d'un modèle hydrodynamique à buts multiples

On peut affirmer (au moins comme donnée d'expérience opérationnelle) que les modèles hydrodynamiques 1D, 2D (voire 3D dans des cas très particuliers) sont plus utilisés comme outils de prévention et de simulation de scénarios que comme outils réellement mobilisables lorsque le temps réel est l'élément principal requis (comme en prévision des crues par exemple). Les modèles hydrodynamiques produisent des résultats géoréférencés (en particulier les contours des surfaces inondées). Ils peuvent donc se révéler indispensables dès lors qu'il s'agit de prévoir les zones inondées et pas seulement les débits ou les tirants d'eau. Néanmoins, la complexité intrinsèque à ces modèles ainsi que la quantité de données nécessaire et leur besoin de calage n'en font pas des outils encore très utilisés par les services de prévision des crues qui leur préfèrent des modèles conceptuels globaux moins sophistiqués, en particulier parce qu'ils « embarquent moins de physique dans leur conception ». Ils sont, même dans les contextes technologiques privilégiés des pays développés, plus simples à utiliser, plus robustes et plus susceptibles de fonctionner même dans des contextes dégradés liés aux conséquences de la crise.

Il n'est donc pas pertinent, dans le contexte du bassin versant du Niger a priori moins favorisé sur le plan technologique et moins favorable à l'acquisition de données sophistiquées, de recommander d'étendre l'usage d'un modèle hydrodynamique partiel dont il faudra, au minimum, réévaluer le caractère opérationnel véritable aux besoins de la prévision des crues. Il sera beaucoup plus performant d'implémenter un modèle plus simple, de type conceptuel global, et de le caler sur le fleuve Niger pour les besoins de prévision des crues.

Options d'architecture et de technologies pour une information environnementale sur le fleuve Niger

Introduction

Les choix techniques possibles (au sens large) pour améliorer la disponibilité et la qualité des informations environnementales participant au suivi et à la gestion du fleuve Niger ne peuvent être définis et discutés *in abstracto*. Ils doivent être définis, d'une part, en fonction de la nature et du niveau d'ambition des objectifs que l'on se fixe et, d'autre part, des contraintes et des atouts identifiables. Après avoir examiné ces deux premiers aspects, cette contribution se propose d'aborder les options techniques en deux temps : celui des choix d'architecture et celui des choix de technologies. On tentera finalement d'en dégager quelques recommandations stratégiques.

Détermination des objectifs et des bénéficiaires principaux

Si la nécessité de lancer un effort important pour aller dans la direction d'un système d'information environnemental (SIE) plus performant sur le fleuve Niger peut apparaître comme une évidence, la définition des objectifs précis à atteindre n'est pas si claire et peut susciter des discussions.

Il existe, certes, un certain nombre d'objectifs que l'on peut considérer comme consensuels et obligatoires :

- renforcer/développer les capacités de collecte et de conservation de l'information environnementale ;
- accroître l'offre d'information élaborée (et directement utilisable) dans les domaines où elle est actuellement déficitaire, notamment par la mise en place de traitements plus performants ;
- rendre l'accès à l'information environnementale plus aisé pour les acteurs publics (décideurs publics nationaux, recherche, autres services étatiques producteurs et gestionnaires de données).

Mais il existe aussi des objectifs qui, sans être forcément secondaires, sont pour l'instant subordonnés à un certain nombre de réponses « politiques » qui doivent être préalablement apportées sur les points suivants :

- Dans quelle mesure les collectivités territoriales (et de quel niveau : commune rurale, cercle, région ?) doivent-elles être considérées comme des usagers et des destinataires de l'information environnementale sur le fleuve ? La production d'information doit-elle être formatée pour eux ? ou bien les collectivités territoriales sont-elles seulement des usagers secondaires ?
- *Idem* pour les acteurs non étatiques du développement (ex. : les ONG) ?
- *Kdem* pour les opérateurs économiques (les commerçants) et pour les chefs d'exploitation (pêcheurs, cultivateurs, ...) ?

Les choix d'architecture de SI et de technologies ne peuvent être complètement arrêtés sans tenir compte des réponses apportées à ces questions. Pour l'instant, et pour proposer et discuter ci-après d'un certain nombre d'options, nous avons fait ici l'hypothèse que les SI allaient rester principalement orientés sur la fourniture d'informations aux décideurs publics de haut niveau, c'est-à-dire de niveau national ou éventuellement régional.

Identification des contraintes et des atouts à prendre en compte dans les choix de technologies et d'architecture

Les contraintes et atouts en matière de montage de SIE peuvent être déduits de l'état des lieux sur :

1. la répartition actuelle des compétences, des fonctions et des données entre les différents services et institutions ;

2. l'état de l'art (mondial) en matière d'outils de traitement et de gestion de l'information et, singulièrement, en matière de construction et de gestion des SIE de bassin ;

3. les acquis nationaux et régionaux en matière de maîtrise d'un certain nombre d'outils, notamment à travers des applications dédiées à l'objet et adaptées au contexte ;

4. le niveau et la durée des efforts et des soutiens supplémentaires qui pourraient être dégagés/mis en place dans un proche avenir pour l'information environnementale sur le fleuve Niger.

L'examen du point n° 1 montre que l'on a affaire à un existant important en matière d'information environnementale *lato sensu* sur le fleuve Niger. C'est-à-dire que de nombreuses données, de nature très variée, sont collectées par de multiples acteurs et que de multiples produits d'information sont diffusés et édités, le plus souvent de façon régulière (quotidienne, mensuelle ou annuelle). Les « acteurs de l'information » ne sont toutefois pas homogènes du point de vue de leur type/niveau institutionnel ni de leur degré d'investissement sur l'information. Certains relèvent du niveau national (malien), d'autres du niveau régional (AGRHYMET, ABN). Parmi ceux qui relèvent du niveau national, certains sont des administrations de type direction nationale ou régionale (ex. DNH, DN Météo), mais on rencontre également des offices de développement à vocation géographique locale (ODRS, ORM, ON, OPM), des laboratoires ou des équipes de recherche (IER) et aussi des projets transverses plus ou moins pérennes, tels que le SAP (Système d'Alerte Précoce). Dans le cas des deux opérateurs internationaux et régionaux pré-cités, la collecte et le traitement de l'information constituent des fonctions importantes, voire principales (cas de AGRHYMET). La situation est différente pour la plupart des opérateurs nationaux qui ont généralement bien d'autres missions à assurer en dehors de la collecte et du traitement de l'information (la Direction de la Météo et le SAP faisant sans doute exception). Il en va ainsi des offices locaux qui sont avant tout des opérateurs du développement.

Sur le point n° 2 (l'état de l'art mondial), il apparaît qu'il existe aujourd'hui sur le marché tous les outils et technologies à la construction de SIE performants. La diffusion de la notion de banques de données (BD) relationnelles au cours des années 1980, rendue accessible à tous au début des années 1990 par l'avènement de logiciels performants et aisés d'utilisation, puis l'articulation des BD avec Internet à la fin des années 1990 sont les trois étapes socles qui autorisent aujourd'hui la pleine concrétisation du concept de SIE Cependant, la dernière étape (c'est-à-dire l'articulation des technologies BD avec les technologies Internet) exigent encore une intervention soutenue de personnel très qualifié (ingénieurs informaticiens) dont les niveaux de salaires ne sont pas à la portée de la plupart des services du système public.

Sur le point n° 3, les acquis de maîtrise technique (en matière de collecte et de traitement de l'information) exprimés par les acteurs actuels de l'information autour du fleuve Niger sont très différenciés. On les regroupera schématiquement en trois catégories :

- un niveau d'acquis très élevé avec maîtrise des technologies les plus récentes (correspondant à la dernière étape décrite ci avant) et un effort d'intégration des

procédures de gestion, de traitement et de diffusion de l'information, comme par exemple AGRHYMET qui traite des vues satellitaires sous des délais courts pour la production de bulletins de cartes, qui exploite également des données télétransmises en temps réel par des balises hydro et qui autorise l'interrogation en ligne, *via* Internet, de certaines bases de données. À ce niveau, l'utilisation des SIG et des modèles de simulation dynamiques est bien maîtrisé ;

- un niveau d'acquis élevé mais plus classique avec saisie et gestion des données dans une BD, chaîne de traitement statistique et mise en ligne d'informations à travers un site web de pages statiques (ex. : DNH- Mali). Des modèles dynamiques, développés avec des appuis extérieurs, peuvent être utilisés (ex. : DNH). Des SIG ou des applications de cartographie statistiques sont mis en œuvre (ex. : IER) ;
- le niveau moyen ou faible qui met en œuvre des moyens et des procédures rudimentaires avec un simple traitement bureautique ou manuel des données et une édition et une capitalisation sous forme papier (ex. : série de tableaux en annexe des rapports annuels d'activité). Il est vrai que, dans ce dernier cas qui est, généralement, celui des Offices locaux de développement dépourvus d'ingénieurs d'informaticiens, il n'y a pas prétention à constituer un SI. Ceci n'empêche pas que l'information collectée et accumulée peut être d'un grand intérêt environnemental.

On notera qu'il peut exister aussi (de par leurs objectifs) de vrais SI qui se contentent d'outils informatiques rudimentaires (cas du SAP, du moins dans les années 1990).

On notera enfin, toujours sur le point n°3, qu'il existe déjà une assez importante logithèque d'outils sophistiqués (SIG, modèles de simulation) développés par la recherche en coopération internationale sur et autour des questions environnementales du fleuve Niger : Delmasig, MIDIN et autres. Cependant, ces outils n'ont fait l'objet que de timides tentatives de transfert et n'ont pas été adoptés en utilisation routinière par les services techniques. Ces outils sont d'ailleurs souvent à l'état de prototypes et ne sont pas aisément opérables hors d'un contexte de recherche. Le fossé entre « outils produits par la recherche » et « outils effectivement maîtrisables et maintenables par les acteurs impliqués au quotidien dans l'information environnementale » apparaît donc important[1]. Il reste donc à mieux examiner l'intérêt présenté par les outils développés par la recherche au regard d'une utilisation routinière éventuelle au sein de SI opérationnels permanents. Cet examen doit déterminer si l'effort de transfert et de mise en place mérite (ou non) d'être effectué.

Sur le point n°4, il convient d'apprécier non seulement le niveau d'effort financier annuel mais aussi et surtout la durée de l'effort que les décideurs publics nationaux et les soutiens extérieurs sont prêts à consentir pour améliorer la production et la disponibilité d'information environnementale sur l'hydrosystème fleuve Niger. Un

1 Ce constat pourrait être fait, certes, partout dans le monde mais plus encore, peut-être, au Mali et autour du fleuve Niger.

certain nombre de bailleurs seraient sans doute intéressés pour apporter leur soutien à un projet de type « observatoire ». Mais l'approche habituelle sous forme d'une opération de type « projet » déployée sur une période forcément limitée (3 ou 4 ans en général) peut poser problème car la durée du soutien est ici au moins aussi importante que le niveau absolu de l'effort atteint et cette durée doit être beaucoup plus conséquente que celle d'un projet ordinaire. Il faut en effet juguler les difficultés associées au contexte socio-économique (faible disponibilité nationale de personnels qualifiés en informatique – techniciens supérieurs comme ingénieurs -, faible disponibilité locale des logiciels et des matériels informatiques entraînant des délais importants de remise en état en cas de défaillance). Pour ces raisons, faire « monter » le niveau de fonctionnement des SI et de leurs acteurs (en les poussant vers des solutions de plus haute technologie) pourrait, à terme, se transformer en une sorte de « cadeau empoisonné » s'il n'y avait pas mise en place, en corollaire, d'une stratégie efficace de soutien sur la longue durée.

Options d'architecture fonctionnelle

Le choix d'architecture d'un SI peut être défini comme le choix de la géométrie générale d'organisation entre ses différentes composantes. Il vise à mettre ces composantes en situation d'articulation aisée afin de parvenir à une certaine performance au niveau de l'ensemble ainsi assemblé.

S'agissant d'un grand SI à vocation géographique large et traitant de thèmes d'information multiples, il peut être raisonnable de considérer que les composantes en question sont déjà existantes ou embryonnaires et qu'elles ne sont pas autre chose que les multiples partenaires, évoqués au chapitre 3, faisant déjà du SI (ou du pseudo SI) autour du fleuve Niger. On prend ainsi l'option d'une architecture générale de type « fédéraliste » dans laquelle une importante autonomie serait laissée aux composantes, mais où l'on s'attacherait à créer en plus :

- d'une part, un système de cohérence et de circulation de l'information entre les composantes/partenaires ;
- d'autre part, une (ou des) structure(s) supplémentaire(s), même légère(s), pour effectuer un certain nombre de tâches « nouvelles » qui ne sont pas dans les compétences ou dans les missions des partenaires considérés individuellement.

Considérant le premier aspect, il est nécessairement basé :

sur l'adoption de protocoles et de procédures de coopération dans les échanges et dans l'utilisation des données (*data policy*) ;

sur l'adoption d'un minimum de référentiel commun logique et sémantique (grille de géoréférencement, nomenclatures d'intérêt général, ...) ;

et sur l'adoption d'une plate-forme d'outils et de technologies (formats de fichiers, type de réseau informatique et protocole).

Le troisième point qui monopolisait l'attention des générations précédentes ne pose aujourd'hui plus guère de problèmes, comme nous le verrons ci-après.

Le premier point nécessite, par contre, une attention soutenue. C'est en effet à ce niveau que les dynamiques humaines et institutionnelles existantes peuvent être cassées ou, au contraire, mises en synergie. Le principe de base devrait être que nul (aucune sous-région géographique, aucun thème d'information, aucun service...) ne doit se sentir « spolié » de son travail de collecte et de traitement de données au profit d'un tiers. Chacun doit donc, s'il le souhaite, pouvoir garder son existence propre (sa base de données, ses bulletins, ses clients, la gestion de ses enquêteurs, etc.). Pour ce faire, les décisions prises en matière de *data policy* doivent l'être de façon collégiale, par exemple par les représentants de toutes les composantes – ou partenaires – du SI (ou de réseau de SI : le rSI) regroupés en assemblée annuelle.

Le deuxième point est plus technique, mais il doit également faire l'objet de décisions collégiales de la même assemblée après propositions d'un groupe d'étude.

Le deuxième nouvel aspect apporté par l'architecture proposée consisterait en la création d'une ou plusieurs structures techniques de niveau « fédéral ». Les rôles de ces structures doivent être définis et acceptés par l'assemblée des partenaires du SI ou du rSI. En voici quelques-uns qui s'avéreront sans doute assez simples à identifier et à justifier :

- collecte et traitement des données qu'aucun des partenaires présents ne sait jusqu'à présent manipuler ;
- production d'informations synthétiques plus adaptées aux décideurs de niveau national à partir des données envoyées par les partenaires du SI (qui sont plus localisés ou qui travaillent sur des thèmes plus spécifiques) ;
- création d'un portail internet assurant la visibilité mondiale de l'ensemble du collectif des partenaires membres du SI ou du rSI ;
- hébergement et gestion d'un intranet pour les partenaires membres du SI ou du rSI ;
- mise à disposition d'un serveur apte à héberger les applications « lourdes » (web, bases de données, …) que les partenaires ont développées ;
- appui, formation, aide à la maintenance des partenaires du réseau qui en ont besoin (d'où une possibilité d'économie d'échelle) ;
- service central d'achat de logiciels assurant l'acquisition de licences groupées pour le compte des partenaires intéressés ;
- service de conservation des données (BDthèque) offrant aux partenaires une alternative pour sécuriser leurs données dans le long terme, etc.

Ces fonctions peuvent être ou non regroupées sur le même site et dans la même structure opérationnelle, les fonctions « production de nouvelles informations » pouvant ainsi très bien être détachées des « fonctions de service et d'appui ».

Une telle architecture n'est pas vraiment originale et elle a fait ses preuves : c'est celle mise en œuvre depuis bientôt 10 ans par les partenaires de l'EMAP (*Environmental Monitoring and Assessment Program*) aux États-Unis.

Technologies de maîtrise et de partage de l'information environnementale

Les choix de plates-formes technologiques en matière de SI ne posent, en principe, plus de problèmes insurmontables car tous les logiciels et les applications de traitement et d'échange d'information qui sont nécessités par le fonctionnement d'un SI sont aujourd'hui faciles à implémenter sur les PC et sur les types de réseaux standard et relativement peu onéreux. D'autre part, les compatibilités de lecture des fichiers issus des logiciels courants sont devenues très fortes.

L'un des choix restant à faire sera d'opter pour les systèmes d'exploitation et logiciels commerciaux ou bien pour les systèmes d'exploitation et logiciels libres. Mais ce choix peut être réalisé en « politique collective » aussi bien qu'au niveau de chaque partenaire si aucun consensus ne se dégage.

Une attention particulière doit être accordée à plusieurs points :

- l'amélioration et la maintenance des systèmes matériels de réseau : aucun partenaire ne doit se trouvé physiquement déconnecté du r.SI ;
- la mise en place d'un serveur d'intérêt collectif apte à héberger les applications web/base de données des uns et des autres ;
- l'utilisation d'un outil adapté de *reporting* consolidé qui pourra trouver place au niveau du serveur du portail, notamment par l'utilisation du langage XML.

Certains outils de traitement assez sophistiqués ou lourds (SIG) pourront être hébergés dans la structure de service, avec un appui à leur utilisation pour les partenaires trop petits pour être autonomes sur ce type d'outils.

Recommandations et conclusions

Les options décrites ci avant sont destinées à éviter de tomber dans trois grands travers (trop) courants en matière de SIE et qu'il convient de rappeler au moment de conclure :

- Le premier travers serait de faire naître (ou renaître) un serpent de mer de type « grand observatoire environnemental » unique et centralisé (re-)construit *ex nihilo*. La création d'une telle structure, aussi séduisante qu'elle puisse paraître pour un bailleur de fonds, soulèverait plus de problèmes qu'elle n'en résoudrait, à commencer par celui du choix de son site d'installation et de son ministère de rattachement. De nombreuses structures aujourd'hui opérationnelles se sentiraient frustrées, dépossédées de leurs acquis, et refuseraient de collaborer activement (ce qui, en matière d'information, revient à ne pas collaborer du tout). Une telle structure de « grand observatoire », forcément très soutenue depuis l'extérieur et donc prenant plus ou moins la forme d'un projet dans ses débuts, n'aurait sans doute rien de viable sur le long terme. De plus, une telle grosse structure ne saurait répondre à tous les types de besoins, diversifiés dans leurs attentes, que les structures actuelles savent aujourd'hui assez bien cibler et satisfaire, ne serait-ce que parce qu'elles sont nombreuses et proches des acteurs.
- Le second travers consisterait à croire au mythe (qui est souvent le corollaire technique du précédent) laissant espérer qu'une grosse application (par exemple : un « super SIG ») va pouvoir centraliser et traiter la totalité de

l'information environnementale disponible. Ce genre d'espoir s'avère généralement vain. Car les informations ne se traitent et ne se valorisent pas toutes de la même manière. Et s'il est vrai que toute donnée est forcément localisée (en théorie), que convient-il de faire lorsque 90 % de l'information disponible est constituée soit de données non couvrantes (par exemple des séries temporelles acquises sur un petit réseau de points), soit de données couvrantes mais obtenues sur des aires étudiées très restreintes (un terroir villageois, un périmètre irrigué) en regard des lacunes immenses sur lesquelles aucune donnée de même type n'est disponible ? Finalement, on s'aperçoit que seules les données satellitaires et quelques données administratives sont vraiment « couvrantes » par rapport au territoire du fleuve et de son bassin. Tout le reste est constitué de jeux d'informations dont on peut dire que l'intégration et le traitement dans un « super SIG » constitueraient un effort exagérément lourd par rapport à la plus-value réalisée.

- Le troisième travers serait de trop favoriser un acteur présent (une structure, un ministère) au détriment des autres et de tenter de le mettre en position hégémonique. Mieux vaut reconnaître d'emblée la pluralité des acteurs et des compétences et placer la réflexion initiale, tout comme le parrainage du dossier par la suite, sous l'égide d'une cellule interministérielle.

En conclusion, plus que le niveau d'efforts et de moyens consentis, c'est la façon de déployer ces efforts et ces moyens qui serra sans doute déterminante pour que, à l'avenir, l'information environnementale nécessaire au suivi et à la bonne gestion du fleuve Niger, soit de plus en plus disponible.

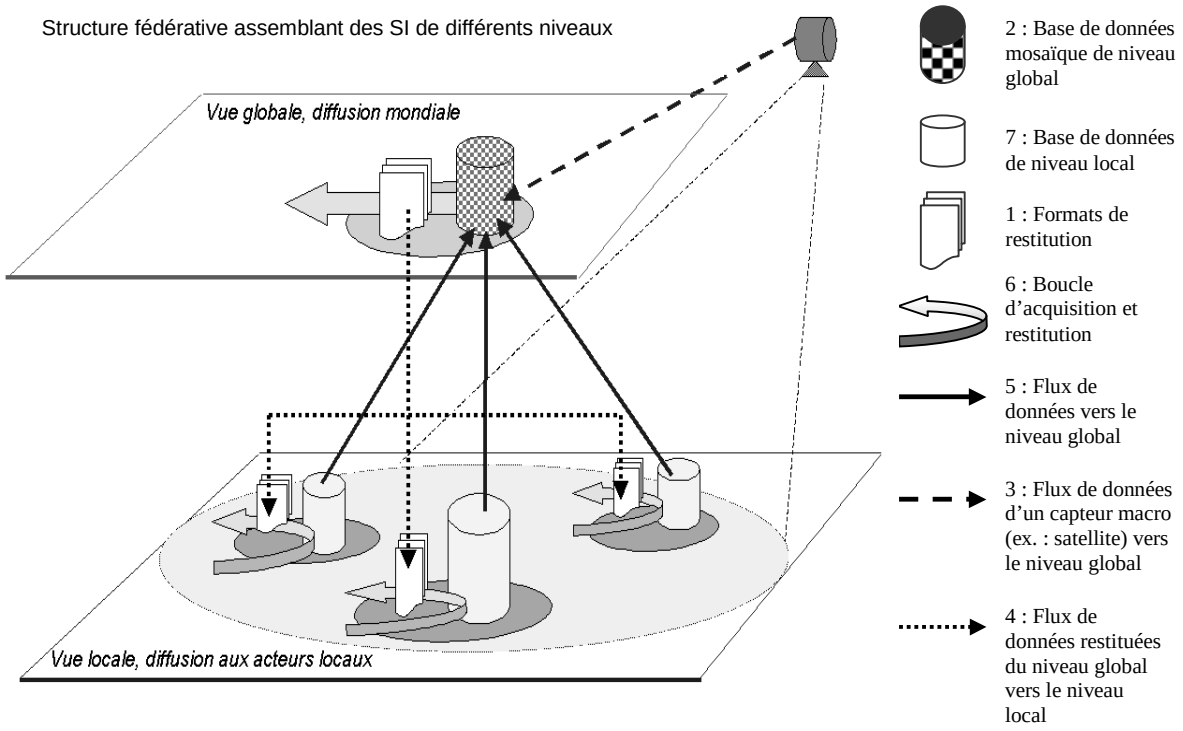


Figure 1 - Exemple de schéma d'articulation entre SI de différents niveaux aboutissant à une structure fédérative. Dans ce schéma, les SI qui sont de niveau local (ou national) et/ou qui portent sur des thèmes restreints peuvent fonctionner de façon quasi autonomes,c'est-à-dire avec leur propre boucle d'acquisition et restitution (6), passant par des bases de données propres (7) et aboutissant à des formats de restitution propres (1) définis en fonction de leurs destinataires spécifiques. Mais ces SI envoient également certaines données (5) vers la base de données « mosaïque » (2) d'une structure fédérative qui est alimentée également par d'autres flux (3) provenant de capteurs spécifiques du niveau global. La structure fédérative de niveau global dispose de ses propres formats de restitution adaptés à ses destinataires cibles

Problématique de l'intégration régionale des systèmes d'information à l'échelle du bassin versant

Bref rappel historique de l'Autorité du bassin du Niger (ABN)

L'Autorité du bassin du Niger (ABN) est l'une des plus anciennes organisations intergouvernementales africaines si l'on fait remonter sa création au 25 novembre 1964 à Niamey (République du Niger) sous sa forme originale qui était la Commission du fleuve Niger. Celle-ci a fonctionné pendant 17 ans et ses résultats ont été jugés insuffisants. Les États membres ont donc décidé, le 21 novembre 1980 à Faranah (République de Guinée), de la remplacer par une nouvelle organisation : l'Autorité du bassin du Niger, héritière de tous les avoirs et assumant toutes les obligations de la Commission du fleuve Niger. L'ABN regroupe neuf États membres : Bénin, Burkina-Faso, Cameroun, Côte d'Ivoire, Guinée, Mali, Niger, Nigeria, et Tchad. Son siège est à Niamey en République du Niger.

But et objectifs de l'ABN

Le but de l'ABN est de promouvoir la coopération entre les pays membres et d'assurer un développement intégré du bassin du Niger dans les domaines de l'énergie, de l'hydraulique, de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche et de la pisciculture, de la sylviculture et de l'exploitation forestière, des transports et communications, et de l'industrie.

Pour atteindre cet objectif, l'ABN est chargée entre autres choses :

- d'harmoniser et de coordonner les politiques nationales de mise en valeur des ressources en eau du bassin du Niger ;
- de participer à la planification du développement par l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de développement intégré du bassin ;
- de promouvoir et de participer à la conception et à l'exploitation des ouvrages et des projets d'intérêt commun.

Acquis de l'ABN

Pendant 17 années, la Commission du fleuve Niger a mené d'importantes études de base devant concourir à l'élaboration d'un plan de développement intégré du bassin du Niger. La création de l'ABN a accéléré l'initiation et la mise en œuvre de plusieurs autres études. Parmi les études et travaux les plus importants de par leurs impacts sur les activités futures réalisés sous l'égide de l'ABN dans le passé, on retiendra :

- la création d'un centre de documentation et d'information mis en place depuis 1971 et la constitution d'un important fonds documentaire de plus de 7 000 documents ;
- la mise en place du centre interétatique de prévisions hydrologiques et la modélisation du fleuve Niger (Hydroniger) avec un réseau de collecte de données par satellite comprenant 65 plates-formes de collecte de données et des stations de réception directe ;
- la mise en œuvre du projet de lutte contre la désertification (1985-2001) qui a permis de rassembler les éléments concernant la progression de la désertification, de définir les méthodes pour y faire face et de tester des techniques sur les méthodes culturales et la gestion des ressources naturelles en vue d'un développement durable.

Évolution récente de la situation de l'ABN

De 1984 à 1997 l'ABN a connu une situation de crise financière et institutionnelle qui a duré plus d'une décennie et a compromis gravement l'évolution de l'institution sous-régionale.

Depuis 1998, l'ABN connaît un élan nouveau, marqué par le fonctionnement régulier de ses organes et la reprise des activités techniques. En témoignent notamment les actions de redynamisation comme le paiement régulier des contributions, la tenue régulière de Conseils des ministres et de sommets des chefs d'État et de gouvernement depuis 1998. Récemment, à Paris, s'est tenue, du 26 au 27 avril 2004, une conférence des chefs d'État et de Gouvernement sur le partenariat international pour le bassin du

fleuve Niger qui a adopté et ratifié la Déclaration de Paris sur les principes de gestion et de bonne gouvernance pour un développement durable et partagé du bassin du Niger engageant les États membres, notamment, à élaborer et à mettre en œuvre la Vision Partagée.

Le processus de Vision Partagée découle donc d'une décision politique des pays membres du bassin du Niger d'unir leurs efforts pour répondre aux multiples défis de développements du bassin. Ce processus politique doit être itératif avec une analyse technique qui inventorie, analyse et récapitule les opportunités existantes pour les inscrire dans le cadre logique du Plan d'action de développement durable du bassin (PADD).

Suite à l'étude sur l'audit institutionnel et organisationnel de l'ABN, les représentants de ses neuf pays membres, réunis en session extraordinaire de Conseil des Ministres en janvier 2004 à Yaoundé (Cameroun), ont réaffirmé leur adhésion au mandat de l'Autorité du Bassin du Niger centré sur la Vision Partagée et le programme d'action qui en résultera. Ils ont adopté les réformes organisationnelles et institutionnelles (mise en œuvre du nouvel organigramme du secrétariat exécutif de l'ABN et renforcement des structures focales nationales) et confirmé ainsi leur engagement réel à veiller à leurs applications dans les meilleurs délais. Cet effort permet assurément au personnel de l'ABN de contribuer à une organisation de bassin renforcée et efficace, et leur donne les moyens de préparer et de mettre en œuvre le processus du PADD qui a été convenu.

Les systèmes d'information au niveau régional

Les systèmes d'information au niveau régional de l'ABN reposent principalement sur :

- le centre de documentation et d'information qui conserve les archives et les documents d'études ;
- le centre inter-États de prévision hydrologique du programme Hydroniger qui rassemble et traite les données hydrologiques en provenance des pays puis les conserve dans les banques de données qui seront valorisées par la suite dans un système d'information géographique ;
- les grands programmes et projets transfrontaliers de lutte contre la dégradation de l'environnement qui comportent des composantes gestion de données et informations environnementales et socioéconomiques.

Modernisation de la documentation et renforcement des actions d'information de la Direction de la documentation et de l'information (DDI) de l'ABN

Importance de la documentation et de l'information dans les activités de l'ABN

La mise en valeur et la gestion intégrée des ressources en eau du bassin du Niger doivent s'appuyer sur une bonne connaissance des autres ressources naturelles, des besoins des populations et des caractéristiques et contraintes des secteurs économiques.

Recouvrant d'importants domaines d'activités et de secteurs de compétence, l'information utile à cette connaissance est multiforme et multisectorielle. Cependant,

elle est dispersée dans l'espace entre les diverses institutions ou États et donc difficilement disponible aux usagers. Les systèmes d'information sont à moderniser : banques de données, centre de documentation et système d'information géographique.

Le développement d'actions concertées entre les différents pays de l'ABN passe nécessairement par l'échange d'informations, c'est-à-dire la constitution d'une base documentaire transnationale virtuelle sur la gestion des ressources du bassin.

Au cours des trois dernières années, dans le cadre de la modernisation du centre de documentation, des progrès considérables ont été réalisés en terme d'extension de locaux, de recrutement de professionnels, d'acquisition d'équipements informatiques et de nouvelles technologies de l'information et de communication. Les bases de données fonctionnent bien. Les produits et services se sont diversifiés notamment en ce qui concerne les films documentaires, le bulletin d'information, la bibliographie, la création et la maintenance du site web, l'organisation de conférences, etc. Toutes ces activités visent à améliorer les travaux quotidiens de l'ABN et à faire connaître l'institution et ses activités notamment dans les pays membres.

En dépit des efforts faits, il reste, dans les pays membres, que :

- rarement le point focal ABN (cellule nationale ABN) dispose d'un minimum de documents relatifs au bassin ou a les moyens de collecter, de traiter et de stocker de tels documents ;
- les produits de la Direction de la documentation et de l'information notamment le bulletin ABN-Info sont peu diffusés et peu connus des acteurs locaux ;
- des acteurs essentiels du développement du bassin du Niger, tels que des responsables de services nationaux de l'agriculture, de l'élevage ou de l'environnement connaissent très peu ou très mal l'ABN et ses activités.

Mise en place d'un programme d'accès à la documentation et de sensibilisation des acteurs

Le constat ci-dessus souligne la nécessité de parfaire la modernisation de la DDI et de renforcer ses actions d'information et de sensibilisation en direction des principaux acteurs du développement du bassin du Niger.

L'objectif pour la DDI vise, d'une part, à créer un réseau documentaire « ABN-NET » et, d'autre part, à initier une action d'information et de sensibilisation dans les pays membres.

L'objectif global est de donner plus d'efficacité, à l'échelle des pays membres, aux efforts fournis ces dernières années en vue de moderniser la DDI et de renforcer ses activités d'information et de sensibilisation au profit de l'ABN et de ses actions dans le Bassin.

L'objectif spécifique n°1 est la mise en place d'un réseau de documentation ABN-NET ; l'objectif spécifique n°2 est la conduite d'une campagne d'information et de sensibilisation en direction des principaux acteurs nationaux du développement du Bassin.

1 - Résultats attendus dans le cadre de l'objectif spécifique n°1

- Neuf cadres spécialisés en documentation sur réseau sont formés et sont compétents pour gérer convenablement leur Centre de documentation relais national (CDRN) dans le cadre de l'ABN-Net ;
- Les méthodes de traitement de l'information et les logiciels de gestion des CDRN participant à l'ABN-Net sont standardisés et/ou harmonisés ;
- Un accord est établi sur les ouvrages de référence en français et en anglais et sur les revues devant alimenter les fonds documentaires du réseau ABN-Net ;
- L'échange de documents et leur transfert entre centres se font sans difficulté et s'intensifient de jour en jour.

2 - Résultats attendus dans le cadre de l'objectif spécifique n°2

- Des méthodes et outils spécifiques d'information et de sensibilisation sont mis au point et portent sur l'ABN et son rôle dans le développement du bassin ;
- Une campagne d'information et de sensibilisation a été organisée au moins une fois dans chacun des cinq pays situés sur l'axe principal du fleuve (Guinée, Mali, Niger, Bénin et Nigeria) ;
- La campagne a touché de façon spécifique les principaux acteurs du développement du bassin, que ces acteurs soient du domaine public, du privé ou de la société civile ou, plus particulièrement, des acteurs des secteurs de l'énergie, de l'agriculture, de l'élevage, de la pêche, de la navigation fluviale et de l'environnement.

Modernisation et renforcement du programme Hydroniger

Le programme Hydroniger comprenant les activités du Centre inter-États de prévisions hydrologiques (CIP) et celles des Centres nationaux de prévisions hydrologiques (CNP) est le premier outil de l'ABN et des États membres pour la connaissance des ressources en eau du bassin. Des efforts ont été déployés pour améliorer le système d'acquisition, de traitement et de diffusion des données. Cependant, il reste beaucoup à faire pour le renouvellement de tout le réseau hydrologique et le renforcement des CNP et du CIP en termes d'équipement roulant, d'informatique, de matériel de jaugeage, de formation, d'appui en fonctionnement et d'activités de prévisions.

La modernisation et le renforcement du programme Hydroniger au cours de la période 2003-05 visent d'une part à réhabiliter Hydroniger dans ses actions passées mais également à étendre ses activités au suivi et à l'évaluation des ressources en eau souterraine.

À cet effet, les objectifs spécifiques sont recherchés.

- 1 - Établir un réseau de systèmes nationaux d'observations hydrologiques chargé de fournir des informations de qualité, y compris les informations sur la qualité de l'eau, transmises vers des bases de données des États membres et du CIP par l'intermédiaire du système mondial de télécommunication de l'OMM.
- 2 - Renforcer les capacités techniques et institutionnelles des services nationaux.

- 3 - Promouvoir et faciliter la diffusion et l'utilisation d'informations élaborées et de produits adaptés relatifs à la gestion des ressources en eau.

Un 4ème objectif devra être le renforcement du CIP et des CNP dans la mise en œuvre de la prévision des crues, notamment par la formation de cadres pour l'exploitation et l'évaluation du modèle en vue de son amélioration.

Les principaux résultats attendus sont :

- un système moderne et performant d'observations hydrologiques et de transmission en temps réel des données ;
- un système de prévision hydrologique de crues (basses et hautes) fonctionnel ;
- un système de valorisation de produits hydrologiques satisfaisants en particulier pour les usagers du bassin du Niger ;
- un centre régional compétent pour apporter sa contribution au processus de planification du développement du bassin du Niger.

Remise en fonction du modèle mathématique du fleuve et choix d'un modèle adapté aux besoins de l'ABN

La multiplication des grandes infrastructures sur le fleuve et ses affluents et l'impact qu'elles ont sur le régime hydrologique du fleuve soulignent l'urgence d'avoir un modèle de simulation par lequel l'ABN et les États membres pourraient simuler, en avance, les impacts des ouvrages les uns sur les autres et prendre, quand c'est nécessaire, les mesures rectificatives appropriées.

En ce qui concerne le modèle Sogreah, construit dans les années 1980 et transféré à l'ABN en 1997, on note, d'une part, qu'il ne porte que sur une portion du fleuve (Sélingué-Markala et Tombouctou-Malanville) et que, d'autre part, certaines de ses données de base, notamment les caractéristiques physiques du lit, ne sont plus d'actualité.

Ainsi, l'élaboration d'un modèle de simulation du fleuve Niger adapté aux besoins de l'ABN et de ses pays membres doit envisager deux hypothèses :

- évaluer le modèle Sogreah actuel et, en cas de satisfaction, envisager de le réactualiser sur les tronçons déjà concernés et de l'étendre au reste du fleuve ainsi qu'à la Bénoué ;
- évaluer le modèle Sogreah actuel et, en cas de non satisfaction, définir les termes de référence d'un modèle qui pourrait convenir à l'ensemble du fleuve Niger y compris le cours de la Bénoué de Lagdo à Lokoja.

Programme de lutte contre l'ensablement dans le bassin du fleuve Niger (2004-08)

Justification

Le programme de protection contre l'érosion hydrique et de lutte contre l'ensablement du bassin du fleuve Niger constitue une réponse à un des graves problèmes qui se pose en matière de protection et de développement durable des ressources du bassin du Niger : les processus d'érosion hydrique et d'ensablement touchent l'ensemble du bassin à des degrés divers. Ils sont cependant particulièrement intenses au niveau du triangle sahélo-saharien qui comprend la boucle du Niger au Mali, le nord-est du bassin au Burkina et la rive droite du fleuve au Niger en amont de Niamey. Le programme s'inscrit dans les priorités nationales en matière de lutte contre la désertification et de gestion durable des ressources naturelles. Il répond également à la volonté affirmée par les États membres de l'ABN de tout mettre en œuvre pour la sauvegarde du fleuve Niger.

Objectif et composantes du programme

L'objectif sectoriel est de restaurer/préserver les écosystèmes naturels, les ressources en eau et sol et de valoriser le potentiel agro-sylvo-pastoral du bassin du fleuve Niger. L'objectif du programme est de ralentir le processus d'ensablement du bassin et de renforcer les capacités institutionnelles régionales, nationales et locales en vue d'une gestion concertée et durable des ressources en eau partagées.

Le programme comprend trois grandes composantes :

- une composante transversale visant le renforcement institutionnel des structures de l'ABN aux niveaux national et régional (composante d'appui institutionnel) ;
- une composante d'investissement au niveau national (Mali, Burkina et Niger) visant la mise en œuvre de programmes d'actions concrètes au niveau de la zone du bassin la plus sensible du point de vue de l'ensablement ;
- et une composante de gestion et de coordination des activités.

La composante transversale d'appui institutionnel qui concerne l'ABN en tant qu'institution régionale et les neuf États membres (à travers les points focaux) a pour objet de renforcer les capacités de conception, de coordination et de suivi-évaluation de programmes ou de projets visant la protection contre l'érosion et l'ensablement et, d'une manière générale, la gestion durable des ressources du bassin. Cet appui prendra en compte et renforcera les appuis d'autres partenaires déjà existants.

Renforcement institutionnel de l'ABN

La composante institutionnelle comportera les cinq sous-composantes suivantes :

- élaboration d'une stratégie régionale de protection contre l'érosion hydrique et de lutte contre l'ensablement à l'échelle du bassin ;
- renforcement des capacités des structures nationales et régionales de l'ABN en matière de conception, de coordination et de suivi, à travers la formation, le

recyclage des cadres et des techniciens et des ateliers thématiques et d'échange d'expériences ;

- mise en place d'un réseau de recherche-développement (base de données dynamique, système d'information géographique) ;
- capitalisation et diffusion à large échelle des acquis techniques et élaboration d'une stratégie de communication et de sensibilisation ;
- et mise en place d'une Unité de gestion et de coordination du programme (UGCP) basée au siège de l'ABN.

Actions de protection et de lutte contre l'ensablement

Chaque sous-programme au niveau national (Mali, Burkina, Niger) comportera des actions visant à la protection de l'environnement, des activités incitatives de production et le renforcement des capacités locales et régionales en matière de lutte contre l'ensablement :

- mise en œuvre de programmes d'action de fixation de dunes (3 000 ha au Niger et au Burkina et 5 000 ha au Mali), de protection des berges, de correction de ravins/koris, de plantation, de récupération des terres à des fins agro-sylvo-pastorales et d'aménagement de bassin versant (2 000 ha en bordure du fleuve au Mali, 4 000 ha de glacis au Burkina et 8 000 ha de bassin versant au Niger) ;
- renforcement des capacités d'intervention techniques, organisationnelles et financières des populations locales en vue d'assurer une bonne appropriation et pérennisation des divers travaux d'aménagement et l'amélioration des conditions de vie et de revenus des populations locales ;
- mise en place d'un système de suivi/évaluation aux différents niveaux.

Il est prévu, au niveau de chaque sous-composante nationale, la mise en place de mécanismes de surveillance et de suivi environnemental sur la base de critères et d'indicateurs d'impact préalablement définis dont la mesure permettra de rendre compte de l'impact réel des diverses activités du projet sur les ressources du bassin. Pour une meilleure prise en compte des préoccupations environnementales et de la durabilité des actions, il sera procédé à :

- la préparation systématique d'un plan de gestion environnementale et sociale (PGES) ;
- la création et mise en œuvre d'un cadre de concertation intersectoriel pour la surveillance et le suivi environnemental ;
- la mise à contribution de centres de recherche, d'ONG et d'associations pour la surveillance et le suivi.

Un programme d'atténuation sera élaboré afin de réduire les impacts négatifs potentiels identifiés dans le cadre de l'évaluation environnementale. Cette démarche qui sera essentiellement centrée sur le suivi et l'optimisation des impacts positifs et de la durabilité des actions sera intégrée au cycle du projet.

Le programme de première phase est prévu pour une durée de cinq ans à compter de 2004, mais devrait avoir une durée d'au moins dix ans pour tenir compte de

l'ampleur du processus d'ensablement, de sa complexité et de la nécessité d'inscrire des actions de protection à moyen terme.

Les coûts du programme ont été estimés dans le rapport de préparation à 17,5 milliards de Fcfa. Sur ce total, l'appui institutionnel représente 19,7 %. Les trois composantes de terrain qui visent des travaux d'aménagement et de lutte contre les processus d'érosion éolienne et hydrique représentent respectivement 34,4 % pour le Mali (6 milliards de Fcfa), 23,5 % pour le Niger (4 milliards de Fcfa) et 22,4 % pour le Burkina-Faso (4 milliards de Fcfa).

Projet pour l'inversion de la tendance à la dégradation des terres et des eaux (Projet FEM/ABN, 2004-08)

L'objectif du projet FEM/ABN est de soutenir les pays membres dans leur volonté d'œuvrer ensemble pour assurer le développement et la gestion durables des terres et des ressources en eau du bassin, y compris la protection de son unique environnement de terres sèches et sa biodiversité.

Le projet FEM s'inscrit dans le cadre de la composante environnementale de la Vision Partagée et s'intéresse aux aspects de la gestion du bassin du fleuve Niger sur les terres et les eaux en se concentrant principalement sur le renforcement des capacités, la gestion des données et l'implication des acteurs dans l'inversion de la dégradation des terres et des eaux.

Le projet FEM est conçu pour traiter les questions transfrontalières, améliorer la gestion des ressources foncières et hydrauliques et renforcer les capacités. Ce projet sera mené en collaboration avec d'autres initiatives internes et externes au bassin du Niger, complétant le travail plus large sur les eaux internationales que les neuf pays du bassin entreprennent actuellement avec l'aide de la Banque Mondiale. À cette fin, le projet FEM est axé sur l'amélioration de la gestion des ressources écologiques du bassin. Le projet doit durer cinq ans, en une seule phase, avec un financement de 13 millions d'USD (financement du FEM). Mis en œuvre conjointement par le PNUD et la Banque Mondiale, il est réparti sur six volets.

Volet 1 : développement institutionnel (3.5 millions de USD gérés par la Banque Mondiale). L'objectif de ce volet est d'augmenter la capacité institutionnelle régionale, nationale et locale dans les neuf pays du bassin pour permettre une gestion durable et l'exécution des projets régionaux dans le bassin.

Volet 2 : renforcement des capacités et sensibilisation du public (1,62 millions de USD gérés par le PNUD). Les actions de cette composante sont conçues pour sensibiliser les communautés cibles à l'environnement et pour renforcer les capacités en matière de gestion de l'environnement aux niveaux local, national et régional.

Volet 3 : gestion des données (1,14 millions de USD gérés par la Banque Mondiale). Cette composante viendra en complément du travail sur les données hydrologiques et environnementales actuellement en cours dans les pays du bassin. Il s'agira d'évaluer la situation quant aux données existantes du bassin dans les domaines hydrologique, environnemental et socioéconomique et de déterminer les modalités

institutionnelles requises pour leur collecte, leur partage et leur diffusion à l'intention des décideurs.

Volet 4 : forum régional (0,38 million de USD gérés par la Banque Mondiale). Cette composante facilitera le partage des enseignements à partir d'expériences de bonnes pratiques dans d'autres projets régionaux d'Afrique subsaharienne et renforcera les relations avec les réseaux panafricains et internationaux d'organisations de bassin.

Volet 5 : projets pilotes de démonstration et de micro-subventions (5,0 millions de USD gérés par le PNUD). Cette composante vise à aider les communautés à résoudre les problèmes environnementaux par la réalisation de neuf projets pilotes prioritaires à but de démonstration et à soutenir, à travers des micro-subventions, une série d'interventions communautaires pour favoriser l'adoption immédiate sur le terrain de bonnes pratiques de gestion des terres et des eaux.

Volet 6 : préparation de l'ADT et du PAS (1,36 million de USD gérés par la Banque Mondiale). Les activités de cette composante permettront la finalisation de l'Analyse Diagnostique Transfrontalière (ADT) préliminaire. Sur la base du processus élargi d'identification des priorités, les pays élaboreront un Plan d'Action Stratégique (PAS) qui mettra l'accent sur les problèmes relatifs aux terres et aux ressources en eau et complètera le Plan d'Action de Développement Durable multisectoriel de la Vision Partagée.

 © IRD éditions 2007

Et dans un monde idéal…

Sur le principe, il faut partir d'une ambition qui est la capacité à co-construire des connaissances à partir d'une offre variée et multiple de données et d'informations. À ce titre, la conception de systèmes d'information environnementaux est la véritable réponse à ce besoin global qui intègre données, informations et connaissances ainsi que leurs interactions dans un même système structuré qui devient une base de connaissances et le moyen d'en transférer les éléments vers des projets et des programmes opérationnels. Ce point est néanmoins à traiter avec précaution car, s'il est évident qu'un SIE est une nécessité pour fonder des projets opérationnels intégrés, rien ne laisse supposer – hors d'une volonté politique fortement exprimée et souvent ré-exprimée – que l'existence de ce SIE suffit à générer ces projets de gestion intégrés. Il est sans doute plus prioritaire de (re)définir une mission collective (au sens régional de tous les pays concernés par le bassin du fleuve Niger) à une structure de bassin (de type ABN ou similaire) et d'en garantir les moyens que de se lancer dans la construction ou la consolidation (car de nombreuses composantes existent) d'un outil global pertinent sur le plan scientifique et technique mais vide de sens sur le plan institutionnel et politique.

Par ailleurs, le partage des données/informations/modèles n'étant pas la chose la plus naturelle du monde, il faut veiller à se doter d'une doctrine globale, collectivement acceptée, qui rende possible l'ensemble des éléments techniques nécessaires, dont ceux intéressés par le partage des informations. Ce point n'est pas du ressort d'une expertise scientifique et technique : il relève d'une décision institutionnelle. Pour autant, le rôle des scientifiques est d'informer sur l'état de l'art en la matière qui évolue en tenant compte de ces réalités. Il faut donc prendre acte d'une nouvelle « doctrine » qui est en train de s'installer dans la communauté scientifique et qui est basée sur l'offre d'informations (je dispose d'informations, je les offre *a priori* sur le média le plus adapté et je recherche, avec des partenaires, comment co-construire des connaissances et des projets opérationnels à partir de cette offre). Ceci remplace la « doctrine » précédente basée sur la demande (je dispose d'un modèle et je recherche des données et des informations pour le valider et l'exprimer). Ces deux « doctrines » vont, bien entendu, continuer à cohabiter pendant un certain temps, en particulier parce que l'ensemble des problèmes liés à la propriété intellectuelle et commerciale des données, des informations et des modèles n'est pas réglé de manière consistante, mais le « raisonnement par l'offre » semble globalement l'emporter sur le « raisonnement par la demande ».

L'ambition que l'institution en charge de la gestion du fleuve Niger pourrait porter dans ce débat très actuel à propos de la constitution (et même de la conception) des systèmes d'information environnementaux consisterait à contribuer à transformer les diverses bases de données thématiques disponibles sectoriellement, ou en voie de construction, en un système d'information environnemental. Cette ambition, pour réussir et donc pour devenir une mission opérationnelle, doit s'exprimer à deux niveaux différents et complémentaires.

- Niveau 1 : il s'agit de continuer à se doter, thématiquement et sectoriellement (pour les offrir ensuite à l'échelon global), de capacités d'abord méthodologiques puis opérationnelles à produire de la valeur ajoutée à partir d'informations environnementales thématiques « brutes », en utilisant et en développant les modèles habituels ainsi que les modèles raisonnablement envisageables dans un futur proche pour traiter ces données, informations et connaissances. Ceci ne peut se réaliser qu'en intégrant directement les modèles disponibles aux systèmes de gestion des données (SGBD) eux-mêmes pour réaliser des chaînes complètes de valeur ajoutée (acquisition, structuration, contrôle, stockage et préservation des données/informations, puis traitement et modélisation) pour produire, finalement, une valeur ajoutée technique et opérationnelle, ceci pour une thématique donnée. On peut résumer cette action par la volonté de passer de manière systématique des données aux modèles. Cette première étape est toujours facilitée par une capacité « d'adossement » à certains producteurs de données qui ne gèrent que des données « brutes » sans leur ajouter une production technique directement transférable à la communauté de l'ingénierie technique. Le traitement de ce point devrait être facilité pour le fleuve Niger dans la mesure où les services techniques « thématiques et sectoriels » sont, le plus souvent, en charge de l'acquisition des données de base qu'ils élaborent ensuite sous différentes formes.

Cette première action, qui reste de nature thématique et sectorielle, est indispensable. Elle passe aussi par des projets identifiés au niveau opérationnel qui utilisent à plein les coopérations locales/nationales et régionales diversifiées déjà existantes, ceci, outre le bénéfice direct des projets en question, permettant de construire cette « doctrine » collective dans le domaine des systèmes d'information environnementaux à usage de gestion intégrée.

- Niveau 2 : il s'agit de concevoir et de mettre en œuvre un grand projet technique et opérationnel qui consiste à capitaliser sur cette capacité à structurer des systèmes d'information environnementaux thématiques et sectoriels en structurant à l'échelle régionale, au sein de l'institution collective de gestion, un SIE global mobilisant la totalité des données, informations et modèles thématiques et sectoriels disponibles**.** Ce projet est bien plus ambitieux sur le plan technique, opérationnel et institutionnel car il consiste à mobiliser systématiquement les capacités de pluridisciplinarité dans la connaissance du fonctionnement des milieux naturels et anthropisés du bassin versant du fleuve Niger. Il s'agit précisément de concevoir et de construire les adaptateurs et les médiateurs nécessaires entre les bases de données et les modèles spécifiques thématiques, ceci pour constituer un vaste système d'information environnemental réparti pluri-thématique qui donnera accès à l'ensemble des informations.

Il ne s'agit pas d'être naïf et de proposer une ambition démesurée dont la probabilité d'être réalisée de manière opérationnelle est faible. Cinq éléments distincts sont fondamentaux pour arriver à traduire cette ambition en structure opérationnelle.

- Le besoin d'une institution collectivement affirmée où ré-affirmée comme prenant en charge, à l'échelle régionale, la gestion intégrée du bassin du fleuve Niger. Il est inutile de revenir sur ce point clé qui conditionne l'ensemble des

dispositifs que l'on peut imaginer, y compris l'aide internationale aux différents projets techniques sectoriels.

- L'état de l'art en matière d'équipement informatique et de logiciels spécialisés en matière de gestion des données et de tous types d'information 4D (spatialisée et datée). Sans affirmer tout à fait la banalisation de tels équipements, on peut affirmer que leur mise en œuvre n'est plus un défi scientifique et technique permanent mais relève plutôt d'une conduite de projet, certes complexe, mais assez bien maîtrisée dès lors que les ressources qu'on lui affecte sont suffisantes et pérennes. L'élément essentiel de ces ressources est celui des ressources humaines dont la qualification doit être adaptée aux enjeux techniques mais aussi politiques. Le fonctionnement déjà observé des services et des directions techniques nationaux doit fournir un vivier de compétences *ad hoc* et maintenir un lien opérationnel entre l'institution globale et les services thématiques et sectoriels. Rien n'empêche par ailleurs de se procurer des compétences pointues en matière de gestion sophistiquée de l'information, si besoin, sur le marché international, dès lors que le projet est soutenu financièrement par la communauté internationale. Un projet de SIE, même à l'échelle régionale, ne présente pas le caractère ultime de difficulté que l'on connaissait il y a quelques années ; ceci d'autant que la véritable difficulté technique, celle de l'intégration au sein d'un même système de données, informations et modèles, peut se réaliser progressivement sans remettre en cause l'ambition ni la finalité ultime du système dédié à l'aide à la décision en gestion intégrée à l'échelle régionale.
- Cet état de l'art en matière de gestion de l'information a produit également des outils capables de soutenir une doctrine du partage et de l'échange des données/informations/modèles. Là encore ne soyons pas naïfs, la question du partage des informations reste une question centrale, parce qu'elle est plus culturelle que technique. Il est difficile, pour un service opérationnel en charge de l'acquisition de données/informations, de partager sa production, voire de la transmettre à une autre institution. Le problème est d'ailleurs le même en ce qui concerne les structures de recherche qui, en la matière, ne font pas preuve de beaucoup d'ouverture d'esprit, quoi qu'elles en disent. Cette difficulté doit être affrontée et il existe des moyens techniques, non pas de la résoudre, mais d'en faciliter la mise en œuvre. Par exemple, on peut imaginer le mode de fonctionnement suivant : la constitution d'un SIE global n'implique pas forcément qu'on implémente un système central unique, ni même une base de données réparties au sens habituel du terme. Il est possible (ce modèle est opérationnel et implémenté par une *startup* de l'Institut national (français) de recherche en informatique et en automatique, INRIA) de créer un réseau virtuel (au sens où il ne dispose pas de fonction de stockage intégrée autonome des informations sur lequel chaque service ou institution concerné(e) « poste », selon une charte à définir et à faire évoluer progressivement, la quantité et le type d'information qu'il souhaite). Chacun des contributeurs a accès à la totalité des informations circulant sur le réseau virtuel auquel il connecte son propre système d'information qu'il continue à gérer et à faire progresser par l'intermédiaire d'un adaptateur (chaque SGBD dispose de son adaptateur) et d'un médiateur qui gère l'envoi et la réception des informations circulant (en XML exclusivement) sur le réseau virtuel. L'expérience montre que ce modèle est opérationnel et culturellement acceptable pour la majorité des acteurs. Il permet aussi de mettre progressivement en place un SIE partagé (et non pas réparti) dont le niveau

d'intégration peut aller croissant sans remettre en cause la gestion thématique sectorielle initiale, sauf à la demande des intéressés eux-mêmes.

- Les communications, et en particulier les télécommunications, sont un élément technique clé dans la mise en place d'un système global intégré. Ce point est une évidence et il prend tout son sens dans le contexte technologique moins favorisé que l'on trouve sur le bassin du fleuve Niger. Il est évident qu'un système global alimenté de manière sporadique et diffusant des informations également de manière sporadique aura du mal à concrétiser l'ambition initiale. Ce point est à traiter avec une attention particulière et à l'échelle régionale.
- La production d'un système global doit être à la hauteur des efforts consentis et des ressources investies dans sa mise en place. C'est une évidence : le besoin d'aide à la décision en gestion intégrée se place à un haut niveau et doit être traité en tant que tel. Pour autant, il ne faut pas négliger une production et une diffusion de masse traitant à terme régulier, par exemple mensuel, une information banalisée à destination de tous ou du plus grand nombre possible. En effet, un des moyens les plus efficaces de rendre accessible l'institution globale de bassin et que le plus grand nombre s'en approprie les missions, est qu'elle assure un service banalisé (en termes de type d'informations diffusées) et régulier. Par exemple, un simple bulletin mensuel de moyenne de pluie tombée, de mini-maxi de débit du fleuve en divers points d'intérêt, de tirants d'eau en relations avec la navigabilité,… peut devenir rapidement un outil de cohésion et de co-construction concret ainsi qu'une mission d'enjeu technique faible, mais dont le caractère régulier et obligatoire (mais supportable) renforcera la qualité opérationnelle du service rendu. On trouvera, en annexe, un exemple d'un tel bulletin diffusé par l'Office de l'eau de la Réunion qui présente toutes les caractéristiques requises (simplicité des informations et diffusion au plus grand nombre - http://www.ore-oi.org). Le mode de diffusion d'un tel bulletin qui peut avoir un support « papier » très simple doit exploiter toutes les possibilités et les langues locales, par affichage administratif banalisé par exemple.

Ces cinq points n'ont que l'ambition de structurer un débat et une démarche la plus opérationnelle possible. Il semble acquis, par expérience, que les questionnements contenus dans ces points doivent être traités en priorité comme un gage, mais non comme une garantie absolue, de succès.

Bibliographie

ABN, 1999 – *ABN- Info*, Dossier « Autorité du Bassin du Niger : Missions et Défis ». ABN, Niamey.

ABN, 2002 – Plan quinquennal d'action (2003-2005). ABN, Niamey.

AGRHYMET, 1992 – *Atlas Agro-climatique des pays de la zone du CILSS*. Programme Agrhymet, Coopération française, CILSS, PNUD, OMM, Niamey. 11 volumes.

AKINYEMIJU O.-A., 1987 – Invasion of Nigerian waters by water hyacinth. *Journal of Aquatic Plant Management*, 25: 24-26.

ALPHA A., TRAORÉ A.Z., MARIKO A., BANTON O., VILLENEUVE J.P., 1991 – *Hydrogéologie et contamination de la nappe phréatique alimentant la ville de Bamako (Mali)*. Québec, Canada, Institut national de la recherche scientifique, 106 p.

ARANYOSSY J.F., GUERRE A., SIDORO M., 1990 – Étude par les isotopes de l'environnement des dépressions piezometriques ; premières données sur des exemples au Mali. *Hydrogéologie*, 1990(3), p. 151 et suiv.

ARCADIS EUROCONSULT, RESOURCE ANALYSIS, 2002 – *Rapport Final du Projet de Gestion Hydro-Écologique du Niger Supérieur (Ghenis)*. Gouvernements de Guinée, du Mali et des Pays Bas.

ARD, 2002 – Mali : une analyse des bénéfices et des coûts d'investissements alternatifs dans l'irrigation. USAID, Berlington (Vermont-USA), décembre 2002, 85 p. + annexes

ARFI R., 2002 – « Contrôle environnemental de la productivité planctonique du delta intérieur du Niger ». In Orange D., *et al.* (éd.) : 279-301.

ATI O. F., STIGTER C. J., OLADIPO E. O., 2002 – A comparison of methods to determine the onset of the growing season in northern Nigeria. *International Journal of Climatology*, 22(6): 731-742

BÂ A.-H., DAGET J., 1955 – *L'empire peul du Macina*. Bamako, Ifan, Études soudanaises 3, 306 p.

BAGAYOGO M., 1984 – Étude de la paille de riz enfouie et de l'azote sur le rendement du riz et des propriétés chimiques du sol en culture du riz irrigué à Kogoni. Rapport SRCVO, 24 p.

BALIÉ J., 2004 – *Identification des opportunités d'investissement dans la zone de l'Office du Niger au Mali*. Programme régional pour la sécurité alimentaire de l'UEMOA, Rapport de mission. FAO/TCAS. Rome, juin 2004, 60 p.

BANQUE MONDIALE, 2003 – *Des politiques foncières pour promouvoir la croissance et réduire la pauvreté. Résumé analytique*. Banque internationale pour la reconstruction et le développement/Banque mondiale, Washington 2003, 37 p.

BANQUE MONDIALE, 2004 – Documents d'évaluation de projet, Rapport N° 26675 relatif à l'Inversion de la Tendance à la Dégradation des Terres et des Eaux dans le bassin du fleuve Niger.

BARIS P., COSTE J., COULIBALY A., DÉMÉ M., 1996 – *Analyse de la filière rizicole de la zone de l'Office du Niger et des perspectives à moyen et long termes*. Primature/Ministère du Développement rural et de l'environnement, Paris, mai 1996, 110 p. + annexes.

BARIS P., Perrin S., ZASLAVSKY J., 2004 – *Analyse économique de la filière riz au Mali. Note de synthèse*. AFD, Paris, novembre 2004, 17 p.

BARRIÈRE C., BARRIÈRE O., 1995 – Le foncier-environnement : fondements juridico-institutionnels pour une gestion viable des ressources naturelles renouvelables au Sahel. II – Répertoire des conflits fonciers environnementaux du delta intérieur du Niger (Mali). Montpellier, Orstom, 524 p.

BARRY A. W., DIARRA S. B., DIARRA D., 1998 – Promouvoir les exportations du riz malien vers les pays de la sous-région. Washington, USAID, 66 p.

BATTERBURY S., WARREN A., 2001 – The African Sahel 25 years after the great drought: assessing progress and moving towards new agendas and approaches. *Global Environmental Change*, 11(1): 1-8.

BAUMANN E., FAY C., KASSIBO B., 1994 – « Systèmes de pêche et stratégies globales ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger : approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique.* Paris, IER/Orstom/Karthala, vol. 1/2 : 401-406.

BCEOM, 1984 – Conception générale des systèmes d'assainissement dans le contexte urbain africain – Aspect technique. Publication du CIEH.

BDPA, 1973 – Cartes des étages floristiques dans l'aire grégarigène du delta central du Niger. Études Écologiques PNUD (FS) AML/ECO/2, FAO Rome, 22 p.

BEAU, 1981 – Besoins en eau au niveau arroseur. Riz, Canne. Rapport d'études.

BÉLIÈRES J.-F., BOMANS E., 2001a – *Coût de production du riz de contre-saison et d'hivernage 1999 dans la zone Office du Niger*. Résultats partiels des enquêtes

détaillées sur les exploitations agricoles de la zone Office du Niger. Note n°2. Rapport provisoire, Office du Niger, Ségou juin 2001, 30 p.

BÉLIÈRES J.-F., BOMANS E., 2001b – *Les performances rizicoles des exploitations agricoles en contre-saison et en hivernage 1999*. Résultats partiels des enquêtes détaillées sur les exploitations agricoles de la zone Office du Niger. Note n°1. Rapport provisoire, Office du Niger, Ségou, février 2001, 19 p.

BÉLIÈRES J.-F., BOSC P.-M., FAURE G., FOURNIER S., LOSH B., 2002a – *Quel avenir pour les agricultures familiales d'Afrique de l'Ouest dans un contexte libéralisé ?* Londres, IIED, Dossier n° 113, 40 p.

BÉLIÈRES J.-F., COULIBALY Y., KEÏTA A., SANOGO M. K., 2002b – *Caractérisation des exploitations agricoles de la zone de l'Office du Niger en 2000*. Résultats d'une enquête des exploitations agricoles d'un échantillon de villages. Ségou, URDOC/Office du Niger, NYETA Conseils, 74 p. + annexes.

BÉLIÈRES J.-F., SOURISSEAU J.-M., JAMIN J.-Y., KUPER M., 2002c – « Le statut foncier. Une appropriation difficile des terres aménagées ». *In* Bonneval P., Kuper M., Tonneau J.-P. (éd.): *L'Office du Niger grenier à riz du Mali : succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement*, Paris, Montpellier, Karthala, Cirad : 222-226.

BÉLIÈRES J.-F., COULIBALY Y., KEÏTA A., SANOGO M. K., 2003 – *Caractérisation des exploitations agricoles de la zone de l'Office du Niger en 2000*. Résultats d'une enquête des exploitations agricoles d'un échantillon de villages. Ségou, URDOC/Office du Niger, NYETA Conseils, 101 p.

BÉNÉ C., MINDJIMBA K., BELAL E., JOLLEY T., 2000 – Evaluating livelihood strategies and the role of inland fisheries in rural development and poverty alleviation: the case of the Yaéré floodplain in North Cameroon. Paper presented at the 10th Conference of the International Institute of Fisheries Economics and Trade, 10-14 July 2000, Corvallis, Oregon State University.

BÉNECH V., 2002 – « Les migrations latérales des poissons dans le delta intérieur du Niger ». *In* Orange D., *et al.* (éd.) : 329-341.

BÉNECH V., QUENSIÈRE J, 1987 – Dynamique des peupleuments ichtyologiques de la région du lac Tchad (1966-78). Influence de la sécheresse sahélienne. Thèse Dr. Etat, université Sciences et Techniques de Lille, 360 p. + annexes

BÉNECH V., J. QUENSIÈRE J., 1989 – Dynamique des peuplements ichtyologiques de la région du lac Tchad (1966-78) : influence de la sécheresse sahélienne. Thèse, université Lille-Flandre-Artois, 428 p.

BÉNECH V., DANSOKO D., 1994 – « Reproduction des espèces d'intérêt halieutique ». *In* Quensière J. (éd.): *La pêche dans le delta central du Niger : approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique*. Paris, IER, Orstom, Karthala : 213-228.

BLANC M., J. DAGET, d'AUBENTON F., 1955 – Recherches hydrobiologiques dans le bassin du moyen Niger. *Bull. de l'Ifan* XVII, A (3) : 679-754.

BLANCK J.P., 1968 – *La boucle du Niger (Mali) : cartes géomorphologiques et notice, projet d'aménagement*. Strasbourg, Université Louis Pasteur, Centre de Géographie Appliquée, 41 + 26 p.

BLANCK, J-P., et TRICART, J.L.F., 1990 – *Quelques effets de la néotectonique sur la géomorphologie dans la région du Delta Central du Niger (Mali)* : Paris, Académie des Sciences Comptes Rendus, sér. II, v. 310, p. 309-313.

BONNEFOY A., 1998 – *Impact des intrants agricoles sur la qualité des eaux en zone cotonnière du Mali-sud*. Bamako (MLI), IRD, Rapports Techniques et Scientifiques. Mémoires – LECOM (MLI), 23, 52 p.

BRACONNOT P., JOUSSAUME S., De NOBLET N., RAMSTEIN G., 2000 – Mid-Holocene and Last Glacial Maximum African monsoon changes as simulated within the Paleoclimate Modelling Intercomparison Project. *Global and Planetary Change*, 26(1-3): 51-66.

BREUIL C., QUENSIÈRE J., CACAUD P., 1996 – *Proposition d'un schéma directeur de la pêches et de la pisciculture au Mali*. FAO/PNUD/MLI/91/005. Rome, FAO.

BRICQUET J.P., BAMBA F., MAHÉ G., TOURÉ M., OLIVRY J.C, 1997a – Évolution récente des ressources en eau de l'Afrique atlantique. *Revue des Sciences de l'Eau*, 3 : 321-337.

BRICQUET J.P., MAHÉ G., BAMBA F., DIARRA M., MAHIEUX A., Des TUREAUX T., ORANGE D., PICOUET C., OLIVRY J.-C., 1997b – « Érosion et transport particulaire par le Niger : du bassin supérieur à l'exutoire du delta intérieur (bilan de cinq années d'observation) ». *In* Gustard A., Blazkova S., Brilly M., Demuth S., Dixon J., Van Lanen H., Llasat C., Mkhandi S., Servat Eric (eds): *Friend'97 – regional hydrology : concepts and models for sustainable water resource management.* Wallingford (GBR), AISH: 335-346.

BRICQUET J.P., GOURCY L., MAHÉ G., ORANGE D., PICOUET C., OLIVRY J.-C., 1998 – « Dissolved matter fluxes in the Niger river's inner delta ». *In* Johnson A.-I., Fernandez Jauregui C.-A. (eds): *Hydrology in the humid tropic environment. Wallingford* (GBR), AIHS : 435-445.

BRL, 2002 – *Étude pour la fixation des taux de redevance du contrat plan 2002-2004. Dossier final*. Compagnie du bas-Rhône Languedoc/Office du Niger, Ségou, avril 2002, 66 p.

BRL, 2004 – *Étude de mise en place d'un mécanisme de financement de l'irrigation au Mali. Rapport provisoire*. Compagnie du bas-Rhône Languedoc, Office du Niger/Programme National d'Infrastructure Rurale, Ségou, mai 2003, 80 p.

BRUNET-MORET Y., CHAPERON P., LAMAGAT J.P., MOLINIER M., 1986a – *Monographie hydrologique du fleuve Niger, Tome I – Niger supèrieur*. Éditions de l'Orstom, Collection Monographies hydrologiques, 8, 402 p.

BRUNET-MORET Y., CHAPERON P., LAMAGAT J.P., MOLINIER M., 1986b – *Monographie hydrologique du fleuve Niger. Tome II – Cuvette Lacustre et Niger moyen.* Éditions de l'Orstom, Collection Monographies hydrologiques N° 8, 510 p.

CAMBERLIN P., JANICOT S., POCCARD I., 2001 – Seasonality and atmospheric dynamics of the teleconnection between African rainfall and tropical sea-surface temperature: Atlantic vs. ENSO. *International Journal of Climatology*, 21(8): 973-1005.

CHAPPELL A., AGNEW C. T., 2004 – Modelling climate change in West African Sahel rainfall (1931-90) as an artifact of changing station locations. *International Journal of Climatology*, 24(5): 547-554

CHARNEY J., 1975 – Dynamics of deserts and drought in the Sahel. *Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 101(428): 193-202

CHOHIN-KUPER A., SOW M., 2000 – Modes de gestion de l'eau et production agricole dans la zone de l'Office du Niger au Mali. Le cas de l'étiage 1999. Bamako, Institut du Sahel/CILSS, 19 p.

CISSÉ S., 1982 – « Agro-pastoralisme : 2-les Leyde du delta central du Niger : tenure traditionnelle ou exemple d'un aménagement de territoire classique ? ». *In* Le Bris E., Le Roy F., Leimdorfer F. (éd.): *Enjeux fonciers en Afrique noire*, Paris, Orstom, Karthala : 178-189.

CLIVAR, 1999 – *Climate research for Africa*. World Climate Research Programme WCRP Informal Report n°16/1999, ICPO Publication Series N°.29, 83 p.

COFAD, 2002 – Back to basics. Traditional Inland Fisheries Management and Enhancement Systems in Sub-Saharan Africa and their Potential for Development. Publication GTZ, 203 p.

COOK K.H., 1999 – Generation of the African Easterly Jet and Its Role in Determining West African Precipitation. Journal of Climate, 12(5): 1165-1184

COULIBALY S., DICKO F., MOUSSA TRAORÉ S., SIDIBÉ O., SEROUSSI M., BARRERE B., 1996 – *Enquête démographique et de santé Mali 1995-1996*. Bamako, Direction nationale de la statistique et de l'informatique, 375 p.

COULIBALY S., 1998 – Contribution au diagnostic environnemental. Dynamiques démographiques macro-économiques. Systèmes de production et leur impact sur l'environnement. SP/PNAE-CID, 75 p.

CPS, 2001a – *Recueil des statistiques du secteur rural*. Cellule de planification et de statistique du MDR, Bamako, décembre 2001, 95 p.

CPS, 2001b – Schéma directeur du secteur du développement rural (actualisation-SDDR 2000-2010). Volume I : Situation du secteur du développement rural et bilan de la mise en œuvre du SDDR 1992-2000. CPS/MDR : Cellule de planification et statistique du Ministère du Développement rural, Bamako, décembre 2001, 114p.

CPS, 2001c – Schéma directeur du secteur du développement rural (actualisation-SDDR 2000-2010). Volume II : Stratégie du développement rural. CPS/MDR : Cellule de planification et statistique du Ministère du Développement rural, Bamako, décembre 2001. 60 p. + annexes

CSLP, 2002 – *Cadre stratégique de lutte contre la pauvreté.* CLSP Final. Document préparé et adopté par le gouvernement du Mali. Gouvernement du Mali, Bamako, 22 mai 2002. 94 p. + annexes.

DAGET J., 1949 – La pêche dans le Delta Central du Niger. *Journal de la société des africanistes*, 19(1) : 1-79.

DAGET J., 1954 – *Les poissons du Niger supérieur.* Dakar, Mémoires de l'Institut Français d'Afrique Noire, 36, 391 p.

DAGET J., 1973 – La pêche dans le fleuve Niger. *Afr. J. Trop. Hydrobiol. Fish., special issue* II : 107, 114.

D'AMATO N., LEBEL TH., 1998 – On the characteristics of the rainfall events in the Sahel with a view to the analysis of climatic variability. *International Journal of Climatology*, 18(9): 955-974

DAMNATI B., 2000 –Holocene lake records in the Northern Hemisphere of Africa. *Journal of African Earth Sciences, 31(2): 253-262.*

DANSOKO D., BREMAN H., DAGET J., 1976 – Influence de la sécheresse sur les populations d'*Hydrocynus* dans le delta central du Niger. *Cahiers Orstom. Série Hydrobiologie*, 10(2) : 71-76.

DAVEY J.T., 1957 – The African migratory locust (Locusta migratoria migratorioides Rch., Frm., Orth.) in the Central Niger delta, Part 1 = Climate and vegetation. 115 p.

DE RIDDER K., 1998 – The impact of vegetation cover on Sahelian drought persistence. Boundary - layer meteorology, 88(2): 307-321.

DEGREMONT, 1978 – *Mémento technique de l'eau – 8ème édition.* Rueil Malmaison, Degrémont, 1200 p.

DEMBÉLÉ, 1994 – La jacinthe d'eau, un nouveau fléau pour les cours d'eau du Mali. *Sahel Pvinfo CILSS/UCTR/PV* , 63 : 12-14.

DÉQUÉ M., 2003 – La prévision numérique saisonnière : que sait-on faire et que peut-on espérer ? *Météorologie*, 41 : 20-29.

DEROLEZ V., 2001 – Etude éco-hydrologique de la vallée du bassin supérieur du fleuve Niger au Mali. Mémoire DAA, ENSA Rennes, 85 p.

DIARRA A., 2004 – *Rapport national sur la mise en valeur des ressources en eau du Mali* (Version provisoire). Bamako, Programme Mondial pour l'Évaluation des Ressources en Eau (WWAP), Direction nationale de l'hydraulique.

DIARRA D., 2004 – Analyse des déterminants de la compétitivité du riz de l'Office du Niger sur les marchés nationaux et sous régionaux. Bamako, Projet Trade – Mali/USAID, 87 p.

DIARRA L., 1985 – Évolution des savanes à Vetiveria nigritiana et à Eragrostis barteri des plaines d'inondation du fleuve Niger au Mali.

DIARRA L., 1998 – *Étude environnementale de la zone de l'Office du Niger : aspects écologiques.* Bamako, Ministère du Développement Rural et de l'eau, 79 p.

DIARRA W., 1998 – Savoir populaire paysan et savoir universel sur les rongeurs nuisibles en zone Office du Niger.

DIARRA W., 2003 – *Étude des populations de rongeurs au Mali*. Thèse de 3ème cycle. Université de Marseille.

DINGKUHN M., LE GAL P.Y., POUSSIN J.C., 1995 - RIDEV, un modèle de développement du riz pour le choix des variétés et des calendriers. *In* Boivin P., Dia I., Lericollais A., Poussin J.C., Santoir C., Seck S.M. (Eds), Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal. Paris, Editions de l'Orstom, Coll. Colloques et Séminaires : 205-222.

DIRE – Annuaires hydrologiques, Division des Inventaires des Ressources en Eaux / Section Inventaires des eaux de surfaces.

DNH – Rapports annuels de la Direction nationale de l'hydraulique.

DNHE, 1988 – *Influence des barrages de Sélingué et de Markala sur les débits à l'aval*. Bamako, Ministère du Développement Industriel et du Tourisme.

DNHE, 1999 – Projet Énergie Domestique. Schéma directeur d'approvisionnement en bois énergie de Mopti.

DNPC – Rapports sur les inondations des années 1999, 2001 et 2003, Direction nationale de la protection civile.

DODD D., JOLLIFFE I.T., 2001 – Early detection of the start of the wet season in semiarid tropical climates of western Africa. *International journal of climatology*, 21(10): 1251-1262.

DOLMAN A.J., GASH J.H.C., GOUTORBE J.P., KERR Y., LEBEL T., PRINCE S.D., STRICKER J.N.M., 1997 – The role of the land surface in Sahelian climate: HAPEX-Sahel results and future research needs. J*ournal of Hydrology*, 188-189: 1067-1079.

DONOVAN C., WOPEREIS M.C.S., GUINDO D., NÉBIÉ B., 1999 – Soil fertility management in irrigated rice systems in the Sahel and Savanna regions of West Africa. Part II. Profitability and risk analysis. *Field Crops Research*, 61(2): 147-162.

DUBUS J., CAMARA E., 2001 – *Étude diagnostique du secteur de l'eau au Mali*. Bamako, Ministère des Mines, de l'Énergie et de l'Eau.

DUCROT R., 2001 – « La filière riz à Niono-Mali ». *In* Griffon M. (éd.) : *Filières agro-alimentaire en Afrique : comment rendre le marché plus efficace.* Paris,

Ministère français des Affaires étrangères/Direction générale de la coopération internationale et du développement : 147-208.

DUCROT R., ZASLAVSKY J., MAGASSA H., 2002 – « Dynamismes et contraintes du développement de la petite irrigation : cas du delta intérieur du Niger au Mali ». *In* Orange D., *et al.* (éd.) : 621-638.

DUONG-HUU-THOI, 1950 – « Étude préliminaire de la végétation du delta central nigérien ». In : 2ème Conf. Inter. Afric. Ouest ; Bissao 1947 ; Lisboa 1950 : 55-156.

DZEAKOU P., MORAND P., MULLON C., PONCET Y., DERNIAME J.-C., 2002 – « Architecture d'infothèque pour le partage et la diffusion de résultats de recherche : l'exemple de la communauté scientifique autour du delta intérieur du Niger ». *In* Orange D., *et al.* (éd.) : 849-864.

ECMWF, 1998 – Seasonal forecasting at ECMWF, an update, ECMWF Newsletter 80, Reading, UK.FAO. *Nature et faune. Revue internationale pour la conservation de la nature en Afrique*, 4(1) Janvier-mars 1998.

EL HOUSSEIN TALEB L.M., DRUYAN L.M., 2003 – Relationships between rainfall and West African wave disturbances in station observations. *International journal of climatology*, 23(3): 305-313.

ENP (Étude Nationale Prospective) 2003 – *Mali 2025*.

EQUANIS, 1997 – Environnement et qualité des apports du Niger au Sahel. Programme sur l'environnement de la géosphère intertropicale (PEGI), INSU-CNRS-Orstom, Opération « Grands bassins Fluviaux », 1992-1997, IRD, Paris

FAOSTAT, 2004 – On line databases FAOSTAT. http://www.fao.org/faostat.

FAY C., 1989 – Systèmes halieutiques et espaces de pouvoir : transformation des droits et des pratiques de pêche dans le delta central du Niger (Mali), 1920-1980. *Cahiers des Sciences Humaines*, 25(1-2) : 213-236.

FAY C., 1994 – « Organisation sociale et culturelle de la production de pêche : morphologie et grandes mutations ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le Delta Central du Niger*. Paris, IER, Orstom-Karthala éditions, Vol. 1 : 191-207, 495p.

FEWSNET/MALI, 2002 – Rapport mensuel sur la sécurité alimentaire.

FOLLAND C.K., PALMER T.N., PARKER D.E., 1986 – Sahel rainfall and worldwide sea temperatures. *Nature*, 320(6063) : 602-607

FONTAINE B., PHILIPPON N., 2000 – Seasonal evolution of boundary layer heat content in the West African Monsoon from the NCEP/NCAR reanalysis (1968-1998). *International journal of climatology*, 20(14): 1777-1790.

GALLAIS J., 1967 – *Le delta intérieur du Niger*. Etude de géographie régionale, Dakar, Ifan, 2 tomes, 621 + 358 p.

GALLAIS J., 1984 – Hommes du Sahel : espaces-temps et pouvoirs : le delta intérieur du Niger, 1960-1980. Paris, Flammarion, 289 p.

GEAU (projet), 1984 – *Gestion de l'eau. Tome III, expérimentation agricole*. Ségou, Office du Niger/Université de Agricole de Wageningen, 200 p.

GEDUR, 2003 – Capitalisation de l'expérience d'aménagement de la branche Rétail IV. Office du Niger, Ségou (Mali), mars 2003, 88 p.

GEPIS, 2000 – *Vers une gestion durable des plaines d'inondation sahéliennes*. Groupe d'experts des plaines d'inondation sahéliennes, UICN, Gland (Suisse), Cambridge (Royaume-Uni), UICN. 214 p.

GERBE A., BOUARÉ .S., 2002 – « Agence du fleuve Niger au Mali : un appui à la protection du fleuve et à la gestion durable des ressources de son bassin ». *In* Orange D., *et al.* (éd.) : 969-973.

GFA-AGRAR, 1999a – *Étude d'orientation stratégique des appuis communautaires dans la filière riz. Volume 1 : Rapport principal*. Ministère du Développement rural et de l'eau/Commission européenne, Bamako, avril 1999, 115 p.

GFA-AGRAR, 1999b – *Étude d'orientation stratégique des appuis communautaires dans la filière riz. Volume 3 : Rapport de base*. Ministère du Développement rural et de l'eau/Commission européenne, Bamako, avril 1999, 265 p.

GHENIS, 2001 – *Gestion Hydrologique et Environnementale du Niger Supérieur*.Direction nationale de l'hydraulique et de l'eau (DNHE), projet Delft Hydraulics, Bamako, 2000-2002.

GHIREX, 2000 – *Gestion intégrée, Hydrologie, Ressources et Systèmes d'Exploitation.* Grand Programme 21, Département Eaux Continentales, 1997-2000, Orstom-IRD, Paris.

GIANNINI A., SARAVANAN R., CHANG P., 2003 – Oceanic forcing of Sahel rainfall on interannual to interdecadal time scales. *Science*, 302(5647): 1027-1030.

GIORGI L., 1995 – Etude préliminaire pour l'alimentation en eau de l'agglomération de Bamako à partir de la nappe des grès fracturés. Bamako, ENI et Mission Française de Coopération et d'Action Culturelle.

GOPAL B., SHARMA K.P., 1981 – Water hyacinth (Eichhornia crassipes) the most troublesome weed of the world. Hindasia, Delhi.

GOURCY L., 1994 – Fonctionnement hydrogéochimique de la cuvette lacustre du fleuve Niger (Mali) : bilans et suivi des flux hydriques, particulaires et dissous et des flux de méthane. Thèse doctorat, Université de Paris-XI, 331 p.

GUOJUN GU R.F., ADLER R.F., 2004 – Seasonal evolution and variability associated with the West African monsoon system. *Journal of climate*, 17(17): 3364-3377.

HAAKONSEN J.M., DIAW C. (éd.), 1991 – *Migration des pêcheurs en Afrique de l'Ouest.* Cotonou, Projet DIPA, DIPA/WP/36, 332p.

HASSANE A., 1999 – Influence des aménagements hydrauliques et hydro-agricoles du Niger Supérieur sur l'inondation du delta Intérieur du Niger (MALI). Bamako, École Nationale d'Ingénieur, Mémoire de fin d'études d'ingénieur de génie civil.

HASSANE A., KUPER M., 1999 – Impact de la disponibilité en eau du fleuve Niger sur la gestion de l'eau dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger au Mali : le cas de l'étiage 1999, aspects hydrauliques. Bamako (MLI), IRD, INSAH, 69 p.

HASTENRATH S., 2000 – Interannual and longer term variability of upper-air circulation over the tropical atlantic and West Africa in boreal summer. *International journal of climatology*, 20(12): 1415-1430.

HASSANE A., HAMADOU S., KUPER M., KUPER A. (éd.), 2002 – Les disponibilités en eau du fleuve Niger : enjeux et perspectives pour les aménagements hydro-agricoles. Le cas du Niger. Bamako, INSAH-GRN/SA, 80 p.

HERRY C., 1994 – « Démographie des pêcheurs ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger : approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique.* Paris, IER/Orstom/Karthala, vol. 1/2: 123-141.

HIERNAUX P., CISSÉ M.I., DIARRA L., COULIBALY M., 1983 – Recherches d'une solution aux problèmes de l'élevage dans le delta intérieur du Niger au Mali, Volume 1 Les pâturages de la zone d'études. Bamako CIPEA/ODEM, 132 p.

HIERNAUX P., DIARRA L., 1986 – Bilan de cinq années de recherches (Sept.1979-Sept.1984) sur la production végétale des parcours des plaines d'inondation du fleuve Niger au Mali central. Bamako, CIPEA, 66 p.

HUGON PH., PAGES N., 1998 – Ajustement structurel, emploi et rôle des partenaires sociaux en Afrique francophone. *Cahiers de l'emploi et de la formation*, 28, 57 p.

HUGUENY B.**,** LÉVÊQUE CH., 1994 – Freshwater fish zoogeography in West Africa: faunal similarities between river basins. *Environmental Biology of Fishes*, 39: 365-380.

HULME M., 2001 – Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973-1998. *Global Environmental Change*, 11(1) : 19-29.

HUNT B.G., 2000 – Natural climatic variability and Sahelian rainfall trends. *Global and Planetary Change*, 24(2): 107-131.

HYDROCONSULT INTERNATIONAL, 1996 – Mise à jour de l'hydrologie pour la réhabilitation du barrage de Sélingué. Bamako, Énergie du Mali.

IEEF, 2004 – Institut de l'Énergie et de l'Environnement de la Francophonie. Site web http://www.iepf.org

IPCC, 2001 – « Climate change 2000: impacts, adaptation and vulnerability ». In: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Chapter 10: Africa: 487-531.

IWACO, 1996a – Étude préliminaire de la qualité des eaux souterraines phréatiques des zones maraîchères de Bamako. Rapport final d'évaluation, Bamako.

IWACO, 1996b – Projet pilote Guinée-Mali de création d'un système intégré de suivi hydro-écologique du bassin du Niger supérieur. Rapport final, Delft Hydraulics, juillet 1996.

JAMIN J.Y., DOUCET M.J., 1994 – La question foncière dans les périmètres irriguées de l'Office du Niger (Mali). *Les Cahiers de la Recherche-Développement*, 38: 65-82.

JANICOT S., HARZAKKAH A., FONTAINE B., MORON V., 1998 – West African monsoon dynamics and Eastern Equatorial Atlantic and Pacific SST anomalies (1970-88). *Journal of climate*, 11(8): 1874-1882.

JENKINS G.S., ADAMOU G., FONGANG S., 2002 – The challenges of modelling climate variability and change in West Africa. *Climatic Change*, 52(3): 263-286

JUNK W.J., BAILEY P.B., SPARKS R.E., 1989 – « The flood pulse concept in river-floodplain systems ». *In* Dodge D.P. (ed.): *Proceedings of the International Large River Symposium*, Canadian Special Publications in Fish and Aquatic Science: 110-127.

KAMATÉ, C., 1980 – « Climat ». *In Les atlas jeune Afrique, MALI*. Cd.jeune Afrique, Paris, pp. 14-17.

KANE M., MOREL M. A., 1998 – Le langunage à macrophytes, une technique permettant l'épuration des eaux usées pour son recyclage et multiples valorisations de la biomasse. Sud Sciences et technologies, 001, IER, Ouagadougou : 5-16

KASSIBO B., 1994 – Histoire du peuplement humain. *In* Quensière J. (éd.), *La Pêche dans le Delta Central du Niger*, vol. I. IER/Orstom/Karthala, Paris, : 81-97

KASSIBO B., 2000a – « Pêche continentale et migration : contrôle politique et contrôle social des migrations de pêche dans le delta central du Niger (Mali) ». *In* Chauveau J.P., Jul-Larsen E., Chaboud C. (éd.) : *Les pêches piroguières en Afrique de l'Ouest*. IRD, Karthala : 231-246.

KASSIBO B., 2000b – *La gestion intégrée des ressources naturelles à l'épreuve de la décentralisation : le cas du delta central du Niger*. Séminaire international sur la gestion intégrée des ressources naturelles dans les zones inondables tropicales, IRD, UNESCO, UICN, 19-23 juin 2000, Bamako.

KÉBÉ D., COULIBALY B.S., SANOGO O., KERGNAN A. O., CISSÉ I., 2003 – *Étude socio-économique du rôle de l'agriculture. Synthèse nationale. Version provisoire*. Bamako, FAO/IER, 50 p.

KEÏTA I., BÉLIÈRES J.-F., SIDIBE S., 2001 – « Gestion du système hydraulique de l'Office du Niger : évolutions récentes et perspectives ». *In La gestion des périmètres irrigués collectifs à l'aube du XXI*^{ème} *siècle : enjeux, problèmes, démarches*. Montpellier, CIRAD : 65-81.

KEÏTA N., BÉLIÈRES J.-F., SIDIBÉ S., 2002 – « Extension de la zone aménagée de l'Office du Niger : exploitation rationnelle et durable des ressources naturelles au service d'un enjeu national de développement ». *In* Orange D., *et al*. (éd.) : 929-952.

KODIO A., MORAND P., DIENEPO K., LAË R., 2002 – « Dynamique de la pêcherie du delta intérieur du Niger revisitée à la lumière des données récentes : implications en terme de gestion ». *In* Orange D., *et al.* (éd.) : 431-453.

KUPER M., HASSANE A., ORANGE D., CHOHIN-KUPER A., SOW M., 2000 – « Régulation, utilisation et partage des eaux du fleuve Niger : impact de la gestion des aménagements hydrauliques ». *In* Orange D., *et al*. (éd.) : 411-430 p.

KUPER M., MAÏGA HAMADOUN, 2002 – « Commercialisation du riz traditionnel dans le delta intérieur du Niger (Mali) ». *In* Orange D., *et al*. (éd.) : 639-660.

KUPER M., MULLON C., PONCET Y., BENGA E., 2003 – Integrated modelling of the ecosystem of the Niger river inland delta in Mali. *Ecological Modelling*, 164(1): 83-102.

LAË R., 1992a – Impact des barrages sur les pêcheries artisanales du delta central du Niger. *Agricultures : Cahiers d'Études et de Recherches Francophones*, 1 : 256-263.

LAË R., 1992b – Influence de l'hydrologie sur l'évolution des pêcheries du delta central du Niger, de 1966 à 1989. *Aquatic Living Resources*, 5(2): 115-126.

LAË R., 1994 – Effects of drought, dams and fishing pressure on the fisheries of the Central Delta of the Niger river. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 20: 119-128.

LAË R., MAÏGA M., RAFFRAY J., TROUBAT J.J., 1994 – « Évolution de la pêche ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger : approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique.* Paris, IER/Orstom/Karthala, vol. 1/2 : 143-164.

LAË R., 1995 – Climatic and anthropogenic effects on fish diversity and fish yields in the central delta of the Niger river. *Aquatic Living Resources*, 8: 45-58.

LAË R., ECOUTIN J.M., KANTOUSSAN J., 2004 – The use of biological indicators for monitoring fisheries exploitation: application to man-made reservoirs in Mali. *Aquatic Living Resources*, 17(2): 95-105.

LAMAGAT J.P., MOREL-SEYTOUX H.J., Albergel J., 1993 – Analyse de la propagation des ondes de crue. *Hydrologie Continentale,* 8(2) : 113-137.

LANDSEA C.W., PIELKE R.A., MESTAS-NUNEZ A.M., KNAFF J.A., 1999 – Atlantic basin hurricanes: Indices of climatic changes. *Climatic change*, 42(1): 89-129.

LAVIGNE DELVILLE P. (ÉD.), 1998 – *Quelles politiques foncières pour l'Afrique rurale* ? Paris, Karthala et Coopération française, 300 p.

LE BARBÉ L., LEBEL T., 1997 – Rainfall climatology of the Hapex-Sahel region during the years 1950-1990. *Journal of Hydrology*, 188-189(1-4): 43-73.

LEROY J.B., 1999 – *La pollution des eaux*. Paris, Presses universitaires de France, 127 p.

LÉVÊQUE C., Paugy D. (éd.), 1999 – Les poissons des eaux continentales africaines : diversité, écologie, utilisation par l'homme. Paris, IRD, 521 p.

LÉVÊQUE C., PAUGY D., TEUGELS G.G. (éd.)., 1992 –Faune des poissons d'eaux douces et saumâtres de l'Afrique de l'Ouest = The fresh and brackish water fishes of West Africa. Paris, Orstom, 902 p.

L'HOTE Y., LE BARBÉ L., MAHÉ G., WOTLING G., 1995 – Analyse par les vecteurs régionaux de la variabilité spatio-temporelle des précipitations annuelles liées à la mousson africaine. *Veille climatique satellitaire*, 52, Ed. Orstom/Météo-France, pp.58-73.

LISTER D.H., PALUTIKOF J.P., 2001 – *Seasonal climate forecasting for West Africa: a review*. CLIMAG-West Africa deliverable n°4 report, 34 p.

LONG M., ENTEKHABI D., NICHOLSON S.E., 2000 – Interannual variability in rainfall, water vapor flux, and vertical motionover West Africa. *Journal of climate*, 13(21): 3827-3841.

LORENTZ E.N., 1963 – Deterministic nonperiodic flow. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20(2): 130-141.

MAHÉ G., OLIVRY J.C., 1995 - Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. *Sécheresse,* 6 (1) : pp.109-117.

MAHÉ G., BAMBA F., ORANGE D., FOFANA L., KUPER M., MARIEU B., SOUMAGUEL A., CISS N., 2002 – « Dynamique hydrologique du Delta Intérieur du Niger (Mali). *In* Orange D, *et al.* (éd.) : 179-195.

MAÏGA H. A., DIARRA M., 2001 – Projet FEM/PNUD RAF 99G41/A/1G/50 GEF PDF6B, Renversement de la tendance à la dégradation des terres et des eaux dans le bassin du fleuve Niger. Rapport National du Mali. Bamako, FEM, PNUD.

MAÏGA H. A., 2003 – Initiative de l'Union Européenne sur l'Eau en Afrique (IUEE), Composante II Afrique – GIRE. Rapport National du Mali. Bamako, Ministère des Mines, de l'Énergie et de l'Eau.

MARIE J., 1989 – Désertification et politique d'État : le rôle des lois foncières et de la politique forestière en République du Mali. *Sahel 89, Cahiers géographiques de Rouen*, 32 : 67-72.

MARIE J., 2000 – Delmasig : hommes, milieux, enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger (Mali). Université Paris-X, habilitation à diriger les recherches, 420 p.

MARIE J., 2002 – « Enjeux spatiaux et fonciers dans le delta intérieur du Niger (Mali) : Delmasig, un SIG à vocation locale et régionale ». *In* Orange D., *et al.* (éd.) : 557-586.

MARIKO D., CHOHIN-KUPER A., KELLY V., 2001 – Libéralisation et dévaluation du franc CFA : la relance de la filière riz irrigué à l'Office du Niger au Mali ? *Cahiers Agricultures*, 10 : 173-184.

MARIKO F., 2004 – Gestion des ressources et aménagement du Fleuve Niger : des connaissances scientifiques pour la décision publique, IRD, Paris.

MARIKO F., MAÏGA H.A., JASPERS F.G.W., 2000 – *Étude sur la mise en place de l'Agence du Fleuve Niger*. Bamako, Ministère de l'Environnement du Mali.

MASON S.J., GODDARD L., 2001 – Probabilistic precipitation anomalies associated with ENSO. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 82(4): 619-638.

MATTHEWS A., 2004 – Intraseasonal variability over tropical Africa during northern summer. *Journal of climate*, 17(12): 2427-2440.

MCCARTHY J., CANZIANI O.F., LEARY N. A., DOKKEN D.J., WHITE K.S. (EDS), 2001 – Climate Change 2001: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the third assessment report of the Intergovernmental panel on *climate change* / IPCC. Cambridge, Cambridge University Presse, 1032 p.

MDRE, 1998 – Problématique agro-pédologique spécifique des grandes zones agro-écologiques du Mali. Bamako, Ministère du Développement rural et de l'eau.

MDRE ET MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, 1998 – *Étude environnementale de la zone de l'Office du Niger. Gestion de l'eau*. Ministère du Développement rural et de l'eau et Ministère de l'Environnement, Bamako, septembre 1998, 109 p.

MDRE, 1999 – *Stratégie nationale de développement de l'irrigation*. République du Mali – Ministère du Développement rural et de l'eau (MDRE). Bamako, août 1999, 76 p.

MDRE, 2001a – Schéma directeur du secteur du développement rural (actualisation - Schéma Directeur du Secteur Développement Rural SDDR 2000-2010). Volume 1 : Situation du secteur du développement rural et bilan de la mise en œuvre du SDDR 1992-2000. CPS/MDR : Cellule de planification et statistique du Ministère du Développement rural, Bamako, décembre 2001, 114 p.

MDRE, 2001b – *Schéma directeur du secteur du développement rural (actualisatio-SDDR 2000-2010). Volume II : stratégies de développement*. CPS/MDR :

Cellule de planification et de statistique du Ministère du Développement rural. Bamako, décembre 2001, 60 p. + annexes.

MENDEZ DEL VILLAR P., SOURISSEAU J.M., DIAKITÉ L., 1995 – *Les premiers effets de la dévaluation sur les filières riz irrigué au Sahel. Le cas du Mali*. Montpellier, IER/CIRAD, septembre 1995, 183 p.

MMEE, 2001 – Rapport sur le secteur de l'eau au Mali.

MOOREHEAD R., 1997 – Structural Chaos: community and state management of common property in Mali. Londres, IIED, 420 p.

MORAND P., 2002 – « Interfaces d'échange de l'information environnementale ». *In* Orange D., *et al.* (éd.) : 663-672

MORAND P., QUENSIÈRE J., HERRY C., 1990 – « Enquête pluridisciplinaire auprès des pêcheurs du delta central du Niger : plan de sondage et estimateurs associés ». *In* Mullon C. (éd.) : *Le transfert d'échelle.* Paris, Orstom, Séminfor 4 : Quatrième Séminaire Informatique de l'Orstom : 195-211.

MORAND P., BOUSQUET F., 1994 – « Modélisation de la ressource : relations entre l'effort de pêche, la dynamique du peuplement ichtyologique et le niveau des captures dans un système fleuve-plaine ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger : approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique.* Paris, IER/Orstom/Karthala, vol. 1/2 : 267-282.

MORAND P., BOUSQUET F., 2000 – « Simulation de l'exploitation de ressources (fleuve Niger) ». *In* Gillon Y., Chaboud C., Boutrais J., Mullon C. (éd.), Weber J. : *Du bon usage des ressources renouvelables*. Paris, IRD : 375-392.

MORAND P., BREUIL C., 2002a – Fisheries in Sélingué: towards a participatory management which is better integrated into local development. Sustainable Fisheries Livelihoods Programme in West Africa. *Liaison Bulletin*, 8: 6-11.

MORAND P., KODIO A., NIARÉ T., 2002b – « Vers un observatoire de la pêche dans le Delta intérieur du Niger. Méthodes, résultats et enseignements d'un dispositif expérimental ». *In* Orange D., *et al.* (éd.) : 685-716.

MORAND P., SIDIBÉ M., DIAKITÉ K., 2002c – Étude diagnostique participative des moyens d'existence de la communauté de pêche de Sélingué. Propositions pour des moyens d'existence durables dans la pêche. Rapport de synthèse d'expertise pour le PMEDP DFID-FAO (Sustainable Fisheries Livelihoods Programme in West Africa), 55 p.

MORAND P., KODIO A., 2004 – Indicators for Tropical Floodplain Fisheries. Case study on the Niger River in Mali. Poster at Symposium SCOR, March, 31st April 04.

MOREL M., KANE M., 1998 – Le lagunage à macrophytes, une technique permettant l'épuration des eaux usées pour son recyclage et multiples valorisations de la biomasse. *Sud Sciences et technologies*, 001 : 5-16.

MORON V., 1997 – Trend, decadal and interannual variability in annual rainfall of subequatorial and tropical north Africa (1900-1994). *International Journal of Climatology*, 17(8): 785-805.

MORTIMORE M.J., ADAMS W.M., 2001 – Farmer adaptation, change and 'crisis' in the Sahel. *Global Environmental Change*, 11(1): 49-57.

N'DIAYE K., 1998 – Étude environnementale de la zone de l'Office du Niger. Aspects liés à l'hydro-système et à la productivité de sols. Bamako, Ministère du Développement rural et de l'eau, 61 p.

NIARÉ T., 1994 – Croissance des poissons. In : Quensière J. (éd.) : La pêche dans le delta central du Niger : approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique. Paris, IER/Orstom, Karthala : 229-236.

NIARÉ T., KASSIBO B., LAZARD J., 2000 – What fish farming development model for Mali, where traditional inland fisheries thrive? *Cahiers Agricultures*, 9(3) : 173-179.

NICHOLSON S.E., KIM J., 1997 – The relationship of the El Niño-Southern Oscillation To African Rainfall. *International Journal of Climatology*, 17(2): 117-135.

NICHOLSON S.E., GRIST J.P., 2003 – The seasonal evolution of the atmospheric circulation over West Africa and Equatorial Africa. *Journal of climate,* 16(7): 1013-1030.

NING-ZENG J.D., 2003 – Drought in the Sahel. *Science*, 302(5647): 999-1000.

NING-ZENG J.D., NEELIN J.D., LAU K.M., TUCKER C.J., 1999 – Enhancement of interdecadal climate variability in the Sahel by vegetationinteraction. *Science,* 286(5444): 1537-1540.

OFFICE DU NIGER, 1998 – Étude environnementale. Financement Pays-Bas.

OFFICE DU NIGER, 2002 – *Bilan de campagne 2001-2002. Saison d'hivernage*. Office du Niger, Ségou (Mali), mai 2002, 92 p.

OIE (Organisation mondiale de la sante animale), 2003 – *Rapport annuel « Santé animale mondiale »*. Paris, 6 p.

OLIVRY J.C., BRICQUET J.P., BAMBA F. et DIARRA M., 1993 – « Le régime hydrologique du Niger supérieur et le déficit des deux dernières décennies ». *In* PEGI- INSU/Orstom. Colloque « Grands Bassins Fluviaux » 22, 23 et 24 novembre 1993. Paris, pp.251-266.

OLIVRY J.-C., DIALLO IAM M., BRICQUET J.-P., 1994 – Quelques données préliminaires sur l'environnement et la qualité des apports du Niger au Sahel. Bamako, Orstom, CNRST, 134 p.

OMOTOSHO J.B., BALOGUN A.A., OGUNJOBI K., 2000 – Predicting monthly and seasonal rainfall, onset and cessation of the rainyseason in West Africa using only surface data. *International journal of climatology*, 20(8): 865-880.

ORANGE D., 1992 – Hydroclimatologie du Fouta Djalon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique (Afrique de l'ouest). Thèse Géologie-géochimie, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 198 p.

ORANGE D., 1999. – Identification et cadrage du projet EIDES-DIN (Etude intégrée de la dynamique des processus écobiophysiques et socio-écologiques d'une zone humide tropicale : le Delta Intérieur du Niger. *Rapport GIHREX*, ER42, IRD, Bamako, 115 p

ORANGE D., 2002 – « Projet GIHREX : ambitions et acquis d'un projet de recherche pour le développement durable du delta intérieur du Niger ». *In* Orange D., *et al.* (éd.) : 953-967.

ORANGE D., ARFI R., KUPER M., MORAND P., PONCET Y. (éd.), TÉMÉ B. (préf.), 2002 – *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*, actes du séminaire international GIRN-ZIT, Bamako, 20-23 juin 2000. Paris, IRD, coll. Colloques et Séminaires : 995 p.

PAETH H., HENSE A., 2004 – SST versus climate change signals in west African rainfall: 20th-century variations and future projections. *Climatic change*, 65(1-2): 179-208.

PAGET L., 1999 – Intervention des itinéraires techniques des systèmes d'exploitation sur les flux de nutriments dans un écosystème tropical inondé. Mémoire DEA, INA-PG et IRD-ERMES, Université d'Orléans, 93 p.

PALANGIÉ A., 1998 – Origines et caractéristiques de la pollution des eaux de Bamako : une première approche pour la gestion et l'épuration. Mémoire DEA, Université d'Orléans, 83 p.

PALMER T.N., BRANKOVIC C., RIDCHARDSON D.S., 2000 – A probability and decision-model analysis of PROVOST seasonal multi-model ensemble integration. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 126(567): 2013-2033.

PICOUËT C., 1999 – Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropisé : le bassin supérieur du Niger et son delta intérieur. Thèse Sciences (Hydrologie-Hydrochimie), Université Montpellier, 454 p.

PICOUËT C., HINGRAY B., OLIVRY J.C., 2000 – Modélisation conceptuelle globale du régime du transport particulaire sur les fleuves tropicaux d'Afrique : application aux bassins du Niger supérieur et du Bani, Mali. *Revue des sciences de l'eau*, 13(4) : 463-481.

PICOUËT C., DUPRÉ B., ORANGE D., VALLADON M., 2002a – Major trace element geochemistry in the upper Niger river (Mali): physical and chemical weathering rates and CO2 consumption. *Chemical Geology*, 185: 93-124.

PICOUËT C., ORANGE D., MAHÉ G., OLIVRY J.C., 2002b – « Rôle du delta intérieur du fleuve Niger dans la régulation des bilans de l'eau et de sédiments ». *In* Orange D., *et al.* (éd.) : 245-258.

PIRL (Projet inventaire des ressources ligneuses), phase B, 1991 – *Synthèse régionale. Cercle de Niono*, 252 p.

PIRL, 1988 – *Les formations végétales au Mali ; rapport de synthèse, première phase.* Direction nationale des eaux et forêts, BDPA /SCET – AGRI, CTFT, 205 p.

PIRT (Projet inventaire des ressources terrestres), 1986 – *Zonage Agro-écologique du Mali*. Volume 1, 151 p.

PNUD, 1990 – *Synthèse hydrogéologique du Mali*. Rép. du Mali/PNUD-DTCD, Rapport du projet MLI/84/005, Sept.

PONCET Y., KUPER M., MULLON C., MORAND P., ORANGE D., 2001 – « Représenter l'espace pour structurer le temps : la modélisation intégrée du delta intérieur du Niger au Mali ». *In* Lardon S., Maurel P., Piveteau V. (éd.) : *Représentations spatiales et développement territorial*. Paris, Hermès : 143-163.

PRIMATURE/MALI : Code des marchés publics, décret n°95-401/P-RM

QUAN X.W., DIAZ H.F., FU C.B., 2003 – Interdecadal change in the Asia-Africa summer monsoon and its associated changes in global atmospheric circulation. *Global and Planetary Change*, 37(3-4): 171-188.

QUENSIÈRE J. (éd.), 1994 – La pêche dans le delta central du Niger : approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique. Paris, Orstom, Karthala, 1/2, 495 p.

QUENSIÈRE J., BÉNECH V., DANSOKO D., 1994 – « Évolution de la composition des peuplements de poissons ». *In* Quensière J. (éd.) : *La pêche dans le delta central du Niger : approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique*. Paris, Orstom, Karthala : 105-122.

RAICICH F., PINARDI N., NAVARRA A., 2003 – Teleconnections between Indian Monsoon and Sahel rainfall and the Mediterranean. *International journal of climatology*, 23(2): 173-186.

RAPPORTS SRCVO, 1982-1985 – *Commissions Techniques spécialisées*, Doc. AGP.

RAYNAUT C., 2001 – Societies and nature in the Sahel: ecological diversity and social dynamics. *Global Environmental Change,* 11(1): 9-18.

RÉPUBLIQUE DU MALI, 2002 – *Cadre stratégique de lutte contre la pauvreté (CSLP).* République du Mali, Bamako, 29 mai 2002, 94 p. + annexes

ROGEL P., MAISONNAVE E., 2003 – CERFACS, "Working Note".

SAMÉ-EKOBO A., FONDJO E., EOUZAN J.P. (éd.), 2001. Grands travaux et maladies à vecteurs au Cameroun : impact des aménagements ruraux et urbains sur le paludisme et autres maladies à vecteurs. Paris, IRD, 232 p.

SCULTHORPE C.D., 1967 – *The biology of aquatic vascular plants*. London, Edward Arnold., 610 p.

SEMAZZI F.H.M., SUN L., 1997 – The role of orography in determining the sahelian climate. *International journal of climatology*, 17(6): 581-596.

SHINODA M., OKATANI T., SALOUM M., 1999 – Diurnal variations of rainfall over niger in the West African Sahel: A comparison between wet and drought years. *International journal of climatology*, 19(1): 81-94.

SIMONOT M., WALRAEVS P., 1991 – SIGMA; un outil de gestion des ressources en eau du Mali. Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), *Hydrogéologie*, 1 : 35-44.

SOFRECO, 2003 – Étude d'une stratégie pour la réduction du coût des aménagements hydro-agricoles en maîtrise totale au Mali. Bamako, Programme national d'infrastructure Rurale/MAE, 98 p. + annexes.

SOGREAH/BCEOM/BETICO, 1999a – Étude du schéma directeur d'aménagement de la zone de l'Office du Niger – 1A – Diagnostic de la situation actuelle. Office du Niger, Ségou (Mali), septembre 1999, 128 p. + annexes et cartes.

SOGREAH/BCEOM/BETICO, 1999b – Rapport A 1.0. Rapport principal étape 1 : Diagnostic de la situation actuelle. Étude du schéma directeur de développement pour la zone Office du Niger. Office du Niger, Ségou (Mali), septembre 1999, 108 p. + annexes et cartes.

SOGREAH/BCEOM/BETICO, 1999c – Rapport A.1.2. – Morpho-pédologie. Diagnostic de la situation actuelle. Étude du schéma directeur de développement pour la zone Office du Niger. Office du Niger, Ségou (Mali), septembre 1999, 14 p.

SOGREAH/BCEOM/BETICO, 1999d – Rapport A.1.3. – Infrastructures hydrauliques. Étude du schéma directeur de développement pour la zone Office du Niger, phase 1 : diagnostic de la situation actuelle. Office du Niger, Ségou (Mali), septembre 1999, 71 p. + annexes et cartes.

SOGREAH/BCEOM/BETICO, 2000a – Rapport 1 phase 1B : Aménagement. Étude du schéma directeur de développement pour la zone Office du Niger. Office du Niger, Ségou (Mali), mai 2000, 44 p. + annexes et cartes.

SOGREAH/BCEOM/BETICO, 2000b – Rapport 2 phase 1B : Mise en valeur. Étude du schéma directeur de développement pour la zone Office du Niger. Office du Niger, Ségou (Mali), mai 2000, 42 p. + annexes.

SOGREAH/BCEOM/BETICO, 2000c – Rapport 4 phase 1B : Gestion foncière. Étude du schéma directeur de développement pour la zone Office du Niger. Office du Niger, Ségou (Mali), mai 2000, 66 p.

SOUMAGUEL A., 1995 – *Influence du barrage de Sélingué sur le régime hydrologique du Niger*. Niamey, Niger, Centre Régional Agrhymet, mémoire de fin d'études d'ingénieur en hydrologie.

SOURISSEAU J.-M., 2002 – « La pertinence du modèle paysan. Les risques d'une réorientation radicale des modes de mise en valeur ». *In* Bonneval P., Kuper M., Tonneau J.-P. (éd.) : *L'Office du Niger, grenier à riz du Mali. Succès*

économiques, transitions culturelles et politiques de développement. Paris, Montpellier, Karthala, Cirad : 233-237.

SOW O., 1997 – *Adaptation des technologies rustiques d'épuration des eaux au contexte du Mali. Cas de Bamako.* Université Libre de Bruxelles,Mémoire DESS en Urbanisme et Aménagement du Territoire.

SULTAN B., JANICOT S., 2003a – The West African monsoon dynamics. Part II: The "preonset" and "onset" of the summer monsoon. *Journal of climate*, 16(21): 3407-3427.

SULTAN B., JANICOT S., DIEDHIOU A., 2003b – The West African monsoon dynamics. Part I: Documentation of intraseasonal variability. *Journal of climate*, 16(21): 3389-3406.

TALL E. H. O., 1999 – Integrated development of the water sector – Mali's case. Water sector capacity building: concepts and instruments, Proceedings of the Second UNDP Symposium, Delft, Netherlands, 1996. 1999, 115 120, A A Balkema; Rotterdam; Netherlands.

TALL E. H. O., TRAORÉ M., GNOUMOU Y., BLOCH P., 2002 – *Étude sur la problématique foncière dans les périmètres irrigués au Mali*. Madison, University of Wisconsin-Madison, 82 p.

TECSULT, 1994 – Plan directeur d'assainissement de Bamako (1993-2003). Volume 1. Rapport principal, mai 1994.

TOURÉ S., 2004 – Gestion des crues du Niger supérieur. Communication donnée à l'occasion de la Journée Mondiale de l'Eau 2004 avec pour thème l'eau et les catastrophes. Direction nationale de l'hydraulique, Bamako.

TRAORÉ B., 2002 – *Rapport d'activités de janvier à décembre 2001, PCPS de Niono*. Niono (Mali), Projet centre de prestations de service (PCPS)/APCAM), 70 p.

TRAORÉ B., BOLI F., 2004 – Appui à la réflexion des OP rizicoles sur les coûts de revient, la qualité et la commercialisation du riz au Mali. Bamako, PRIAF/Réseau Riz au Mali/APCAM, 47 p.

TRAORÉ N.-G., COULIBALY A., 2001 – *Étude de faisabilité de l'introduction du riz dans le stock national de sécurité.* Bamako, Ministère de l'Économie et des Finances, Programme de restructuration du marché céréalier, 61 p.

TREBUIL G., HOSSAIN M., 2004 – *Le riz.* Paris, Belin, 265 p.

TURNER M., 1992 – Living on the Edge: Fulbe Herding Practices and the Relationship between Economy and Ecology in the Inland Niger delta of Mali. Berkeley (USA), D. Phil. Dissertation, 468 p.

VIZY E.K., COOK K.H., 2001 – Mechanisms by which Gulf of Guinea and eastern North Atlantic sea surface temperature anomalies can influence African rainfall. *Journal of climate*, 14(5): 795-821.

WARD M.-N., 1998 – Diagnosis and Short-Lead Time Prediction of Summer Rainfall in Tropical North Africa at Interannual and Multidecadal Timescales. *Journal of Climate*, 11(12): 3167-3191.

WARD M.N., LAMB P.J, EL HAMLY M., SEBBARI R., PORTIS D.H., 1999 – "Climate variability in Northern Africa: understanding droughts in the Sahel and the Maghreb". *In* Navarra A. (ed.): *Beyond El Niño: Decadal Variability in the Climate System*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York : 119-140.

WCD, 2000 – Dams and development. A new framework for decision-making. The report of the World Commission on Dams. Earthscan Publications LTD, London and Sterling, VA., 404 p.

WELCOMME R.-L., 1979 – *The fisheries ecology of floodplain rivers*. London, Longman, 317 p.

WELCOMME R.-L., 1989 – « Review of the present state of knowledge of fish stocks and fisheries of African rivers ». *In* International Large River Symposium: 515-532.

WELCOMME R.-L., 1999 – A review of a model for qualitative evaluation of exploitation levels in multispecies fisheries. *Journal of Fisheries Management and Ecology*, 6: 1-19.

WELCOMME R.-L., HALLS A., 2002 – « Dependence of river fisheries on river flow ». *In* Proceedings of the Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries: Sustaining Livelihoods and Biodiversity for the New Millennium, Phnom Penh, Cambodge, 11-14 février 2003 : 19 p.

WETLANDS INTERNATIONAL, 1999 – P.V. de l'Atelier sur la conservation de la biodiversité des poisons en Afrique de l'Ouest, région de Mopti, Mopti, 24-27 août 1999.

WETLANDS INTERNATIONAL, 2003 – Bulletin d'information. Numéro 6. Mars 2003.

WILLEBRAND J., 1998 – "Decadal variability in the ocean-atmosphere system". International WMO/IOC/ICSU Conference on the WCRP Climate Variability and predictability study (CLIVAR), UNESCO, Paris, December 1998.

WILSON D.E., REEDER D.M. (eds), 1993 – *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference*. Smithsonian Institution Press, Washington and London.

WILSON R.T., DE LEEUW ET DE HAAN (éd.), 1983 – *Recherches sur les systèmes des zones arides du Mali : résultats préliminaires*. CIPEA, rapport de recherche n°5, Addis Abeba, Ethiopie, 189 p.

WOPEREIS M.C.S., DONOVAN C., NEBIÉ B., GUINDO D., N'DIAYE M.K., 1999 – Soil fertility management in irrigated rice systems in the Sahel and Savanna regions of West Africa. Part I. Agronomic analysis. *Field Crops Research*, 61(2): 125-145.

WORLD BANK, 2004 – Project appraisal document. *Report n° 26675*. On a proposed grant from the global environment facility trust fund in the amount of us$6.0 million to the niger basin authority (nba) for the reversing land and water degradation trends in the niger river basin. world bank, 112 p.

WYMENGA E., KONÉ B., VAN DER KAMP J., ZWARTS L., 2002 – *Delta intérieur du Niger, écologie et gestion durable des ressources naturelles.* Mali-pin publication 2002-01, Wetlands International, Sévaré/RIZA, Rijkswaterstaat, Lelystad/Alternburg, Wymenga conseilelrs écologiques, Veenwouden, 240 p.

XINYU ZHENG E.A.B., ELTAHIR E.A.B., 1998 – The role of vegetation in the dynamics of West African monsoons. *Journal of climate*, 11(8): 2078-2096.

XUE Y., 1997 – Biosphere feedback on regional climate in tropical North Africa. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 123(542): 1483-1515.

XUE Y., HUTJES R.W.A., HARDING R.J., CLAUSSEN M., PRINCE S.D., LEBEL T., LAMBIN E. F., ALLEN S.J., DIRMEYER P.A., OKI T., 2004 – « The Sahelian climate ». In: *Vegetation, Water, Humans and the Climate: A New Perspective on an Interactive System*. Springer Verlag : 59-78.

YAYA I., 1995 – Colloque sur la sauvegarde du fleuve Niger, Rapport général introductif. ABN, Niamey.

ZALLÉ D., MAÏGA O., 2002 – « Zones inondables en milieu urbain : conflits fonciers et concurrences pour l'espace maraîcher à Bamako (Mali) ». *In* Orange D., *et al.* (éd.) : 49-59.

ZASLAVSKY J., DUCROT R., MAGASSA H., 1999 – *Évaluation du projet de valorisation des ressources en eaux de surface en 5ème Région du Mali* – Projet VRES phase 2. Texte Principal. CIRAD-TERA, Montpellier 1999, 139 p

ZUPPI G.M., SACCHI E., 2004 – Hydrogeology as a climate recorder: Sahara-Sahel (North Africa) and the Po Plain (Northern Italy). *Global and Planetary Change*, 40(1-2): 79-91.

La collection « Expertise collégiale » propose des ouvrages destinés à aider les acteurs du développement dans leurs choix stratégiques. Chaque volume est rédigé par un groupe de chercheurs qui rassemble et synthétise les analyses scientifiques utiles pour répondre à des questions opérationnelles liées au développement des pays du Sud. (partie analytique jointe sur CD-ROM)

Le fleuve Niger constitue un véritable poumon humide pour l'Afrique de l'Ouest et plus spécialement pour la république du Mali. Dans ce pays, la gestion du fleuve constitue un enjeu majeur car on y trouve à la fois de remarquables systèmes de production traditionnels associés au phénomène naturel de crue – sources de moyens d'existence pour des centaines de milliers de personnes — mais aussi de grandes réalisations et promesses en matière d'aménagements modernes, hydroélectriques et hydroagricoles. À l'heure où de nouveaux projets d'équipement arrivent à concrétisation et où d'autres sont annoncés, il est important de faire le point sur l'état de santé de ce fleuve et de peser ce qu'il représente pour ses multiples usagers.

Cette expertise collégiale, conduite par l'IRD et l'IER et réalisée avec le soutien de plusieurs institutions d'aide au développement et de défense de l'environnement, traite de ces différents aspects avec pour objectif, d'une part, la clarification des cadres institutionnels et des options de politiques publiques et, d'autre part, le renforcement des outils de suivi et d'aide à la décision.

Niger river is truly the main source of life for Western Africa, more specifically for the Republic of Mali. In the country, management of the river is a key topic, as one can find at the same time, remarkable traditionnal production systems associated to the floods which supply hundreds thousands of people – but also great projects which promise modern installations, hydroelectrical and hydroagricultural systems. As new projets come to their end and others begin, it seems important to make a point regarding the health of the river and to evaluate what it represents for its diverse users, civil society or for the economy of Mali. This is the aim of this expert group review, acknowledged by the IRD and the IER, with the support of different development and nature protection institutes.

Complementarities as well as oppositions that appear from the interactions between the river's users are described. For the responsibles in charge of those problems, different recommandations are made, aiming on one hand to clarify institutional frames and policy options, and on the other hand to reinforce management and decision making tools.

15 €

ISSN 1633-9924 / ISBN : 978-2-7099-1632-5

IRD
Institut de recherche pour le développement

IER
Institut d'économie rurale (Mali)

Fonds européen de développement

gtz
Coopération technique allemande pour le développement

UICN
Union mondiale pour la nature

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉTRANGÈRES ET EUROPÉENNES

IRD : 213, rue La Fayette -75480 Paris cedex 10
editions@paris.ird.fr www.editions.ird.fr

Diffusion : IRD, 32, avenue Henri-Varagnat - 93143 Bondy cedex
fax : 01 48 02 79 09 courriel : diffusion@bondy.ird.fr

9 782709 916325