

# 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), Quensièrre *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<sup>2</sup>. 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<sup>2</sup>) 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 grande 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<sup>2</sup> 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 défluentés 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 Douana 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 km<sup>2</sup>. Sa partie extrême sud qui s'étend de Ké-Macina et de Douana 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 km<sup>2</sup>. 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 défluentés dont le principal, le Diaka, drainent cette zone en convergeant vers les lacs centraux, zones de dépôts alluviaux et sablo-argileux (Picouët, 1999).

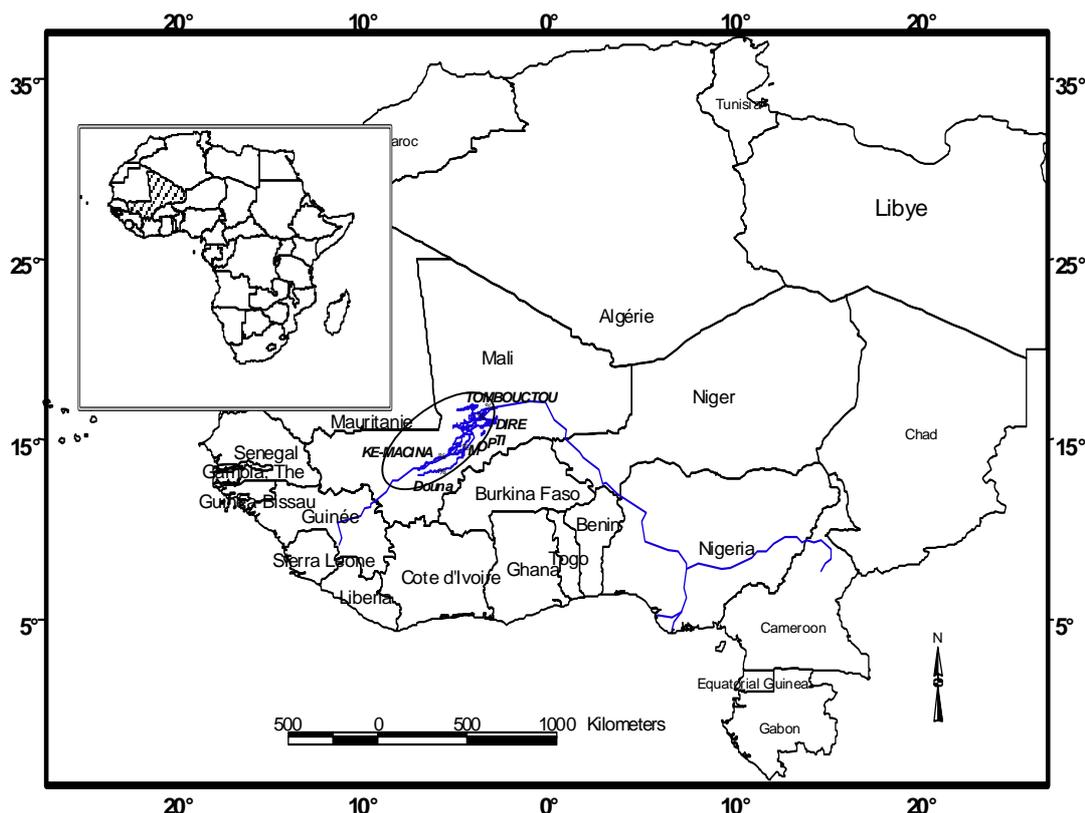


Figure 1 - Situation géographique du delta intérieur du Niger au Mali

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<sup>2</sup> qu'on ne doit pas confondre avec les surfaces inondables du delta aval qui atteint en moyenne 10 000 km<sup>2</sup> (Mahé *et al.*, 2002).

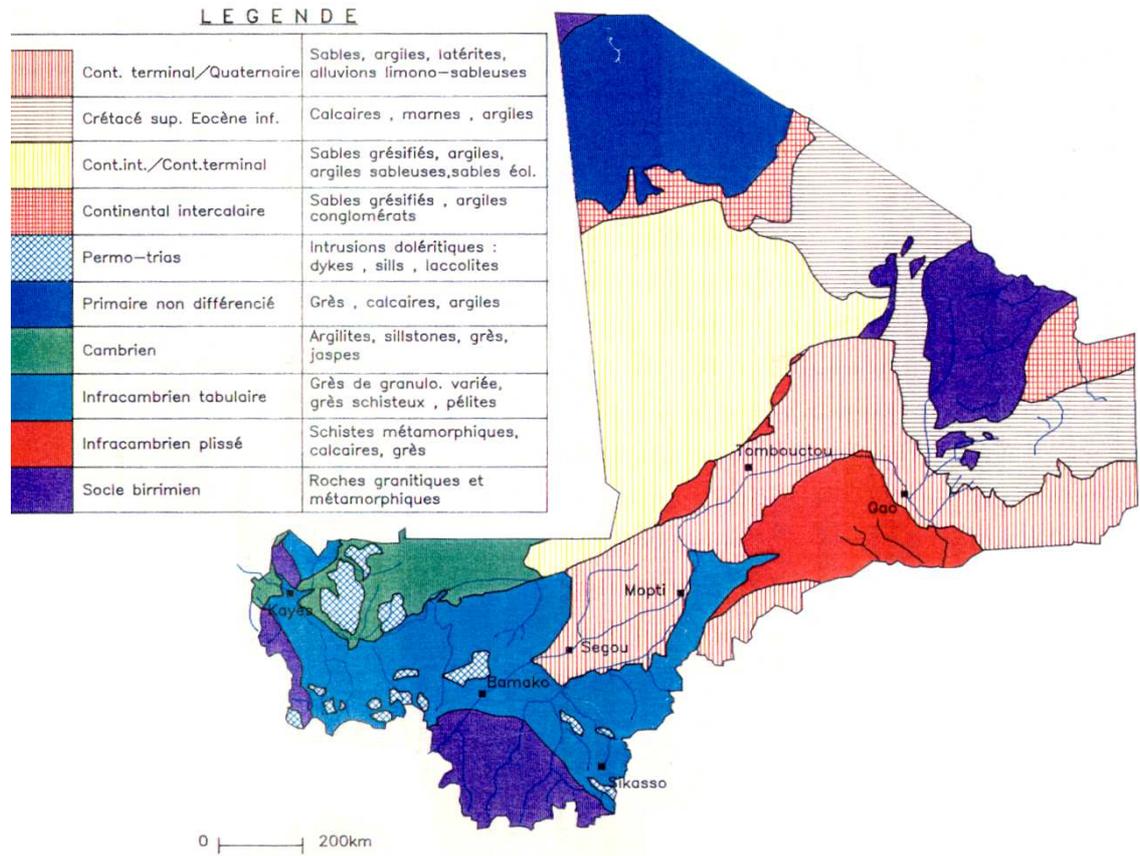
## Cadre géologique

### **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 réparties 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'orogénèse 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 fracturations 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*

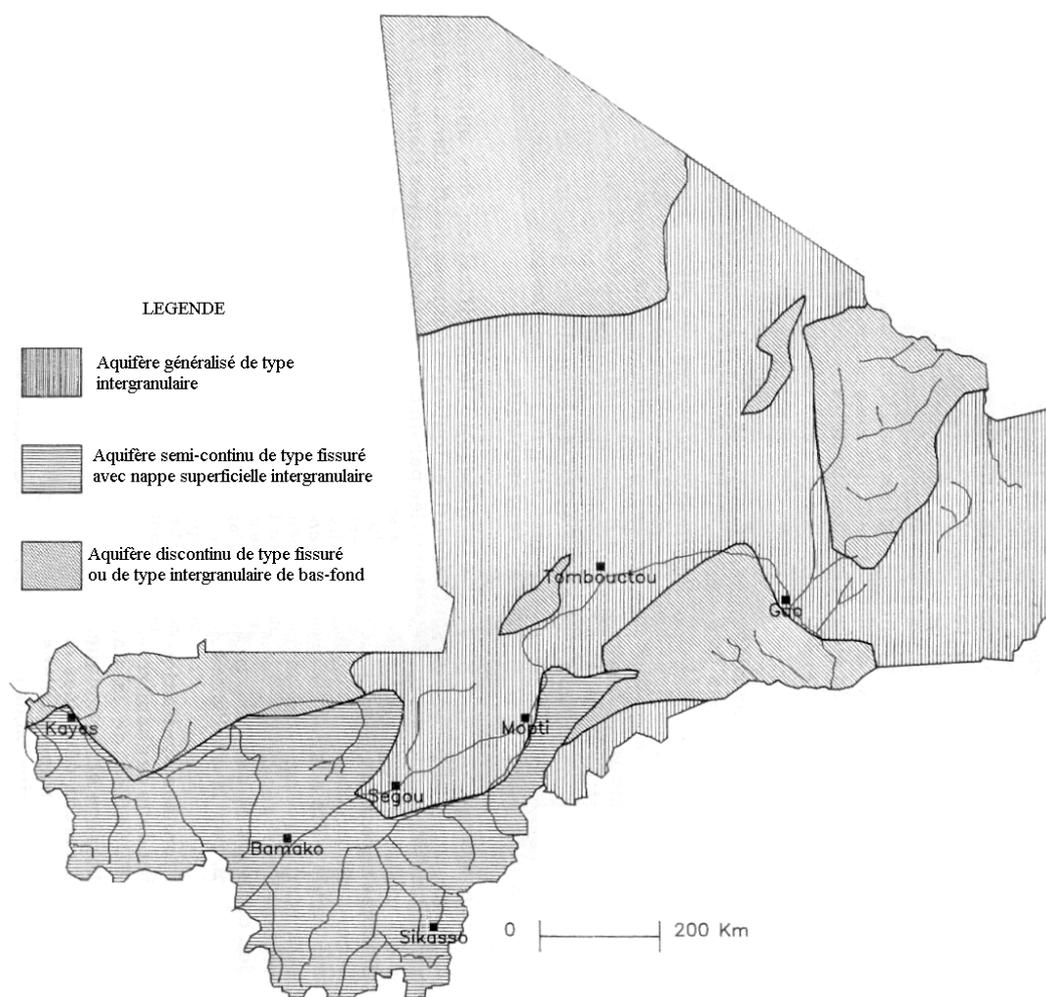
Les formations hydrogéologiques du Mali se distinguent selon le type de gisement en deux catégories : les formations à porosité primaire (aquifères de type généralisé) et les formations à porosité secondaire (aquifères de type fissuré). La compilation des données recueillies dans le cadre des projets 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<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (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<sup>2</sup> 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  $7,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  avec 21 % de forages débitant plus de  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Dans le secteur central du delta, de nombreux forages ont une capacité supérieure à  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  et plusieurs forages ont fourni, durant leur développement, des débits supérieurs à  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

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***

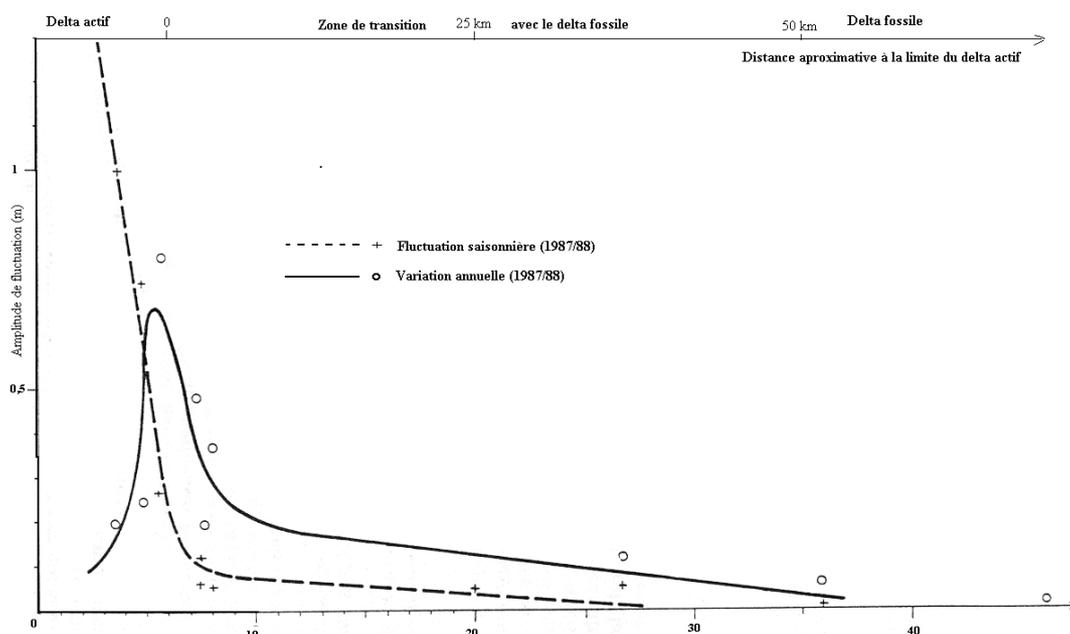
L'étude des données piézométriques recueillies au travers du delta intérieur durant l'année 1987-88 (PNUD, 1990) a permis de mettre en évidence un lien entre la recharge des nappes souterraines et les eaux d'inondation. La montée des nappes assujettie tout d'abord aux apports pluviométriques, puis aux 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'étalement de crue du fleuve Niger. La recharge principale

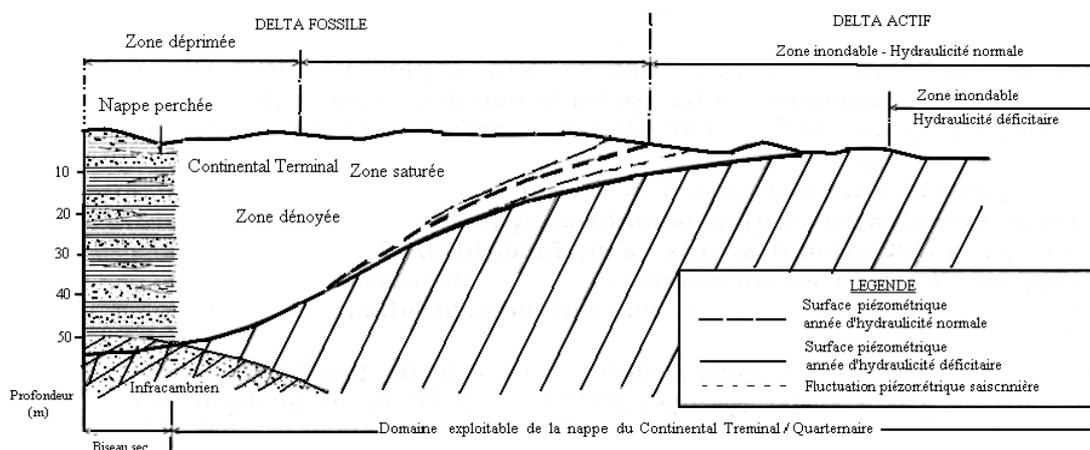
apparaît liée à la percolation des eaux de surface, la remontée s'amorçant toutefois vers le milieu de l'hivernage grâce à l'infiltration directe de la pluie.

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 Douana (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.

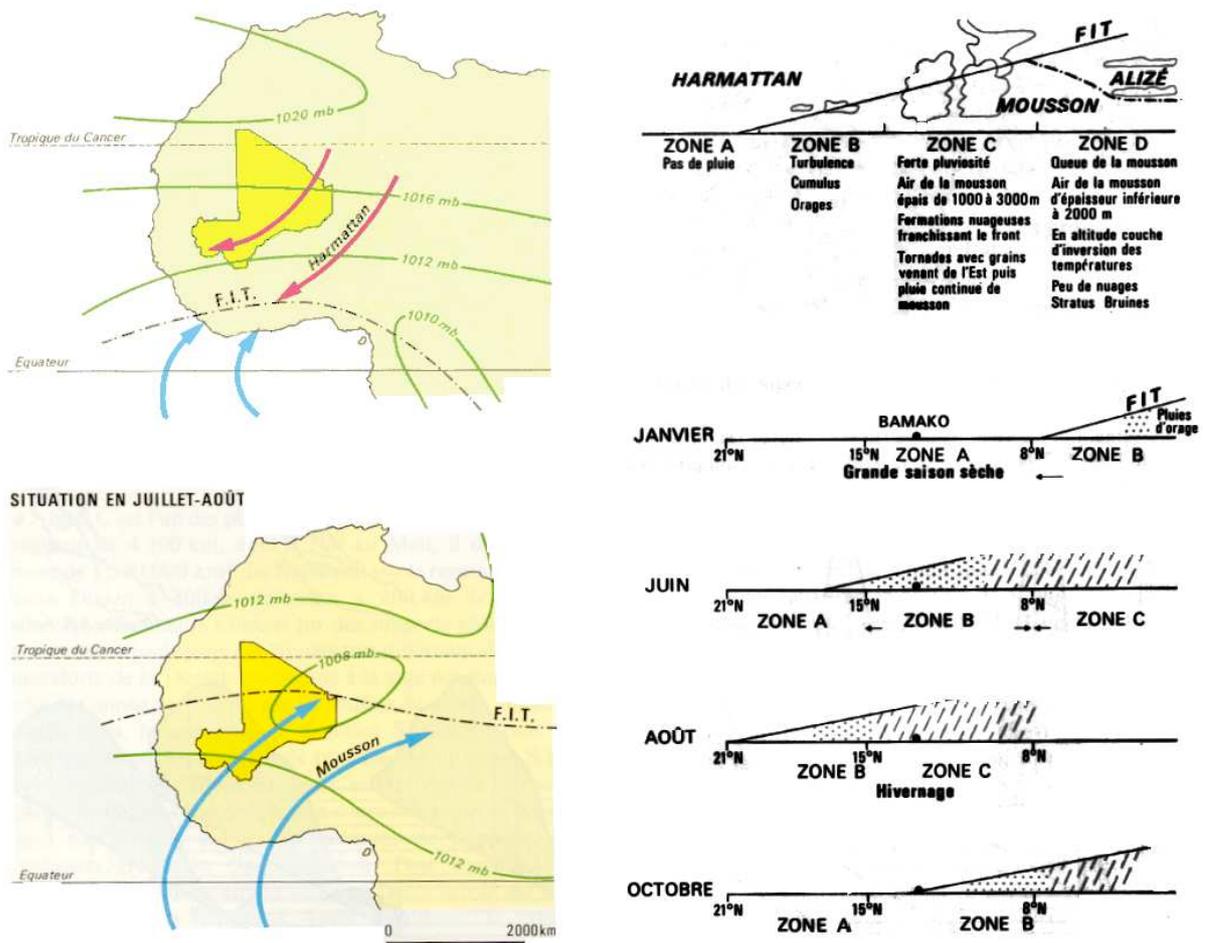
### *Cadre climatique*

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'Hôte *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, « 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 (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 m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>		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 <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	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 Labezanga.				

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<sup>1</sup>.

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 :

<sup>1</sup> 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.

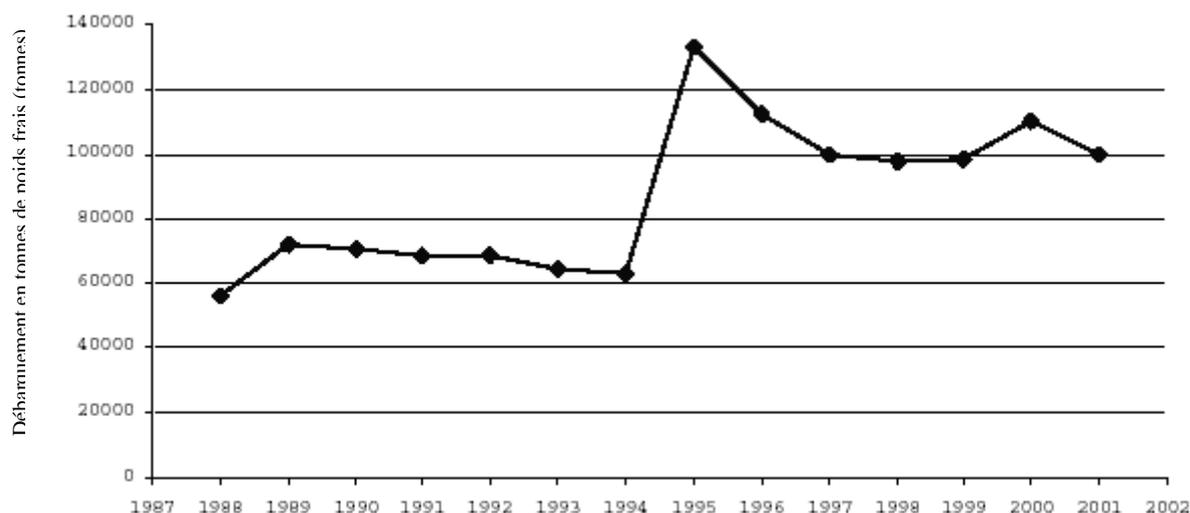
Si la première catégorie conduit à l'identification de contraintes absolues (car sans poisson, il n'est pas de pêche possible !), la seconde est relative à l'état actuel des choses puisque les capacités des pêcheurs ne sont évidemment pas fixées de façon immuable.

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<sup>2</sup>.

- 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

<sup>2</sup> 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<sup>3</sup>. 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 fabricants et les commerçants de farines, les fabricants 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*<sup>4</sup>. 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<sup>2</sup> 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<sup>5</sup> 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 Quensièrre, 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 précède 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<sup>6</sup>. 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/décru).

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.

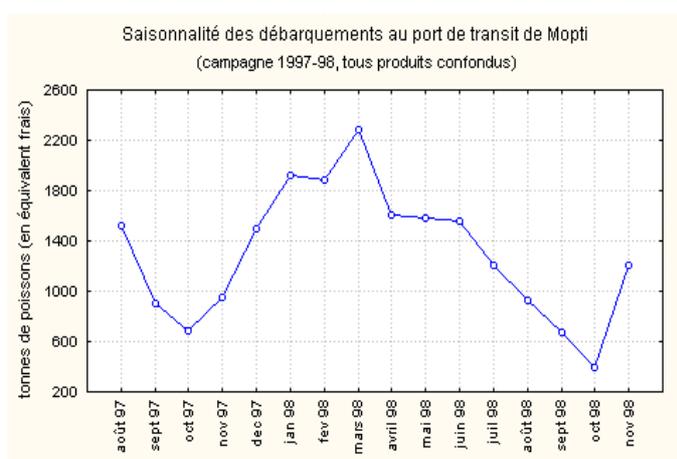
Il faut rappeler ici que les espèces de poissons du bassin du fleuve Niger appartiennent, du point de vue biogéographique, à la province dite nilo-soudanienne (Lévêque et Paugy, 1999). De par cet ancrage qui traduit aussi leur origine, ces espèces sont thermophiles, ce qui signifie qu'elles n'apprécient 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<sup>7</sup>. 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

---

<sup>7</sup> 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).

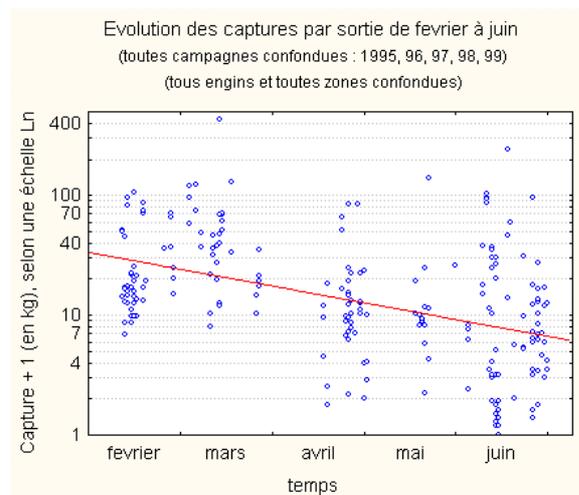
sont dans leur première année) vont, malgré l’environnement devenu défavorable et malgré la prédation (exercée sur eux par les gros poissons, par les oiseaux et par la pêche), parvenir à survivre jusqu’à la crue suivante. Ils participeront alors aux bataillons de reproducteurs qui engendreront la prochaine génération au côté des rares gros individus âgés de deux ans et plus<sup>8</sup>.

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 minimum 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.**

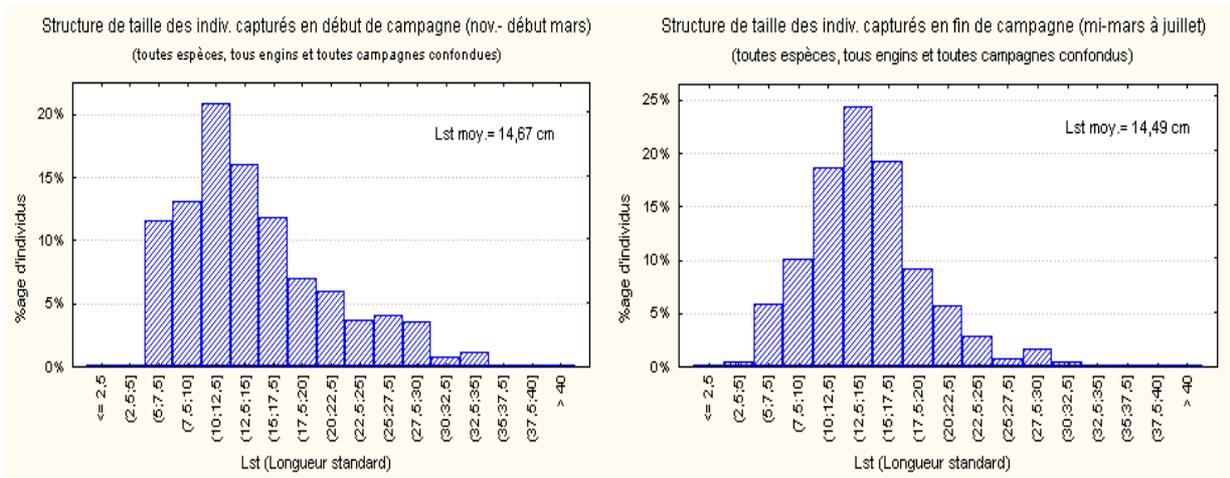


Source : Kodio *et al.*, 2002.

**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).

<sup>8</sup> 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.

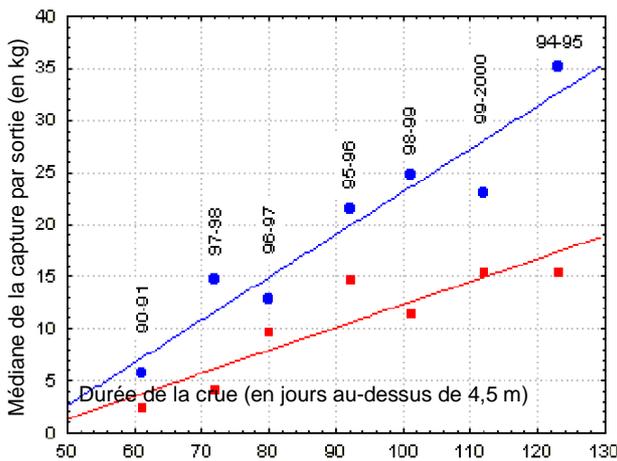


Source : Observatoire de la pêche IER-IRD-OPM

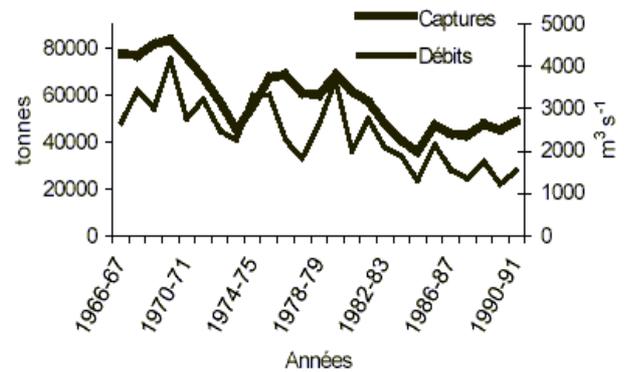
**Figure 11 - Structures de taille des poissons capturés en début et fin de campagne de pêche : les modes sont situés dans la gamme 10 à 12,5 cm ou 12,5 à 15 cm, ce qui montre que les poissons capturés sont majoritairement très jeunes.**

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 dégradation des années. Si bien que l'on peut considérer que les populations n'est pas entamée, jusqu'à présent, de 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 interannuelle 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<sup>9</sup> ». 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<sup>10</sup>.

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<sup>11</sup>. 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

---

<sup>11</sup> 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***

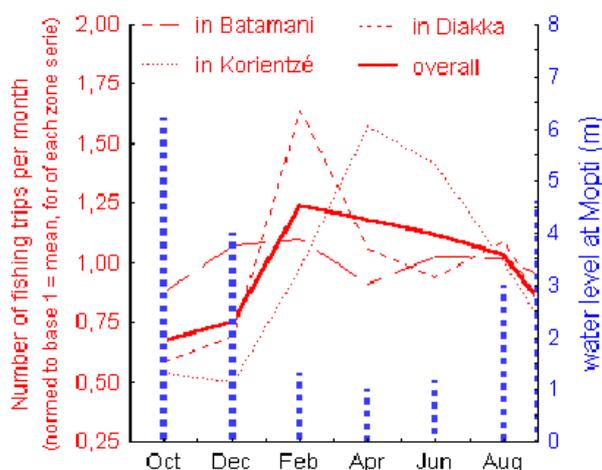
La rentabilité de l'activité de pêche est certes basée sur l'abondance du poisson, mais elle nécessite aussi certaines conditions favorables pour pouvoir être déployée de façon efficace et à moindre coûts.

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 :

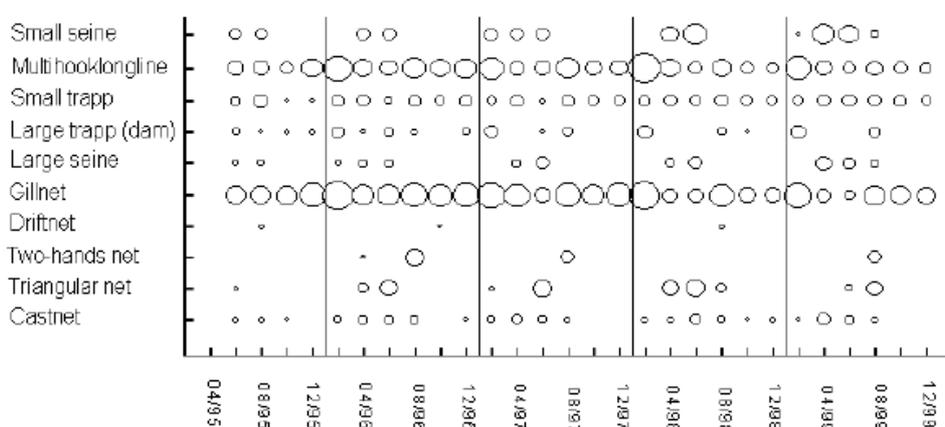
Pendant la décrue, les pêcheurs mettent à profit le déplacement des poissons dans l'eau encore abondante. Ils utilisent par conséquent :

- 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 migrants 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<sup>12</sup>. 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<sup>13</sup>) 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<sup>2</sup> (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 XV<sup>e</sup> siècle mais restent des pasteurs nomades. C'est au début du XIX<sup>e</sup> siècle<sup>14</sup> (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<sup>2</sup> et un gîte pour 16 km<sup>2</sup>. 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 marqué 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.

<b>Cercles</b>	<b>Nombre de points d'entrée dans le cercle</b>
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 régleme 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<sup>15</sup>, 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

---

<sup>15</sup> 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<sup>2</sup> en 1976 à 22 hab/km<sup>2</sup> 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<sup>16</sup> 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<sup>2</sup>.

SIGLES	Dénomination de l'association végétale
AC	Eragrostaie haute à <i>Eragrostis barteri</i> et <i>Andropogon canaliculatus</i>
AG	Savane à <i>Andropogon gayanus</i> des replats sablonneux
B	Bourgoutière à <i>Echinochloa stagnina</i>
BP	Bourgoutière basse à <i>Vossia cuspidata</i>
EOR	Eragrostaie basse à <i>Eragrostis barteri</i> et <i>Oryza longistaminata</i>
ESP	Eragrostaie à <i>Eragrostis barteri</i> et <i>Setaria anceps</i>
MB *	Mosaïque des berges
O	Orizaie haute à <i>Oryza longistaminata</i> et <i>Setaria anceps</i>
OP	Orizaie basse à <i>Oryza longistaminata</i> et <i>Eleocharis dulcis</i>
P	Panicaie à <i>Panicum anabaptistum</i>
PAK	Plaine à <i>Acacia kirkii</i>
PAM	Plaine basse et chenal à <i>Myragyna inernis</i>
PAN	Acacière des basses plaines à <i>Acacia nilotica</i>
PAR	Plaine à <i>Acacia raddiana</i> et <i>Calotropis</i> , lande à <i>Indigofera</i> des lacs sahéliens
PAS	Acacière des hautes plaines à <i>Acacia seyal</i>
R	Rizière des casiers de l'Office du Niger et des Opérations Riz
TA	Savane arbustive des « toguerres » à <i>Andropogon gayanus</i> et <i>Piliostigma reticulatum</i>
TB	Palmeraie à <i>Borassus aethiopum</i>
TC	Végétation anthropique des « toguerres » à <i>Celtis integrifolia</i> et <i>Borassus aethiopum</i>
TD	Fourré arbustif des « toguerres » à <i>Diospyros mespilliformis</i>
THY	Palmeraie à <i>Hyphaene thebaica</i>
TS	Savane arbustive des « toguerres » à <i>Acacia sieberiana</i> et <i>Acacia seyal</i>
TT	Savane arborée des « toguerres » à <i>Terminalia macroptera</i>
VB	Vétiveraie très basse
VH	Vétiveraie haute
VOR	Vétiveraie basse
VSP	Vétiveraie moyenne, savane à <i>Hyparrhenia ruffa</i>
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 défluent.

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 vétiveraie très profonde à *Acacia kirkii*. B, bourgoutière à *Echinochloa stagnina*, VB vétiveraie 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 vétiveraie VOR ainsi que par les casiers rizicoles de l'Office du Niger de Ké-Macina. VSP et ESP, les vétiveraies 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 par une panicaie P et une vétiveraie 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 défluent. Elle représente toujours un fort gradient de submersion allant du niveau 6 au niveau 2.

Le regroupement de ces associations en grandes familles (andropogonaias, éragrostaies...) 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 <i>mitragina</i>	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 herbues 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 paléarctiques. 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 paléarctiques. 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).

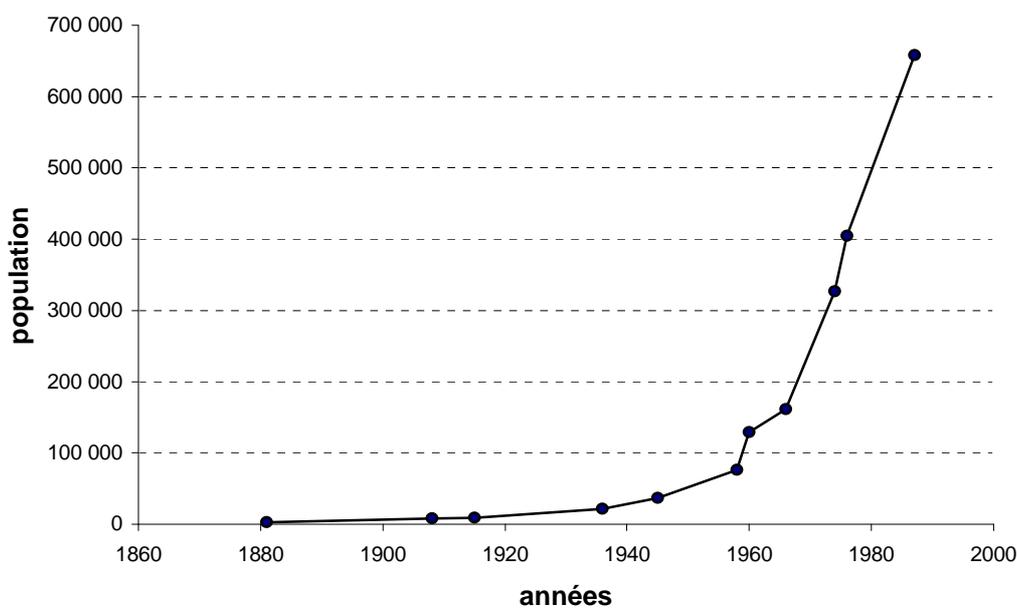
#### **Bamako et le contexte soudano-africain du Mali**

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 (Bonney, 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 (Bonney, 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<sub>5</sub>, la DCO, les MES et les métaux lourds. Cependant, toutes les teneurs en DBO<sub>5</sub>, 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<sub>5</sub>, 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<sub>5</sub> 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<sub>5</sub> est présente sous forme particulaire, soit 34 % en phase dissoute (Dégremont, 1978).

Paramètre	Valeur requise par la norme <sup>17</sup>	Station 3		Station 4		Station 7		Station 8		Station 10	
		Pluie	Temps sec	Pluie	Temps sec						
DBO <sub>5</sub> (mg.l <sup>-1</sup> )	30	500	60	40	80	255	140	20	100	30	40
DCO (mg.l <sup>-1</sup> )	125	500	196	219	133	255	162	315	181	96	101
Nitrates (mg.l <sup>-1</sup> )	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 <sup>-1</sup> )	35	284	41,3	318	20	452	131	253	113	323	60
Chrome (mg.l <sup>-1</sup> )	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 <sup>-1</sup> )	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 <sup>-1</sup> )	5	1,29	3,82	1,32	2,49	1,7	8,21	0,79	1,25	0,95	5
Manganèse (mg.l <sup>-1</sup> )	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<sub>5</sub>, 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  $62 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pour une période de récurrence de 10 ans. La capacité auto-épuratoire du fleuve permet donc le rejet de  $0,124 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  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 marâchères, 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 interdit *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 inmanquablement à une rupture caractérisée par une dégradation de l'environnement qui exposera les citoyens 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<sub>5</sub>, 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.

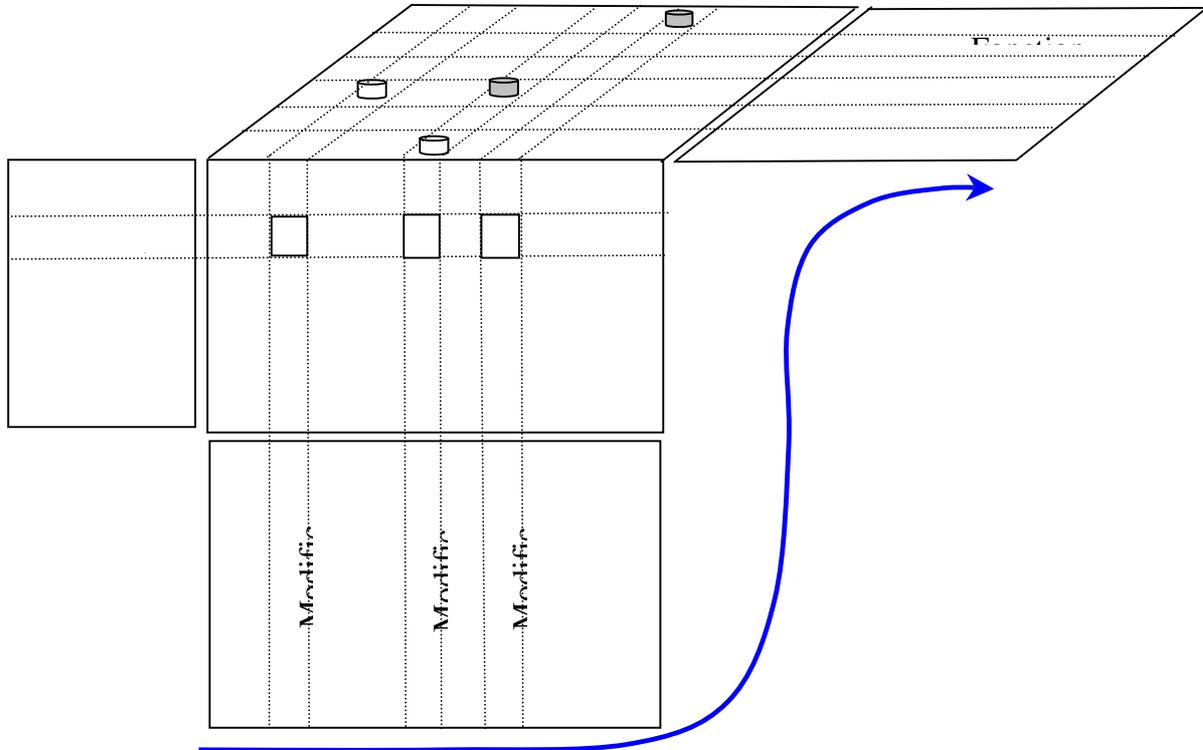
## **Analyse croisée des besoins et des impacts. Mise en évidence des problèmes**

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 <sup>2</sup> )	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<sup>2</sup> pour un volume d'eau stocké d'environ 20 milliards de m<sup>3</sup>. Pour une crue de 6 m, la surface inondée n'est plus que de 12 300 km<sup>2</sup>, 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<sup>2</sup> 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).

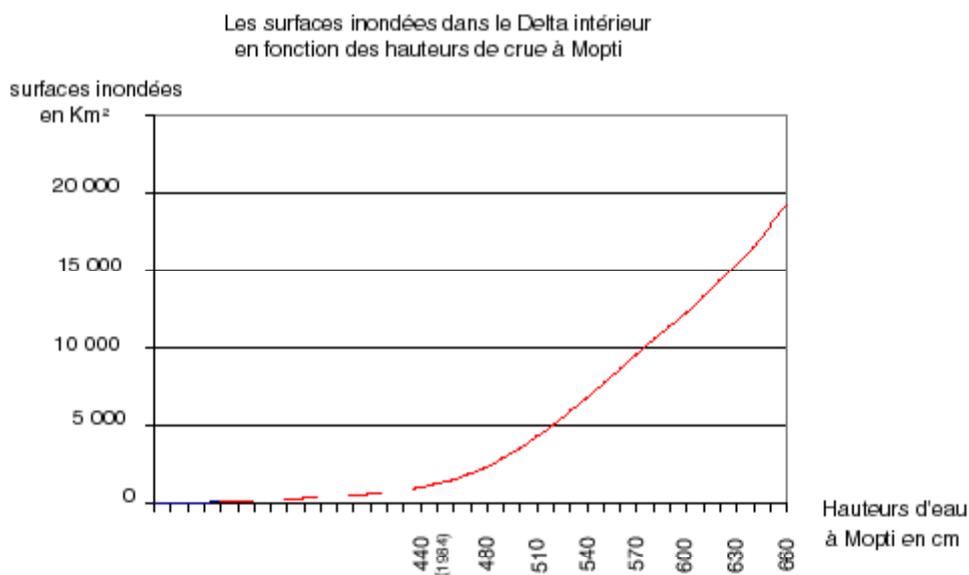


Figure 18 - Les surfaces inondées dans le delta en fonction des hauteurs de crue à Mopti

#### ***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 panicai (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 andropogoniaies (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 poursuivies 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<sup>2</sup> 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 15 000 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 une forte diminution de la biodiversité. En effet, ces associations sont les seules à inclure des espèces végétales comme *Acacia 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<sup>3</sup>) 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<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en moins, à Ké-Macina<sup>18</sup>. 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<sup>2</sup> 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<sup>19</sup>.

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 m<sup>3</sup> (le volume de Sélingué) en 6 semaines nécessite de prélever 514 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

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 aval 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 remarquer 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<sup>20</sup>.

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<sup>21</sup>. 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'aménée 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 détritux 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'un 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 : aménagement 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  $3\,000\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  à moins de  $30\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ . 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  $20\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  en 1943, 1944, 1945, 1947, 1948 et 1950. En 1975-76, les débits ont chuté à  $3\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  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 <sup>3</sup> /an	5,7 km <sup>3</sup> /an
Sotuba	Niger	0,21 km <sup>3</sup> /an	0,22 km <sup>3</sup> /an
Sélingué	Sankarani	0,023 km <sup>3</sup> /an	0,1 km <sup>3</sup> /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<sup>3</sup>.

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<sup>3</sup>. s<sup>-1</sup> ;
- 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<sup>3</sup> et sa surface à 430 km<sup>2</sup>.

#### *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<sup>3</sup>) 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  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  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  $\text{m}^3$ , est petit par rapport à l'apport moyen annuel de 46 milliards de  $\text{m}^3$  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<sup>3</sup> 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 cultureux 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 <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> 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 <sup>3</sup> /an
Office pour le Développement Rural de Sélingué	1 500	Riz, maraîchage, maïs, tabac	Prise d'eau de 3 m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>

**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<sup>3</sup>, 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<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> 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  $75 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  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  $\text{m}^3/\text{an}$  ;
- 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.

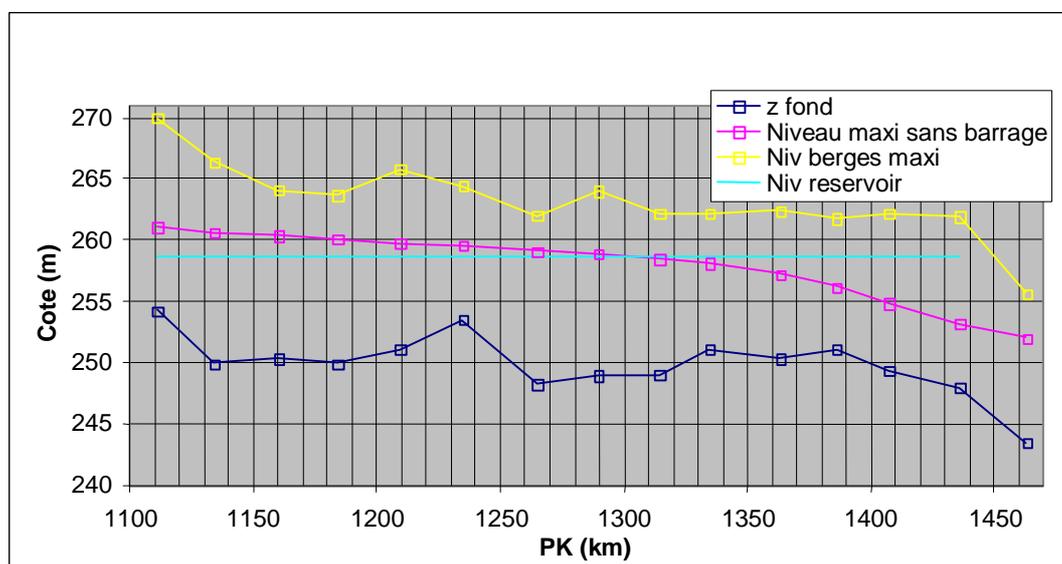


Figure 19 - Profil en long du fleuve Niger de Korioumé à Bourem

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.

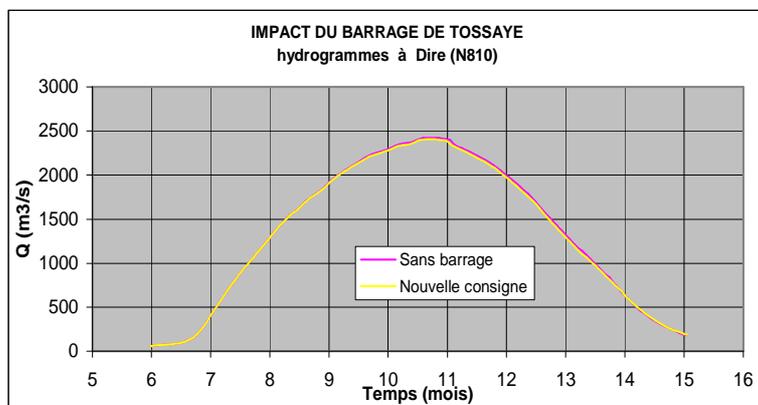


Figure 20  
Hydrogrammes à Diré

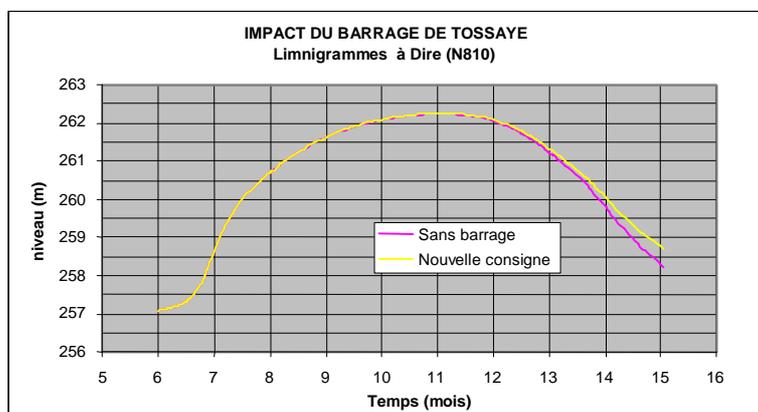


Figure 21  
Limnigrammes à Diré

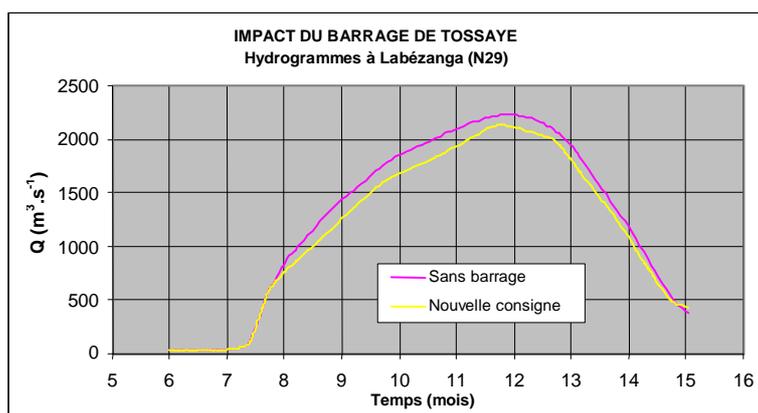


Figure 22  
Hydrogrammes à Labézanga

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  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  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  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- 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  $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- 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  $5 \text{ à } 10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- le volume stocké au moment du déversement est estimé à 152 Millions de  $\text{m}^3$ .

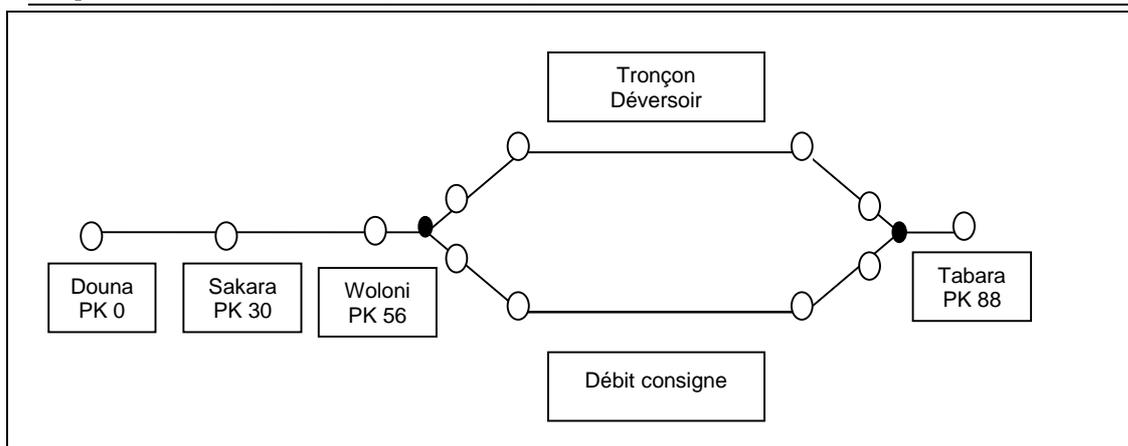


Figure 23 - Schéma d'implantation du projet de Talo

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).

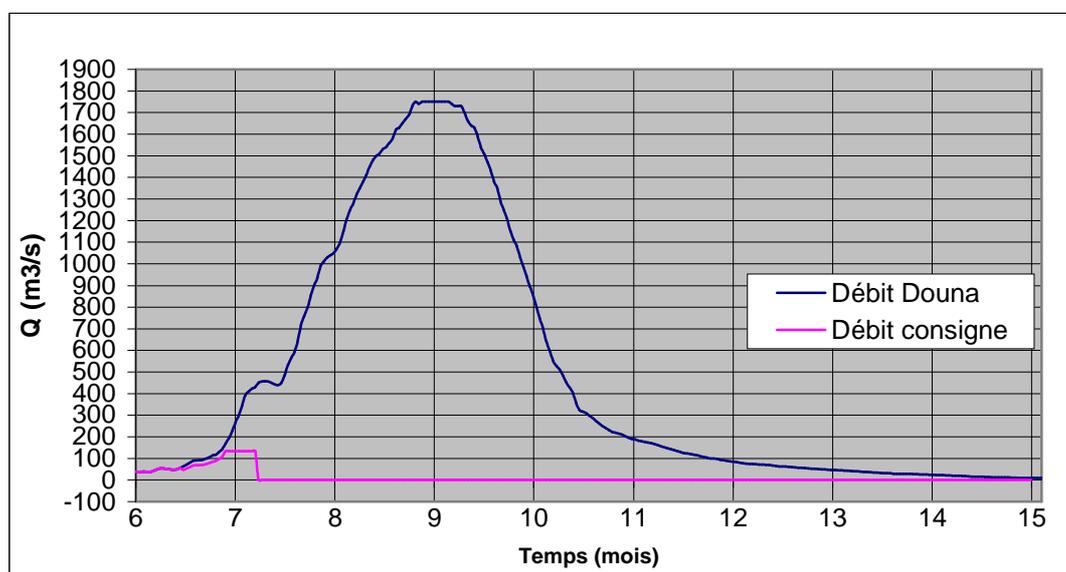


Figure 24 - Débit de consigne modélisant le fonctionnement des vannes du barrage de Talo

Cet hydrogramme consigne respecte les caractéristiques suivantes de l'ouvrage :

- il est identique à celui de Douna tant qu'il est inférieur à  $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- ensuite, les vannes laissent passer 75 % du débit de Douna jusqu'au maximum d'ouverture des vannes correspondant à  $150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  ;
- Le débit retenu remplit 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<sup>2</sup> 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.

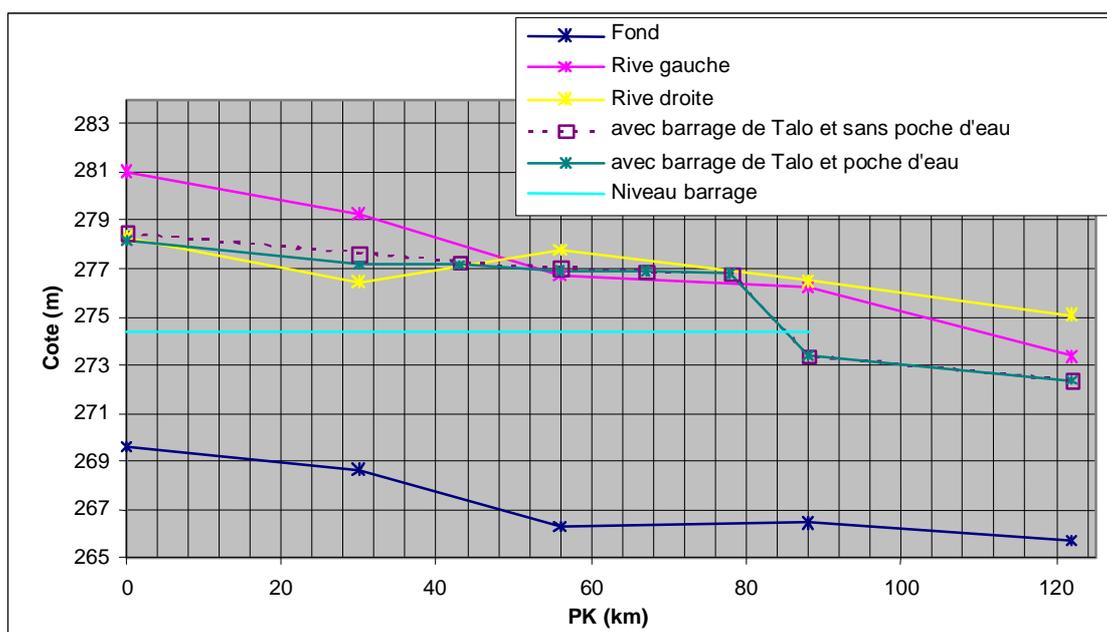
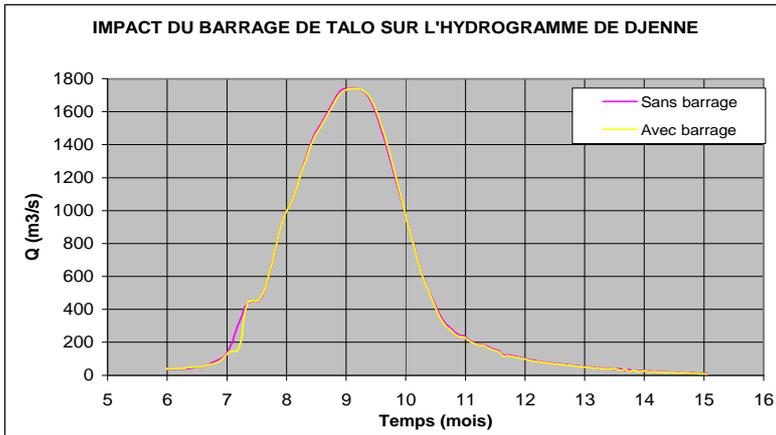


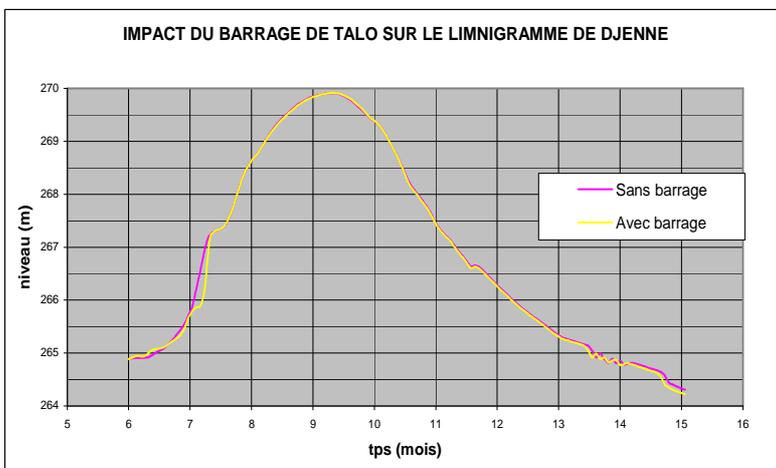
Figure 25 - Profil en long du Bani en amont de Talo

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.

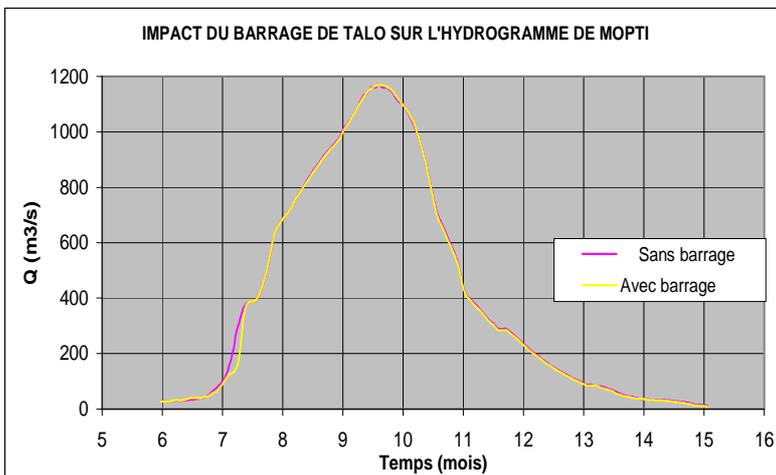
L'impact à Djenné est représenté par les figures 26 et 27, celui à Mopti par les figures 28 et 29.



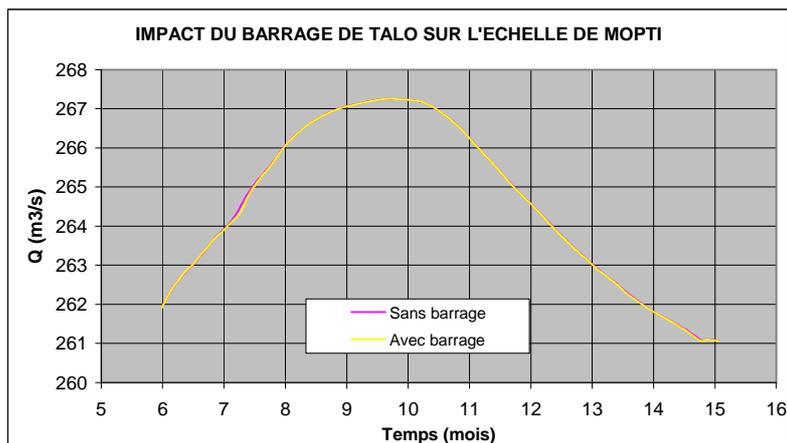
**Figure 26**  
Impact du barrage sur  
l'hydrogramme de Djenné



**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'échelle 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<sup>2</sup>, soit 15 000 ha, surface sensiblement inférieure aux 24 000 ha du projet.

#### *Le projet de Djenné*

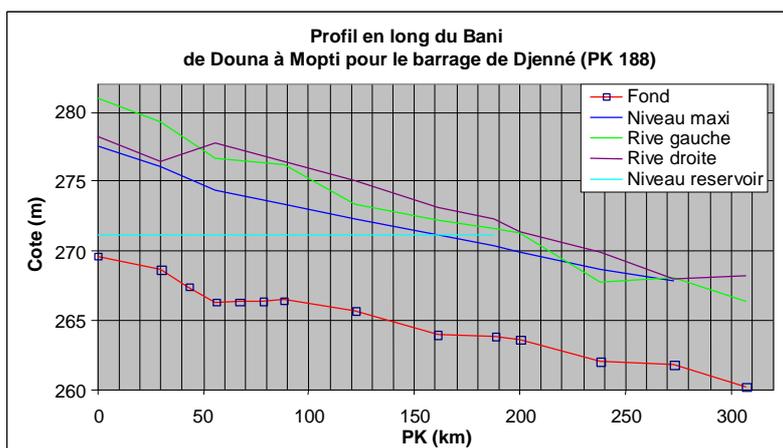
En l'absence de données géographiques précises sur la localisation du barrage, l'hypothèse d'une implantation à Tako, à 12 km en amont de Djenné, a été retenue.

Les données ayant servi à la modélisation sont les suivantes (figure 30) :

- un débit minimal de 5 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> ;
- 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<sup>3</sup> 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<sup>3</sup> et inondant 85 000 ha dès le 25 août.



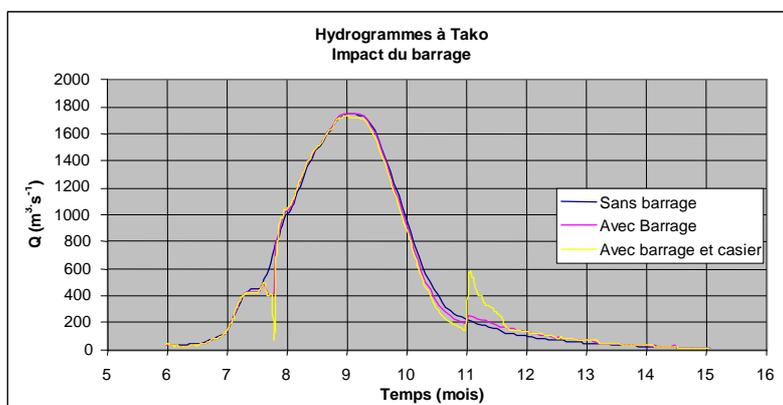
**Figure 30**  
 Profil en long du Bani  
 de Douna à Mopti pour le  
 barrage de Djenné

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.

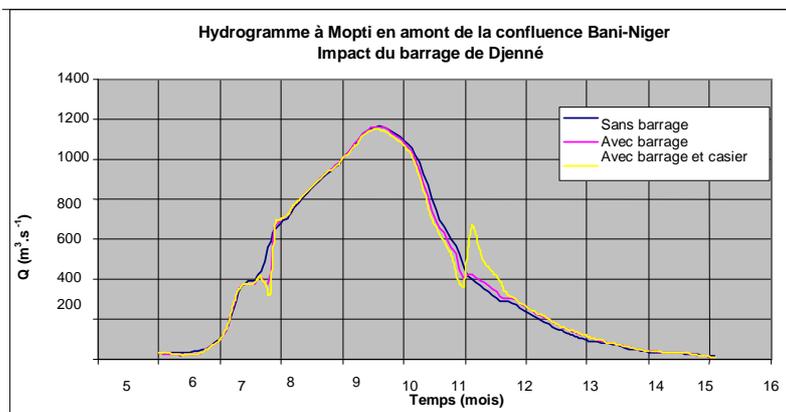
Impacts du barrage sur le Bani :

L'hydrogramme de Tako (avec le casier) se trouve déformé par le barrage comme le montre la figure 31.

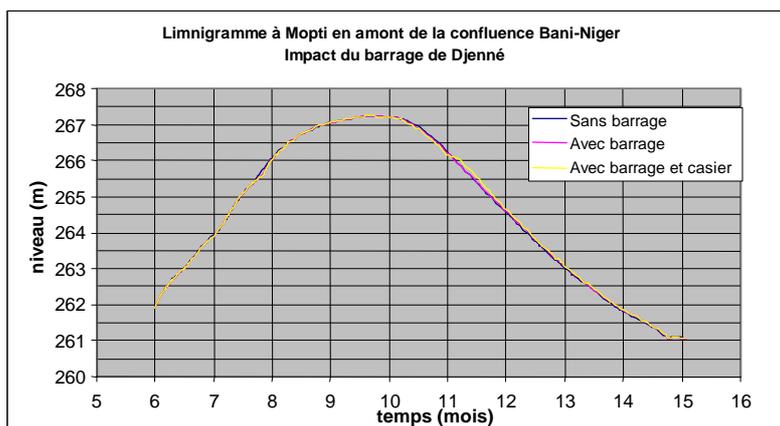


**Figure 31**  
 Hydrogramme à Tako  
 Impact du barrage

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 (mois 7/8) 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'Équipement Rural, les offices de développement rural ;
- les services publics chargés de l'énergie comme la Direction Nationale de l'Énergie, l'Énergie 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'Énergie 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 créées 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<sup>2</sup>) 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) :

$$Q_a = Q_s + Q_{st} + Q_e + Q_i$$

**Q<sub>a</sub>** = débit journalier entrant dans le barrage en m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> par le bassin versant ;

$Q_s$  = débit journalier sortant du barrage en  $m^3.s^{-1}$  pris égal au débit journalier observé à la station de Sélingué aval ;

$Q_{st}$  = débit journalier stocké dans le barrage en  $m^3.s^{-1} = \Delta V / \Delta T$  ;

$\Delta V$  = 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 ;

$\Delta T$  = un jour exprimé en secondes (s) ;

$Q_e$  = débit journalier évaporé ( $m^3.s^{-1}$ ) estimé à partir d'un abaque ;

$Q_i$  = 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, Mississippi).

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  $Q_{K_j}$  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

débites 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 :

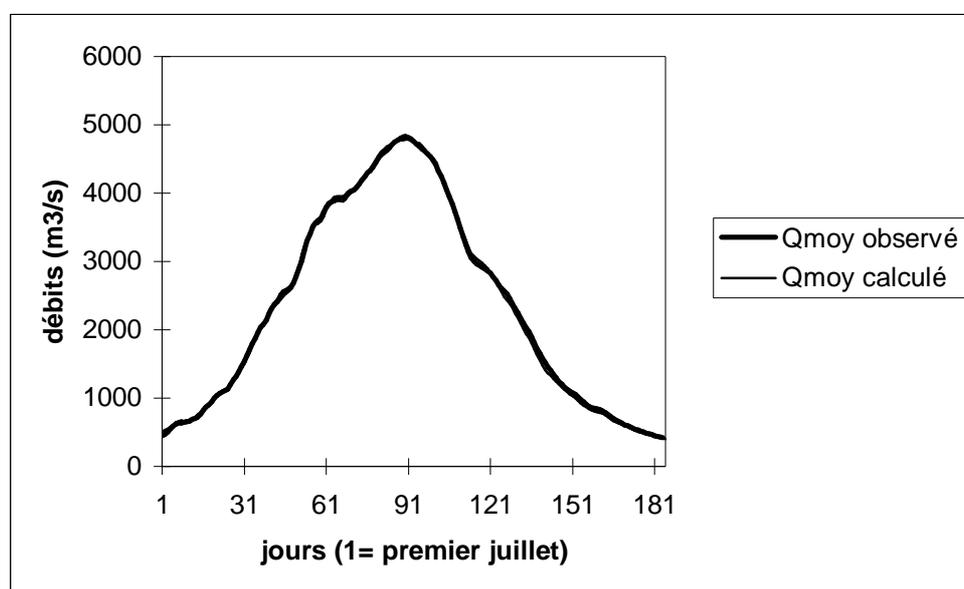


Figure 34 - Hydrogrammes comparés du Niger à Koulikoro (moyenne 1971-79)

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.