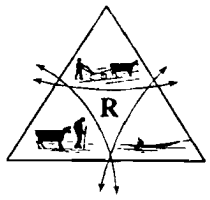
GIP Hydrosystèmes **République du Mali**



ZA-DIN

ZONE ATELIER DANS LE DELTA INTERIEUR DU NIGER

Projet de zone atelier du Delta intérieur du Niger au Mali

Synthèse des travaux de concertation et de réflexion suite au Séminaire franco-malien organisé par le GIP Hydrosystèmes en janvier 1997 à Paris

avril 1997

Ont contribué à la rédaction de ce projet, par ordre alphabétique :

ADESIR-SHILLING Michèle, PRODIG / CNRS / Univ. Paris
ARFI Robert, CRO Abidjan / ORSTOM / Abidjan
BALLO Amadou, ENSup Bamako
BARRIERE , ORSTOM
BENECH Vincent, LECOM / ORSTOM / Bamako
BLANCK Jean-Pierre, CEREG / CNRS / Univ. Strasbourg
BRICQUET Jean-Pierre, LECOM / ORSTOM / Bamako
CAZAUBON Arlette, LECM / CNRS / univ. Marseille
CHAMARD Philippe, PRODIG / CNRS / Univ. Paris
CHENIN Eric, MTI / ORSTOM / Paris
CISSE Navon, DNHE / Bamako
COUREL, PRODIG / CNRS / Univ. Paris
DIAKITE C. Amallah, LSEP / IER / Bamako
DIALLO Ousmane, LSEP / IER / Bamako
DIALLO IAM, CNRST / Bamako
DIARRA Adama, SECTION HYDROLOGIE / ENI / Bamako
FRITSCH Jean-Marie, LAB. HYDROLOGIE / ORSTOM / Montpellier
KONATE Mama, DN METEOROLOGIE / Bamako
LEGROSSE Pascal, PRODIG / CNRS / Univ. Paris
LEMARCIS Frédéric, ORSTOM / Bamako
LE RHUN Jean, PRODIG / CNRS / Univ. Paris
MAHE Gil, LECOM / ORSTOM / Bamako
MORAND Pierre, ERMES / ORSTOM / Orléans
NIARE Tiéma, PRH / IER / Mopti
OLIVRY Jean-Claude, LAB. HYDROLOGIE / ORSTOM / Montpellier
ORANGE Didier, LECOM / ORSTOM / Bamako
PONCET Yveline, LECOM / ORSTOM / Bamako
SICARD Bruno, LAB. MAMMALOGIE / ORSTOM / Bamako

Sommaire

Introduction

1. Description de la zone d'études

2. Objectifs généraux et demande sociale

3. Objectifs scientifiques
- **3.1 Les mécanismes de l'inondation, les transferts d'eau et de matière**
- **3.2 Biodiversité et productivité. Mécanismes de régénération des ressources**
- **3.3 Exploitation de la ressource, partage et compétition**
- **3.4 Description de l'emboîtement et de l'articulation des échelles de travail**

4. Perspectives et retombées attendues
- **4.1 Effort d'instrumentation et recueil de données**
- **4.2 Développement des bases de données thématiques**
- **4.3 Intégration des données dans un SIG**
- **4.4 Développement d'une « base d'information » et d'une « fonction Observatoire »**
- **4.5 Modélisation dynamique**

5. Mode de fonctionnement
- **5.1 Les équipes de recherche**
- **5.2 Effort d'intégration des apports des différentes disciplines**
- **5.3 Principaux moyens liés au fonctionnement de la zone**
- **5.4 Coordination du projet**

6. Moyens financiers
- **6.1 Financement propre des institutions participant au projet**
- **6.2 Perspectives de financements extérieurs**
- **6.3 Financement demandé au GIP-Hydrosystèmes**

7. Conclusions

Annexes : les acquis scientifiques
- **Quelques ouvrages de référence**
- **Quelques données sur les travaux récents des équipes du projet**
- **Animation scientifique**

Fiches récapitulatives de quelques opérations de recherche et de leurs articulations au sein de la zone atelier

(La signification des sigles et acronymes est donnée en fin d'annexes)

ZA - DIN

PROJET DE ZONE ATELIER sur le DELTA INTERIEUR DU NIGER

Introduction

Le Delta intérieur du fleuve Niger constitue pour le Mali un potentiel de richesses de premier ordre en milieu sahélien. Ce potentiel de richesses est directement lié à l'importance de la crue annuelle du fleuve Niger, à l'extension et à la durée de l'inondation dans les plaines alluviales du delta.
L'eau est donc bien le moteur du système, d'un hydrosystème évoluant dans l'espace et le temps à l'échelle de l'année (rythme crue-décrue) et à l'échelle interannuelle (variations hydroclimatiques); l'eau détermine l'édification de la ressource (fertilisation des sols, ressources biotiques) et conditionne les stratégies de partage de la ressource.

La variabilité des ressources en eau explique que l'hydrosystème soit particulièrement « mouvant » géographiquement suivant la puissance de l'inondation annuelle, la répartition des ressources renouvelables et l'adaptation des sociétés à un usage partagé des ressources disponibles. La gestion de ce patrimoine écologique est complexe; les systèmes coutumiers sont fragiles et résistent mal aux tensions qui s'exercent sur les différents types de ressources (pêche, agriculture, élevage, transport). En effet, le Delta Intérieur du Niger (DIN) a une production biotique importante mais nécessite l'exportation de cette production. Finalement, un particularisme de cet hydrosystème peut être formulé de la manière suivante : **le DIN très productif en terme de ressources nourrit-il ses populations ?** Il est donc primordial de se doter des connaissances nécessaires à une gestion équilibrée de ces milieux afin de fournir les bases d'un développement durable améliorant significativement la situation matérielle des populations locales.

La forte demande sociale émanant des pouvoirs publics (soucieux de voir réussir la politique de décentralisation de la gestion des espaces et des ressources, mise en oeuvre par l'Etat Malien), des opérateurs économiques et des communautés villageoises est apparue, dans les réunions préparatoires des diverses institutions participant au projet de zone atelier, comme une priorité pour définir les axes de recherches. En effet, les ressources du Delta Intérieur du Niger alimentent 3 systèmes de production : la pêche, l'agriculture et l'élevage. Les Instituts de recherche du Mali veulent comprendre les processus impliqués dans la genèse de ces ressources pour prévoir leur évolution afin de permettre les prises de décision pour gérer durablement les usages. Aussi, les interrogations des usagers ont constitué le point de départ des questionnements scientifiques, même si la demande ne s'exprime pas toujours en des termes techniques précis.

En étudiant la dynamique des ressources et celle des pressions qui s'exercent sur elles, la Zone Atelier a pour objectif :

- de donner aux sociétés le maximum d'éléments fondés sur des bases scientifiques leur permettant d'assurer une gestion des ressources socialement acceptable, économiquement viable et environnementalement durable,
- de participer à l'élaboration d'instruments de transfert permettant aux sociétés de mettre en oeuvre la gestion, la conservation, voire la réhabilitation, de leurs ressources.

Les questions scientifiques générales peuvent être regroupées en trois questions:

- Quels sont les déterminants économiques et sociaux qui contrôlent la pression et le mode d'exploitation des ressources et comment prévoir à court et moyen terme leur évolution ?
- Comment la dynamique du milieu physique (eaux et flux géochimiques) génère-t-elle et entretient-elle la biodiversité et la productivité des ressources aquatiques de ces systèmes ?
- Quelle est la variabilité des ressources en eau dans l'espace et dans le temps, c'est-à-dire comment quantifier, et si possible prévoir, les risques associés à l'existence et à l'exploitation de ces milieux aquatiques : risque d'inondation des zones habitées, risques de pénurie ou de défaillances quantitatives ou qualitatives vis-à-vis d'usages existants (pêche, agriculture, élevage, transport, ...).

De fait, le questionnement ci-dessus, remontant de l'homme au milieu, à son environnement, a induit la démarche de proposition d'une Zone Atelier dans le Delta intérieur du Niger selon les critères définis par le GIP-Hydrosystèmes. Les recherches envisagées s'articulent sur des objets d'étude que l'on peut schématiser de l'amont vers l'aval dans le triptyque suivant :

la crue, l'édification et le partage de la ressource .

1. Description de la zone d'étude

Le Delta intérieur du Niger est entièrement situé au Mali où il désigne au sens large l'ensemble de l'hydrosystème du fleuve Niger, de son affluent Bani et de leurs défluents dans les vastes plaines à très faible pente situées entre Ségou et San, au sud, et Tombouctou, au nord. Le Delta intérieur du Niger est aussi couramment appelé Delta Central du Niger, les qualificatifs «*intérieur*» ou «*central*» étant utilisés pour préciser son caractère continental par opposition au delta marin nigérian; la zone d'étude est aussi désignée parfois sous les noms de *cuvette lacustre* ou *cuvette intérieure*.

Le Delta Intérieur du Niger est en effet une vaste plaine alluviale sahélienne exploitée, qui par le biais de l'inondation génère une grande biodiversité de la flore et de la faune, et il semble essentiel de protéger ces potentialités socio-économiques. Ces attentes sont d'ailleurs proches des principes développés en 1980 par l'UICN (*Union Internationale de Conservation de la Nature*) pour la conservation de l'environnement : - maintenir les processus écologiques et le fonctionnement des systèmes naturels, - préserver la diversité génétiques et - assurer une utilisation durable des espèces et des écosystèmes.

Vaste zone d'épandage des apports du Niger, la zone étudiée, constituée par le delta intérieur inondable (jusqu'à 30-35 000 km^2), par ses bordures et un système complexe de lacs en rive droite et en rive gauche, couvre une superficie de plus de 50.000 km^2, suivant un rectangle orienté SW.NE de 450 km de longueur sur 125 km de largeur (Fig.1). Sans rentrer dans le détail, on peut distinguer deux zones principales dans le Delta intérieur :

- le ***delta amont*** correspondant à un réel delta au sens des géomorphologues, avec de grandes plaines détritiques, encore largement inondées par la crue annuelle malgré le déficit hydropluviométrique, qui se termine, à l'aval et au nord, par le lac Débo, anévrisme majeur et permanent du réseau hydrographique de la région.

- le ***delta aval***, où une géomorphologie très différente, caractérisée par la surimposition aux formes deltaïques antérieures d'un erg holocène, orienté est-ouest, (l'Erg de Niafounké), conduit à observer un réseau hydrographique très diffus souvent commandé par les sillons interdunaires, avec des zones d'inondation plus réduites.

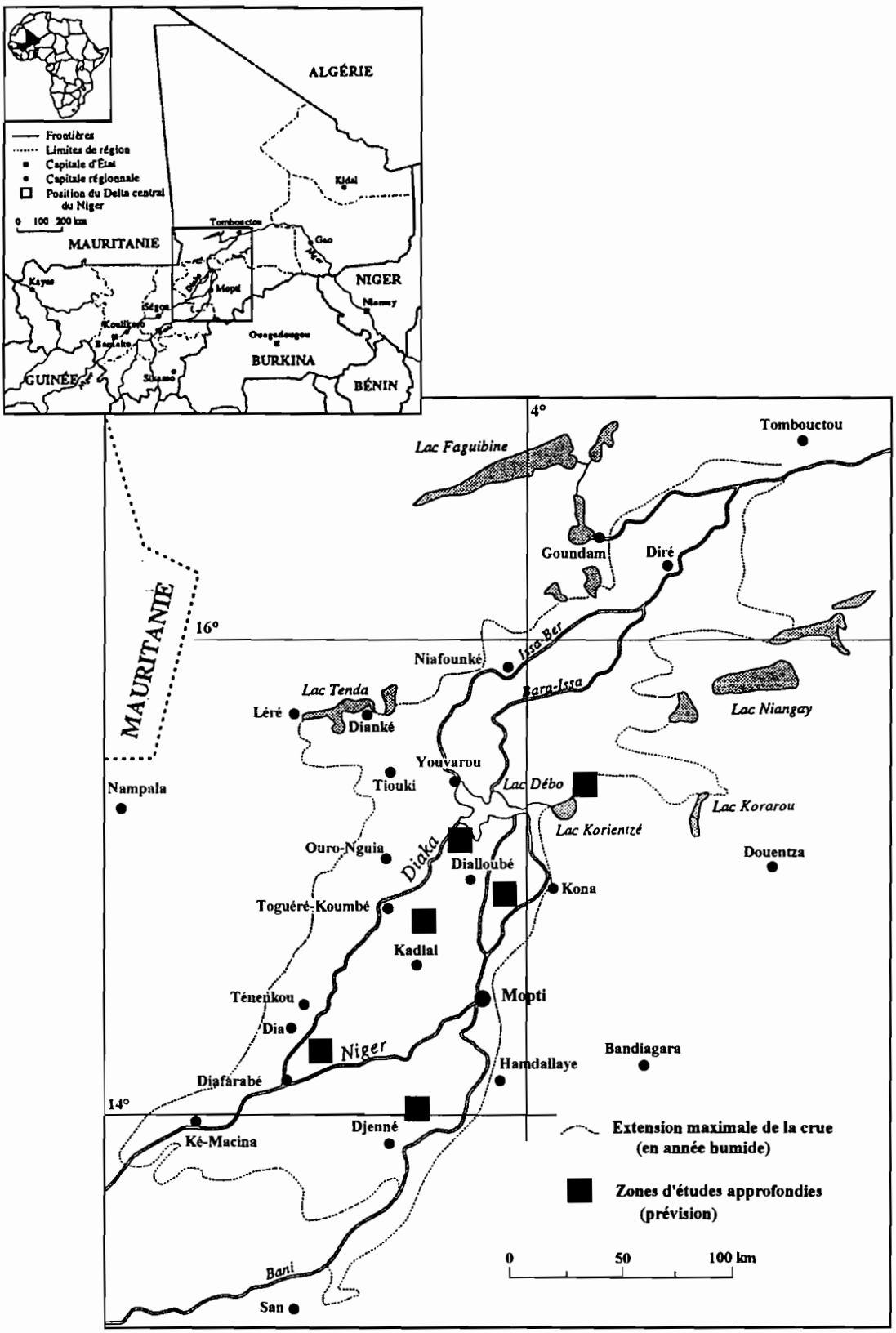


Figure 1 - Localisation de la zone d'étude

Le climat est, pour partie, celui du domaine sahélien, avec des précipitations comprises entre 400 et 750 mm réparties sur 3 à 4 mois, qui intéresse les régions de Ségou, Mopti et la partie sud de la cuvette lacustre. Mais la majeure partie du delta est concernée par le climat du domaine subdésertique, recevant autour de 250 mm de précipitations (150 - 400 mm) réparties sur les 3 mois d'été.

Le fonctionnement hydrologique de la cuvette lacustre du fleuve Niger est largement dépendant :

- des conditions d'écoulement exogènes, l'essentiel des ressources en eau provenant des régions beaucoup plus arrosées de l'amont et donc des régimes hydroclimatiques des bassins supérieurs du fleuve Niger et du Bani ;
- des conditions morphologiques et climatologiques propres au delta intérieur, régissant les écoulements (défluences, inondations) et le bilan hydrologique (évaporation, infiltration).

Les pertes par évaporation sont d'autant plus importantes que les zones d'inondation augmentent, mais aussi que les défluents secondaires transfèrent des volumes plus importants. Suivant que l'on a une crue forte, moyenne ou faible, les écoulements annuels observés à Diré, à la sortie du delta, peuvent perdre 45%, 35% ou 30% de leurs volumes, par rapport aux entrées.

De l'extension spatio-temporelle de l'inondation annuelle dépendent largement toutes les ressources renouvelables du delta, qu'il s'agisse du renouvellement de la ressource en sols (importante pour les cultures) par les dépôts des flux de matières dissoutes et particulaires, de la ressource fourragère, liée aux prairies inondées à *bourgou*, particulièrement précieuses pour l'élevage, ou encore de la ressource halieutique dont le renouvellement en plus ou moins grande abondance est fonction des apports en nutriments du fleuve et des espaces couverts par les herbes aquatiques servant de frayères et de nurseries pour la plupart des espèces ichtyologiques exploitées. Ces ressources sont essentiellement fluctuantes et la période hydroclimatique déficitaire récente a bien montré son incidence sur les capacités biotiques du système, notamment sur l'élevage par la réduction des surfaces en bourgou *(Echinochloa stagnina)* et sur la pêche par une chute des captures annuelles de 80 000 à 30 000 tonnes.

Les sociétés humaines (environ 800 000 habitants), traditionnellement et « ethniquement » spécialisées, se partagent des espaces de culture, de pêche et d'élevage qui se recouvrent souvent, dans une relative harmonie lorsque les activités et les usages sont décalés dans la saison et que la ressource est suffisante, mais aussi de manière conflictuelle lorsque la ressource est réduite, ce qui paraît devenir la règle. Les dynamiques paysannes ont montré de larges capacités d'adaptation à la variabilité, à l'instabilité et aux changements qui caractérisent la région, avec d'occasionnelles transformations d'activités. Ainsi, dans le Kotia, des espaces entièrement voués à la pêche, privés de l'inondation annuelle pendant deux décennies, se sont transformés en mosaïques de petits périmètres rizicoles. (On parle alors d'agro-pêcheurs et d'agro-éleveurs). Les produits, les échanges et les circuits commerciaux évoluent également. Enfin, confrontée à la pression démographique, la politique de décentralisation menée par le Mali doit se donner les moyens d'une gestion optimale des ressources et de l'environnement, pour autant que cette politique peut s'appuyer sur une connaissance approfondie de la répartition des ressources et de leur possibilité d'évolution à moyen terme, et peut aborder les problèmes actuels liés à l'intensification/extension de certaines activités (riziculture) avec ce que cela entraîne sur le plan foncier (conflits agriculteurs/éleveurs).

2. Objectifs généraux et demande sociale

(ou Genèse du Questionnement scientifique à partir de la demande sociale)

L'importance des ressources du Delta dans l'économie du Mali et les enjeux politiques qui viennent d'être soulignés expliquent que **les instituts de recherche maliens** aient défini, comme problématique majeure de leurs interventions dans la région, l'étude des ***Ressources*** du ***Delta***

Intérieur du Niger et de leurs modalités d'***Exploitation*** dans son ***Environnement Physique***. Leur objectif est de contribuer à :

- une **compréhension des processus** impliqués dans le fonctionnement de l'hydrosystème,
- une **prédiction de l'évolution** des différents paramètres et variables **intéressant le développement et la durabilité.**

Cet objectif est formulé de la manière suivante :

> *OBTENTION D'UN **MODELE INTEGRE** SIMPLIFIE DE L'HYDROSYSTEME DU DELTA INTERIEUR DU NIGER POUR EVALUER LES IMPACTS DE SCENARIOS DE CHANGEMENTS RELATIFS A LA DISPONIBILITE EN EAU SUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE DES RESSOURCES EXPLOITABLES.*

Afin de répondre à ce besoin de développement durable, ***six démarches*** ont été retenues pour esquisser le cadre du programme de recherche proposé ici. Il s'agit de :

1. partir d'une analyse des problèmes concrets des usagers et tenir compte des ***savoirs traditionnels,***
2. développer conjointement les bases de données thématiques des différents intervenants,
3. définir la notion de ***risques par rapport aux usagers***,
4. définir la notion ***d'unité fonctionnelle*** dans le temps et dans l'espace (afin de pouvoir communiquer avec les autres),
5. intégrer les composantes du fonctionnement du Delta dans un système d'informations géographiques (***utilisation du SIG ALLIANCE*** déjà opérationnel pour l'étude de cette zone géographique),
6. réaliser progressivement ***un Observatoire à Long Terme du Delta***.

A l'image de la diversité des flux faisant la richesse de cet hydrosystème, le programme de recherche doit être conçu comme **un système dynamique partant d'interrogations liées aux usagers** (pêcheurs, éleveurs, agriculteurs), interrogations traduites en questionnement scientifique sur **(1)** ***le transfert du Vivant***, **(2)** ***le transfert de Matière***, **(3)** ***le transfert d'Eau***. Ces 3 volets s'emboîtent mais sont aussi en inter-relation.

Afin d'afficher une volonté très forte de pluridisciplinarité des recherches, condition jugée nécessaire pour l'obtention de réponses utiles aux usagers, les quatre axes fédérateurs de recherche suivants ont été identifiés:

1. ***Exploitation de la Ressource et Compétition***,
2. ***Biodiversité et Productivité***,
3. ***Transferts de Matières***,
4. ***Disponibilité en Eau***.

Ces axes sont définis de telle sorte que chacun soit dépendant des résultats des autres (fig. 2), afin, d'une part, de bien montrer l'interdépendance de tous les compartiments constituant l'hydrosystème et, d'autre part, d'assurer à l'issue du projet une réponse globale pouvant être traduite dans un modèle intégré. Cet **état de la réflexion** montre bien que les objectifs généraux d'une recherche pour le développement débouchent sur un questionnement scientifique précis, **en adéquation avec des actions de recherche bilatérales ou multilatérales déjà entreprises dans la zone étudiée**. Celles-ci, appelées à se développer, à se renouveler, à être complétées par des actions nouvelles, sont conçues pour le projet de Zone Atelier dans une **approche intégrée** qui est précisée plus loin. Les différentes équipes du projet insistent sur cette volonté de coordination scientifique de leurs actions, très éloignée d'une simple juxtaposition d'opérations de recherche. Leurs spécialisations n'excluent pas une forte interdépendance, notamment dans l'utilisation commune de données; des collaborations sont effectivement établies depuis plusieurs années et la volonté de les développer dans le cadre de cette **première zone atelier internationale** à été clairement affichée dans les objectifs généraux.

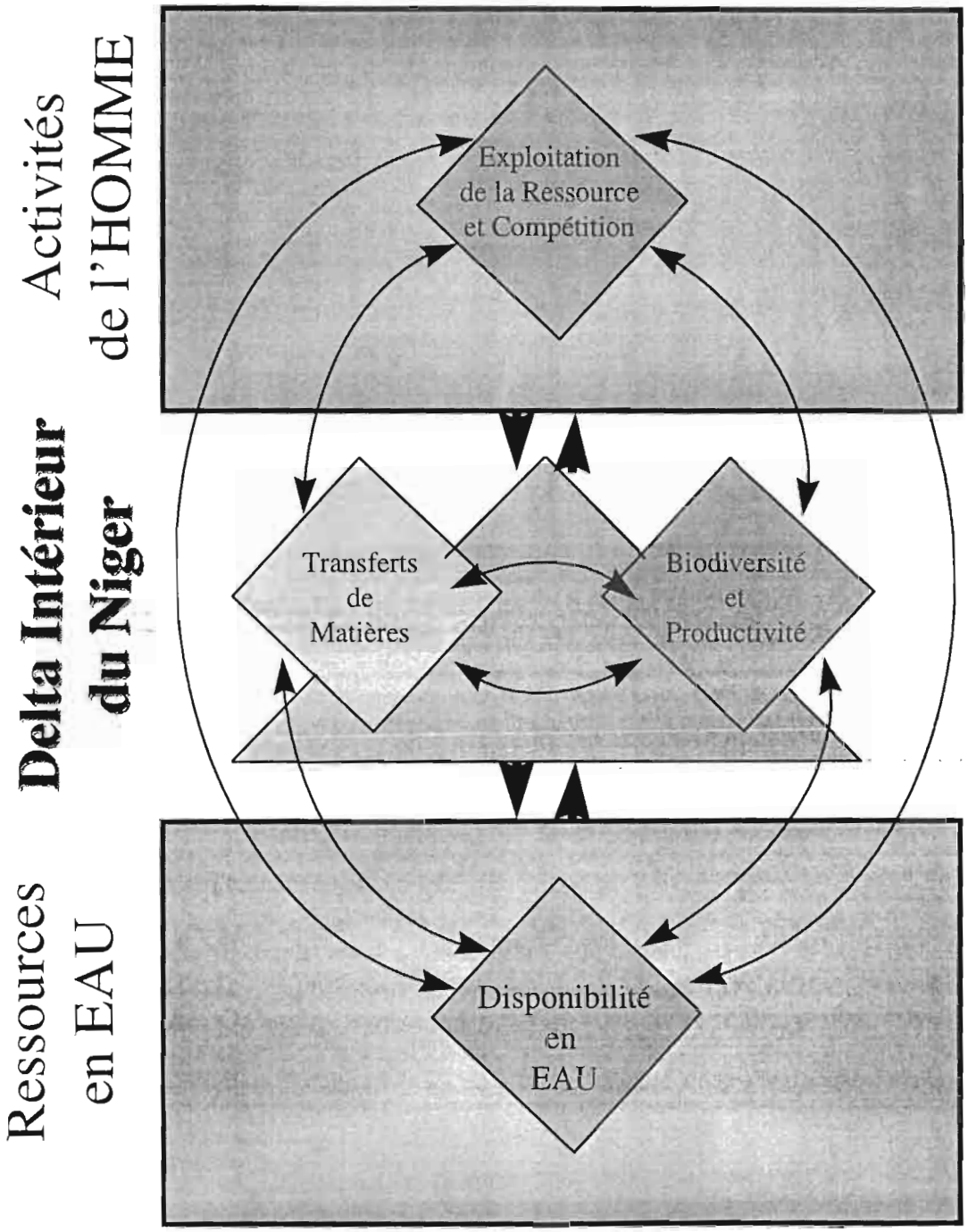


Figure 2 - Schéma simplifié des liaisons entre axes fédérateurs des études sur le Delta intérieur du Niger

3. Objectifs scientifiques

Pour rester dans la typologie des trois grands axes de recherche adoptés par le GIP Hydrosystèmes, à savoir :

- les transferts d'eau et de substances dissoutes ou en suspension,
- les systèmes biologiques,
- les sociétés et les hydrosystèmes,

les objectifs scientifiques sont présentés ici « de l'amont vers l'aval » et les axes fédérateurs exposés plus haut sur la disponibilité en eau et les transferts de matière ont été regroupés.

3.1 / Axe 1 : Les mécanismes de l'inondation, les transferts d'eau et de matière

Cet axe regroupe l'ensemble des recherches sur le milieu physique du delta intérieur liées à la **dynamique de l'inondation**, avec, d'une part, celles relatives aux paramètres de forçage du système que sont le climat, les entrées verticales (précipitations et poussières), les entrées amont (flux hydriques et de matières), et, d'autre part, les recherches relatives au milieu récepteur telles que la géomorphologie, l'hydrographie, l'hydraulique, la sédimentologie, la pédologie, l'hydrogéologie qui commandent, au rythme « crue-décrue », l'extension et les modalités de progression de l'inondation, l'évapotranspiration, les dépots de matière et leur reprise, l'infiltration.
Bien évidemment, l'extrême variabilité interannuelle est au centre de ces recherches et un des thèmes récurrents des travaux concerne les effets de la sécheresse de ces 25 dernières années sur l'évolution de l'hydrosystème.

Ce dernier aspect sera étudié, au niveau des modifications profondes intervenues dans le delta intérieur, par une comparaison entre documents anciens (cartographie, photos aériennes) et **l'imagerie satellitale** récente. Le suivi par télédétection de l'inondation à méso-échelle à l'aide d'une chronique NOAA, d'une part, et d'images en temps réel, d'autre part, servira à l'évaluation annuelle des surfaces inondées et à leur comparaison dans le temps. Le suivi des états de la crue par télédétection SPOT sur des aires de prospection en liaison avec un suivi ULM rapproché servira à préciser les chemins de l'eau.
L'identification de saignées anthropiques ouvertes dans les bourrelets de berge du fleuve compte, par exemple, parmi les modifications importantes intervenant dans les processus de l'inondation (**reconnaissances géomorphologiques** sur le terrain). Les travaux de terrain comprennent un échantillonnage des dépôts et sols du delta pour études sédimentologiques et minéralogiques, de la pédogenèse en inter-relation avec la charge solide du fleuve et les apports éoliens et d'aérosols (travaux de PRODIG, du CEREG et de l'Université du Mali).

Ces études sont très dépendantes de la **donnée hydrologique de base** acquise sur un certain nombre de stations du réseau hydrométrique national, gérées par la DNHE, qu'il s'agisse des données limnimétriques calées en altitude IGN, ou des débits obtenus par des campagnes de jaugeages (tarage non univoque du fait des faibles pentes) à ces mêmes stations (DNHE et appui ORSTOM).
Un volet **d'hydraulique fluviale et de sédimentologie**, initié par la DNHE, s'intéresse à l'évolution des principaux biefs et chenaux traversant le Delta et en particulier au déplacement des bancs de sable et à leur extension, constituant une gêne sérieuse pour la navigation. Les études sont menées conjointement avec celles sur les transferts de matières (cf. infra).

Les **études hydrologiques** s'intéressent principalement aux volumes écoulés, à différents pas de temps, à la **dynamique de l'eau,** le tout dans l'optique d'une **modélisation de l'inondation** à une échelle de temps et d'espace directement utilisable par les usagers. A cet effet, il est envisagé d'appréhender également les problèmes hydrologiques à partir d'enquête auprès des utilisateurs des chenaux du delta (pécheurs, transporteurs).

A partir des données anciennes relatives aux flux hydriques, de nouvelles données recueillies ou à recueillir, et de l'étude des variations hydroclimatiques de la région, il est prévu de valider les modèles hydrodynamiques existants par :

- l'exploitation des banques de données (DNHE et ORSTOM)
- une typologie des crues et de leur propagation dans le delta,
- un bilan hydrologique du delta, impliquant les paramètres précipitation, infiltration et évapotranspiration,
- un bilan de l'inondation annuelle abordé par les méthodes hydrologiques (modèle), par l'interprétation de l'imagerie satellitale et la géomorphologie.

Des études sur les processsus de ruissellement et d'infiltration sur de petites unités fonctionnelles étudiées dans d'autres axes thématiques complètent cette analyse hydrologique (remplissage des mares par exemple).

Les **études climatologiques,** basées pour l'essentiel sur les données recueillies par la DN Météo sur son réseau de stations météorologiques et synoptiques, sont traitées au niveau de son département de recherche (températures, vents, humidité, insolation, etc.). La variation et l'évolution de ces paramètres sont suivies et les **banques de données de la DN Météo** permettent de dresser une cartographie (IDRISI) pour une comparaison de la climatologie à différentes périodes dans la cuvette lacustre. Ces recherches débouchent notamment sur le calcul de l'évapotranspiration potentielle (cf. bilan hydrique). D'autres travaux sont menés conjointement avec les physiciens de l'atmosphère du CNRST sur les aérosols et brumes sèches comme marqueurs de l'évolution climatique et apports au bilan de matières du Delta. Une approche par télédétection du bilan radiatif de la cuvette est projetée en collaboration avec le centre européen de recherche d'Ispra.
L'étude des précipitations (hauteurs et répartition spatio-temporelle) est basée sur le réseau de postes pluviométriques de la DN Météo; des recherches conjointes avec l'ORSTOM s'attachent à préciser les apports sur le Delta (bilan hydrologique) et l'ampleur des variations climatiques récentes. La DN Météo étudie aussi le rôle que la cuvette lacustre est susceptible de jouer dans une redynamisation de la pluviogenèse des lignes de grain venues de l'est. Enfin, en prise directe avec le développement, la DN Météo doit fournir une **prévision** et des **conseils** (météorologie et agrométéorologie) **pour la conduite des activités agricoles** (cultures pluviales et de contre-saison).

L'étude des transferts de matières constitue un volet important du projet, bénéficiant de nombreux acquis et notamment, avec la partie hydrologie, de ceux du programme EQUANIS (Environnement et qualité des apports du Niger au Sahel). Il s'agit d'étudier de manière qualitative et quantitative la variation des flux de matières en suspension et de matières dissoutes dans la traversée du delta intérieur suivant les schémas simplifiés proposés dans les figures suivantes.

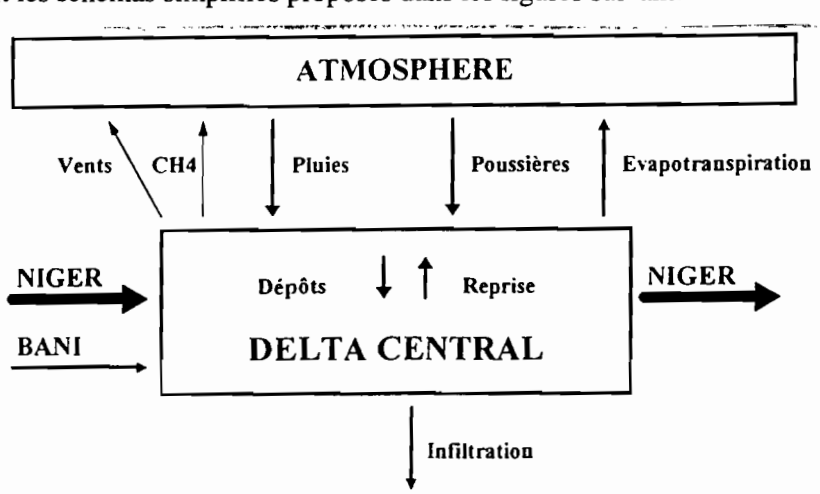


Figure 3 - Schéma simplifié des principaux paramètres intervenant dans la variation des flux hydriques et de matières lors de la traversée du Delta Intérieur du Niger (d'après Gourcy, 1994)

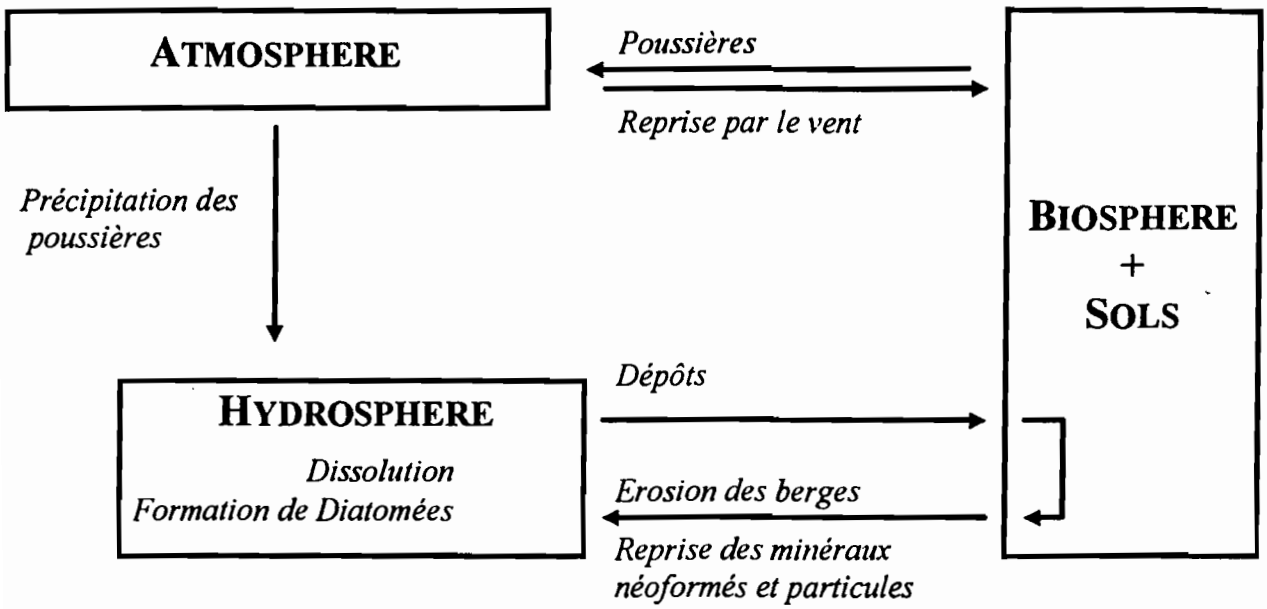


Figure 4 : Etudes de la charge solide en suspension du Fleuve Niger dans le Delta Intérieur

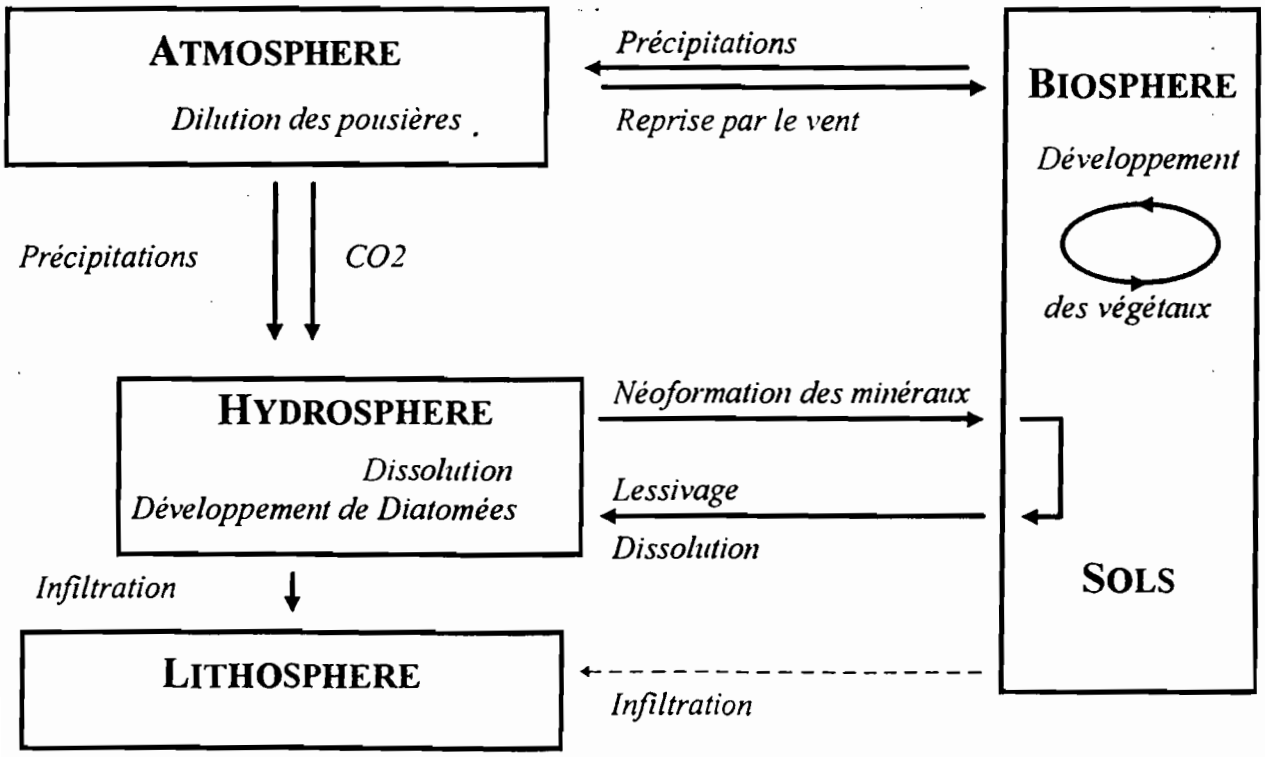


Figure 5 : Etudes de la charge en solution du fleuve Niger dans le Delta Intérieur

Intimement liés au vecteur eau, les transferts de matières doivent faire l'objet d'une modélisation, notamment sur les flux de matières, avec une **reconstitution des débits solides** (matières dissoutes et en suspension) sur la période d'observation hydrologique. Un **bilan sédimentaire des dépôts** dans le Delta Central du Niger en périodes sèches et humides permettra de faire une prévision du renouvellement de la ressource en sols. **Granulométrie et minéralogie** (transformation des argiles) doivent permettre d'identifier les origines de la charge solide et des dépôts (apports amont, apports éoliens et reprises de dépôts).Il sera aussi procédé à l'identification des unités géomorphologiques et à une reconstitution de leur évolution passée appuyée par des analyses sédimentologiques et minéralogiques. Des études par **télédétection** doivent permettre de comprendre le **fonctionnement de la turbidité** en relation avec les mouvements de la crue et l'installation de la végétation aquatique. En **hydrochimie**, le suivi des concentrations des divers éléments, dont l'évolution est souvent caractéristique de chacun d'eux (dissolution, précipitation), permet de mieux comprendre la dynamique de l'inondation, la dynamique des sols et les transferts eau de surface/eau de nappe ; ce suivi est complété par l'utilisation de marqueurs et de **traceurs** ($_{13}C$ et isotopes de l'eau) et de biomarqueurs identifiés dans la **matière organique** en solution ou en suspension.. Ce dernier aspect constitue une première contribution dans les recherches spécialisées dans le cycle du carbone organique. Il faut encore signaler les recherches sur le niveau de **pollution** éventuelle des eaux par les activités humaines (industrie amont, exploitation aurifère et agriculture) avec dosages de métaux lourds, engrais et pesticides, et également une quantification des **productions de méthane** des sédiments pour différents milieux inondés.

En conclusion, cet axe de recherches est particulièrement important pour les utilisateurs (des paysans aux administrations et organismes de développement) que ce soit au niveau des **prévisions à court terme**, en agrométéorologie ou en **annonce des crues**, et de la surveillance de l'environnement ou au niveau de la modélisation permettant **de prévoir pour différents scénarios** hydroclimatiques ou autres (voir possibles aménagements du bassin amont) **la disponibilité quantitative et qualitative en eau dans le Delta**.

3.2 / Axe 2 : Biodiversité et Productivité. Mécanismes de régénération des ressources

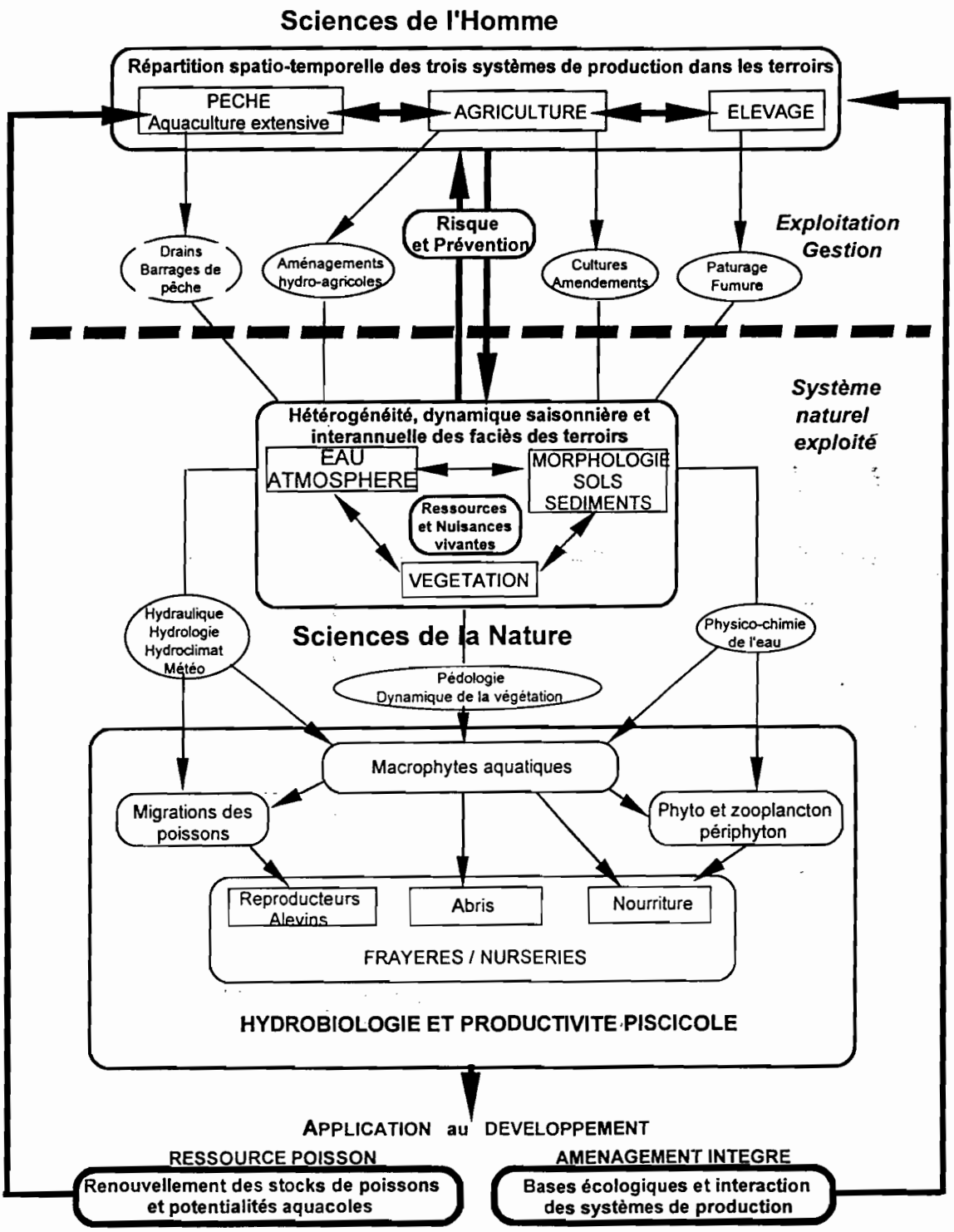
La richesse du delta vient notamment de sa diversité biologique. Au delà du simple inventaire, il s'agit de s'interroger sur la conservation des espèces, leur productivité pour, soit une meilleure exploitation de la ressource, soit une meilleure protection de celle-ci. Un effort particulier sera apporté à l'aspect exploitation/risques et nuisances.

Des études spatiales par **télédétection** et contrôle au sol (inventaires floristiques) de la **répartition de la végétation** seront plus particulièrements axées sur l'identification et le suivi des comportements des unités végétales inondées, exondées et cultivées à l'échelle des aires de prospection, en liaison évidente avec toutes les autres composantes.
Une équipe de recherche du CIRAD, spécialisée dans la production végétale fourragère, pourrait s'associer au projet.

Un volet « **production primaire, phytoplancton, phytobenthos, macrophytes et périphyton** », soit l'ensemble des communautés végétales aquatiques, est nouveau dans les études sur le Delta. Il sera dans un premier temps localisé sur deux sites : Batamani (fleuve-bras-mare) et lac Débo (fleuve-lac). Les études porteront sur la composition spécifique, la biomasse, la production et la sédimentation par classes de taille, la qualité trophique pour les poissons et les facteurs de régulation climatiques, physiques et biologiques. Ce volet fait le lien entre les études de l'axe 1 sur les transports de matière (matière organique en particulier), d'une part, et le volet traitant de la ressource piscicole, d'autre part.

Le tableau suivant indique le positionnement des recherches hydrobiologiques dans le projet de zone atelier.

ZONE ATELIER DU DELTA INTERIEUR DU NIGER
Positionnement d'une proposition de recherches hydrobiologiques pour le développement



Les recherches sur **l'hydrobiologie et la productivité** piscicole ont pour objectif d'identifier les caractéristiques éco-éthologiques de la colonisation de la plaine inondée, de comprendre les processus hydrobiologiques qui favorisent la productivité piscicole et de définir les principes de base pour la conservation de la diversité ichtyologique et de proposer des formules de mise en valeur de ses potentialités. Elles prévoient des enquêtes auprès des pêcheurs sur leurs connaissances du comportement et des migrations des poissons, un échantillonnage des migrations latérales des géniteurs et des juvéniles par piégeage dans les chenaux d'interconnexion fleuve/plaine, le radio-pistage des poissons dans la plaine inondée et l'étude de l'utilisation des ressources alimentaires (rôle des algues pélagiques et de la matière organique dans la nutrition des poissons herbivores et détritivores). Toutes ces données sont évidemment fondamentales pour les recherches sur l'exploitation de la ressource halieutique (cf. infra).

Proches de celles de la bio-écologie de l'ichtyofaune par les méthodes et leur contenu « biodiversité », les études sur la **bio-écologie des rongeurs** ravageurs du Delta ont pour objectif de caractériser la biodiversité des rongeurs et le rôle du Delta comme générateur de biodiversité, de modéliser le rôle de l'inondation et des facteurs climato-trophiques dans la dynamique des populations de rongeurs nuisibles (PRN), d'imaginer les conséquences probables sur les pullulations de changements hydro-climatiques, de créer un système de suivi des dégats et des densités des PRN, notamment sur les espaces cultivés (en riz le plus souvent), pour doter le modèle d'un système d'alerte et enfin de caractériser et de tester les méthodes traditionnelles de contrôle des PRN ou de proposer des substitutions technologiques rentables pour développer la lutte préventive raisonnée-ciblée.

Deux précisions sur cet axe « biologie » illustrent bien les inter-relations avec les autres thèmes :

Si la grande entrée forçante est certes l'ampleur de la crue, qu'il est primordial d'étudier puisque chaque ressource dépend de l'eau (et de son contenu en sels nutritifs...) pour sa reproduction et sa croisssance, il ne faut pas oublier d'autres aspects moins évidents qui peuvent engendrer des anomalies non négligeables par rapport à une loi de réponse trop simple (crue→biomasse). Ainsi apparaissent les questions très intéressantes de calage/décalage (*timing*) entre les dates de la saison des pluies et celles de l'arrivée de la crue, avec des conséquences importantes sur la reproduction des poissons et sur la poussée des plantes annuelles (cf. l'exemple classique des pousses de riz qui doivent sortir leur tête grâce à la pluie et avant l'inondation par la crue).

On doit également étudier **la réponse des ressources au prélèvement et à son intensification**. Pour certaines d'entre elles (comme le poisson), il semble (jusqu'à un certain point) que plus on prélève et plus la productivité augmente. Ce genre de chose est désignée par les écologues sous le terme de « phénomènes ou mécanismes compensatoires ». Cependant, le contraire peut aussi exister: au-dessous d'un certain seuil de biomasse, le taux de régénération de la ressource chute, d'où accélération de la dégradation. Quoi qu'il en soit, les ressources du delta étant toutes intensivement exploitées, il serait aberrant d'aborder leur dynamique en faisant abstraction de l'exploitation qu'elles subissent: par exemple, pour un pâturage, le broutage saisonnier fait partie intégrante de la dynamique annuelle de régénération

3.3 / Axe 3 : Exploitation de la ressource, partage et compétition

Il faut souligner d'entrée que cet axe scientifique englobe deux aspects :

-a) le suivi factuel et quantitatif des « pressions d'exploitation » et de leurs impacts sur les différentes ressources, ainsi que le suivi des rendements de production (qui peuvent être des indicateurs de la densité d'abondance des ressources). Ceci doit se faire à travers la mise en place (en collaboration forte avec les services techniques nationaux) de systèmes de collecte et de traitement de l'information (tel que le « Système de Suivi de la Pêche », par exemple). La mise en place de tels suivis des activités d'exploitation et de leurs résultats (productions) apporte le lien indispensable entre les recherches bio-écologiques et les recherches en Sciences Sociales.

-b) la compréhension des modes d'exploitation et de gestion et la mise en évidence de leur dynamique évolutive actuelle.
Les « pressions d'exploitation » effectives (aspect a) sont en quelque sorte une résultante de l'évolution des modes d'exploitation et de gestioh (aspect b) et c'est à ce titre qu'il ne faut pas oublier d'observer leurs variations.

Un volet important est constitué par les recherches sur **l'exploitation de la ressource halieutique.** Ce volet qui fait suite au programme multidisciplinaire « DCN »(1988-1994) est intimement lié aux études hydrobiologiques décrites plus haut; il est basé sur un **Système de suivi de la pêche** mis en place par l'IER avec le soutien de l'ORSTOM sur des **zones test** sur lesquelles diverses enquêtes permettent de préciser le comportement des populations de pêcheurs, les méthodes d'exploitation des ressources, les engins utilisés et l'effort de pêche, l'importance des captures (tonnage et taille des poissons) et leur commercialisation (frais,séché,fumé). La collecte des données de ce système a été planifiée de telle sorte que les informations produites permettent d'apprécier rapidement le degré l'exploitation de la ressource et son éventuelle surexploitation. Dans le prolongement de ces recherches, des études sur la **géographie de la pêche** font le lien avec les paramètres des milieux physique et biologique et associent à la recherche purement halieutique des systèmes associés comme l'exploitation du bois (fumage des poissons) ou les transports fluviaux (commercialisation et échanges).

Les **logiques de partage, d'exploitation et de gestion des ressources de l'hydrosystème** du Delta sont étudiées en sciences sociales sur la base d'une multiplicité de stratégies des acteurs locaux, fonction du tissu social complexe (sociétés hiérarchisées) et varié (identification « ethnico-professionnelle »). Ces recherches ont pour objectif :

- de voir les conséquences sur les milieux naturels des tensions sociales et des modes de régulation de l'accès aux ressources et à l'espace (mise en défens, ordre de préséance...), et, *a contrario,* de voir les conséquences de la variabilité de la disponibilité des ressources sur l'émergence de situations conflictuelles et les modifications que cette variabilité entraîne sur les modes de gestion,
- mais aussi, de montrer le jeu des réponses paysannes selon les différents systèmes d'exploitation (pêche, agriculture, élevage, commerce) face à l'aléa hydroclimatique, de montrer leur flexibilité et les éventuels points de rupture et d'évaluer l'impact des pratiques et du savoir paysan sur le renouvellement des ressources.

Les études sont focalisées sur des terroirs retenus comme unités fonctionnelles ou des ensembles plus vastes lorsqu'il s'agit des éleveurs et de la transhumance.
Dans ce volet, on s'interrogera sur le partage, l'accès, et le contrôle de la ressource en apportant à chaque fois une importance particulière à la notion de ***risque vis à vis de la durabilité du système***.

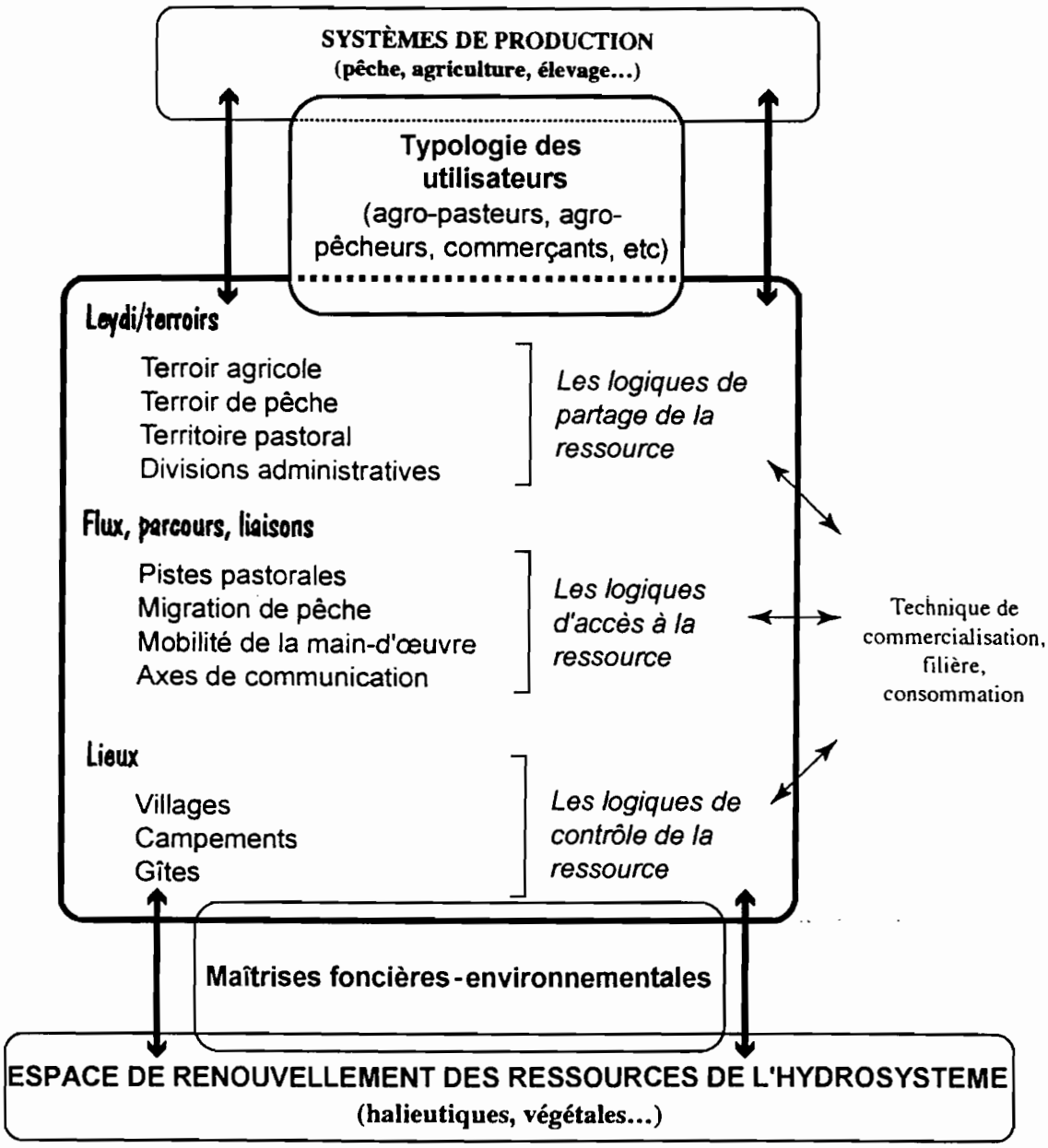
Un autre champ de recherche qui complète ce qui précède au niveau anthropo-juridique est celui des **maîtrises foncières-environnementales** pour une cogestion du milieu; là où les espaces sont utilisés simultanément ou diachroniquement par plusieurs types d'exploitants, on peut parler **d'espace ressource** avec différents droits (passage, prélèvement, exploitation, exclusion, protection); la maîtrise foncière -environnementale est un droit qui exprime un rapport de pouvoir entre un homme ou un groupe et un milieu considéré à la fois comme espace-ressource et écosystème. Ce droit se traduit par différents niveaux faisant partie d'un processus de gestion patrimoniale de l'environnement, porteur de la coviabilité des systèmes d'exploitation et des systèmes écologiques (développement durable et environnement).

Le schéma de la page suivante illustre l'organisation des recherches en sciences sociales pour une identification des différentes unités socio-teritoriales.

Programme de recherche en sciences sociales

Pour une identification des différentes unités socio-territoriales

l'expression socio-territoriale des logiques de partage de la ressource



Au sein de cet axe de recherche, **l'expérience a montré qu'une approche intégrée**, telle que recherchée dans la zone atelier, **supposait de limiter nos ambitions aux recherches socio-économiques ou anthropologiques sur les dynamiques paysannes** et sur le foncier-environnement (voir annexes).
Les recherches sur l'évolution politique du Delta sous l'effet de la nouvelle démocratie et de ses réformes (décentralisation) seront laissées aux chercheurs expérimentés en la matière, dont les méthodes et le point de vue critique (sur les institutions) sont peu compatibles avec la collaboration étroite que nous pratiquons avec les Services Techniques. Ceci étant dit, des échanges avec ces chercheurs (financés par ailleurs) devront être organisés dans le cadre d'ateliers, sous forme de « regards croisés ».

3.4 / Description de l'emboîtement et de l'articulation des échelles de travail

Plusieurs échelles spatiales sont prises en compte :

1 - l'échelle régionale globale qui concerne l'ensemble de la cuvette du Delta du Niger, éventuellement subdivisée en deux, trois ou quatre blocs bien différenciés, suivant le thème étudié; c'est l'échelle des grands bilans, des synthèses géographiques et de la prévision de scénarios liés à l'évolution hydroclimatique du delta.

2 - l'échelle locale avec des aires comprises entre 50 et 300 km^2, zones d'études approfondies correspondant à des unités fonctionnelles dont la connaissance et la représentativité doivent permettre une meilleure compréhension du fonctionnement global du delta et dont l'évolution spécifique concerne les trois axes de recherche.
Concernant ces espaces de petite dimension, une convergence d'intérêts entre les différents opérateurs est déjà opérationnelle sur la zone de **Batamani** et sur la zone du **Kotiya**, est en cours de réalisation pour le **Diaka aval** et la zone de **Korientzé** . Deux autres zones d'étude sont prévues à **Djafarabé** et à **Djenné**. La carte de la figure 1 localise ces zones d'études approfondies. L'intérêt des petites zones comme Batamani, Korientzé (et d'autres zones test de suivi de la pêche) est de permettre des études presque exhaustives avec participation des trois axes de la zone atelier. L'absence de relevé topographique fin est particulièrement gènante pour l'étude du milieu physique de ces unités. Cette contrainte doit être envisagée très sérieusement, et en priorité, afin de voir ce qui peut être fait en fonction des techniques modernes pour l'obtention de cette information topographique. Enfin, une amélioration ou une reformulation des modèles permettant de passer d'une échelle à l'autre est à l'ordre du jour sur la base d'un couplage des modèles de simulation avec des approches SIG.
De même, au plan de l'articulation des échelles de travail, il paraît tout à fait possible d'adapter le plan de recherche des hydrologues et géochimistes, centré sur la dynamique de l'ensemble du Delta, à une étude des processus régissant les mélanges d'eau aux confluences des différents biefs du Niger, où se concentrent très souvent les pêcheurs et les recherches des biologistes et des halieutes .

3 - l'échelle intermédiaire des transects avec, d'une part, un **transect sud-nord** correspondant au suivi latitudinal de l'évolution climatique entre San et Tombouctou, et au suivi hydrologique et hydrochimique amont-aval des eaux du Niger, et, d'autre part, un **transect sud-ouest/nord-est** entre Tenenkou dans le Maasina et Kona au nord de Mopti, pour un suivi des transitions entre différentes unités de paysages ou unités fonctionnelles correspondant à l'extension transverse de la crue.

Le tableau de la page suivante indique les pertinences croisées entre thèmes et échelles d'études.

Schéma de la cohérence »amont » : tableau des pertinences croisées « thèmes x échelles »

Echelles d'étude (description des « états » et mise en évidence des processus) ↓	Variables et processus qui présentent une forte affinité avec l'une des deux échelles seulement.	Variables et processus qui peuvent et méritent d'être observés et analysés aux deux échelles (et qui, du même coup, favoriseront ensuite l'établissement d'un lien du local au régional pour les autres variables et processus)		
Echelle régionale (couverture partielle ou continue)	• déploiement spatio-temporel des activités pastorales : les parcours et leur dynamique saisonnière et interannuelle. • les voies de communication dans les milieux naturels, évolution.	• climat • grands bilans • quantification de l'inondation régionale. H Y D R O G E O D Y N A M I Q U E • dynamique des flux locaux, en relation avec la géomorphologie et la pédologie.	• quantification de l'étendue des formations (identifiées par leur couleur Image satellite) V E G E T A T I O N • identification des associations végétales et de leur mode d'occupation de l'espace, en relation avec la géomorpho. et l'hydrodynamique locales.	• répartition générale (données du recensement) DNSI P O P U L A T I O N • dynamique de l'occupation des zones dans le cycle des saisons.
échelle locale (couverture localisée, sur 3 à 6 zones ?)	• Evolution « naturelle » et anthropo-génétique de l'environnement physique (géomorphologie, pédologie...) • - mécanismes écologiques qui conditionnent le renouvellement des ressources, en relation avec l'hydrodynamique et la géomorphologie locales : apport et régénération des sels nutritifs, dynamique des chaînes trophiques jusqu'à la croissance et à la reproduction (des poissons et plantes) • - évolution du déploiement spatio-temporel des activités halieutiques, pastorales et rizicoles. Variations des résultats (productions) de ces activités. • - Interactions entre les différentes activités de production (agricoles, halieutiques, pastorales) dans l'espace et le temps des saisons.			

4. Perspectives et produits attendus

4 1/ Effort d'instrumentation et recueil de données

Plusieurs types de dispositifs sont mis à contribution :

- Stations hydrométriques et météorologiques :

La DNHE et la DNMétéo apportent chacune leurs réseaux d'observation. En hydrologie, 7 stations principales sont intégrées au projet; en climatologie, la région n'est couverte que par deux stations synoptiques complètes (Mopti et Tombouctou); la pluviométrie est relevée sur une trentaine de stations avec une densité très hétérogène (très faible au centre du Delta). Il est de l'avis de chacun qu'une première nécessité est l'augmentation des stations d'observation des réseaux hydrologique et météorologique dans le delta. La réhabilitation d'un réseau hydrométrique, anciennement plus complet, doit être envisagée et la DNHE estime à une trentaine de stations le réseau optimal du Delta pour suivre le fonctionnement des principaux défluents et les phases de remplissage des lacs de la Cuvette. Cela implique aussi des équipements (limnigraphes automatiques) dépassant la seule implantation d'échelles limnimétriques confiées à des observateurs. Une station climatologique automatique a été installée par l'Orstom à Batamani; deux ou trois autres stations supplémentaires seraient nécessaires pour préciser les variations spatiales des paramètres intervenant dans le calcul de l'évaporation.

- Echantillonnage des eaux de surface, des eaux de pluie et des apports atmosphériques :

Cet échantillonnage destiné aux analyses chimiques, sédimentologiques, minéralogiques et isotopiques est réalisé en routine avec une fréquence hebdomadaire ou mensuelle sur les stations hydrologiques principales et à l'échelle événementielle (ou cumul mensuel) pour les précipitations. Un suivi régulier par des observateurs de quelques paramètres physico-chimiques (pH, température, conductivité, transparence, biomasse) est prévu sur quelques sites intéressant les hydrobiologistes ce qui implique l'acquisition des équipements et des trousses d'analyse correspondants. Le suivi des apports atmosphériques (apports éoliens, poussières atmosphériques et aérosols) est assuré en termes de dépôts sur 4 stations (pièges récepteurs « Capyr »); un équipement de 3 mâts instrumentés pour la mesure automatique de paramètres énergétiques et dynamiques et du décompte des concentrations en nombre dans les classes de taille de 0,3 à 10 µm de diamètre des poussières mobilisées par les vents de sable dans les 10 premiers mètres de l'atmosphère doit être réactivé.

- Exploitation de l'imagerie satellitale (SPOT, NOAA) :

Celle-ci prévoit l'acquisition régulière de nouvelles images SPOT et leur traitement (classifications automatiques et supervisées, indices divers) sur les canaux rouge et proche infrarouge.

- Suivi des activités et ressources halieutiques :

Actuellement opérationnel sur trois zones de 100 à 250 km2 (Korientze, Diaka aval et Batamani), ce suivi doit se développer sur les trois autres unités fonctionnelles retenues dans le projet ; il consiste en enquêtes régulières sur ces sites sur les activités des pêcheurs, les captures et leur commercialisation, avec identification qualitative et quantitative des espèces capturées.

- Reconnaissances sur le terrain, enquêtes socio-économiques,anthropologiques, etc.

- Topographie, suivi hydrologique et bioécologique de sites expérimentaux :

Ce suivi, sur certaines des zones d'études approfondies (e.g. la zone de Batamani), doit être envisagé avec l'implantation de divers équipements destinés à caractériser le milieu physique, la mise en place de divers dispositifs de piégeage de l'ichtyofaune et des rongeurs (et mise en oeuvre du radiopistage des poissons et rongeurs), et l'échantillonnage des eaux, sols, production primaire.

Comme déjà signalé plus haut, ***un effort particulier doit être fait dans l'acquisition d'une topographie fine qui nécessite de disposer des équipements nécessaires.***

- Campagnes saisonnières ou ponctuelles:

Celles-ci, à la différence des activités de suivi régulier ci-dessus, impliquent différentes actions d'acquisition de données destinées à préciser certains aspects du fonctionnement de l'hydrosystème ou des unités fonctionnelles retenues. On peut citer les campagnes de « vérité sol » menées lors de l'acquisition d'images SPOT (cartographie des surfaces en eau libre, surfaces à hydrophytes, surfaces humides, inventaire des formations végétales et herbacées, des zones cultivées en riz....). Un inventaire spatio-temporel des compartiments biologiques produisant de la matière organique végétale (phytoplancton, phytobenthos, périphyton, végétaux aquatiques) est également prévu par les hydrobiologistes. Des campagnes spécifiques prévoyant des protocoles très précis et des équipements appropriés sont déjà entreprises pour les prélévements d'échantillons destinés à l'analyse des métaux lourds, des pesticides, de la matière organique dissoute et en suspension, des flux de méthane.

Une approche qualitative complète ces recherches par l'étude des unités de paysage, du fonctionnement de certains milieux (effluents, mares), les relations nappe-fleuve.

Une nécessité commune à l'ensemble de ces investigations est de géoréférencer les données recueillies ce qui implique l'emploi systématique de GPS.

- Analyse chimique des eaux de surface pour assurer une veille qualité dans le cadre de l'observatoire. A plus ou moins long terme, le laboratoire d'analyse d'eau de la DNHE devra assurer cette mission à part entière. Dans ce sens, il convient de prévoir la formation du personnel technique et d'assurer une veille technologique auprès de ce laboratoire.

4.2 / Développement des bases de données thématiques

Les équipes qui collectent régulièrement de l'information en hydrologie, météorologie, halieutique, etc., ont développé, souvent depuis longtemps, des systèmes informatiques propres de saisie et de gestion des données brutes. Ces différents **systèmes d'acquisition et d'accumulation des données** de terrain ne sont pas spécifiques aux études du Delta, et, pour la plupart, sont utilisés au plan régional (logiciels en climatologie et en hydrologie développés par Agrhymet et l'Orstom, par exemple) ; **il paraît souhaitable que ces systèmes puissent continuer à exister et à évoluer de façon relativement autonome**, (par rapport au projet), sur différents sites et sous la responsabilité des équipes ou chercheurs compétents. En d'autres termes, il ne semble pas judicieux d'intégrer fortement l'ensemble de ces systèmes dans une seule « méga-base » qui induirait rapidement des problèmes de gestion importants, tant techniques que déontologiques. Mais cette option ne constitue pas un problème pour la mise en interaction ultérieure des données ou des résultats issus des différents volets de recherche. En effet, les données brutes ne sont de toutes façons presque jamais « croisables » immédiatement avec d'autres. Mieux vaut donc laisser à l'équipe ou au chercheur le soin d'extraire de sa base le lot de données (plus ou mons corrigées, traitées, agrégées) qu'il destine au croisement avec les données ou résultats de telle autre équipe. En outre, ces bases de données thématiques dépassent largement le cadre du seul Delta pour la DN-Météo, la DNHE ou l'Orstom, pour lesquels l'homogénéité des systèmes utilisés est incontournable. C'est donc à partir de l'extraction de données pertinentes que les outils SIG et modélisation (par exemple) pourront intervenir efficacement dans le projet.

4.3 / Intégration des données dans un SIG

L'établissement d'une cartographie dynamique précise des formations végétales naturelles et cultivées est indispensable pour suivre et expliquer l'extension ou la régression des surfaces végétales, pour en apprécier la qualité, et pour évaluer les variations des écotones terre-eau. Cette cartographie faisant ressortir les secteurs écologiquement les plus fragiles du Delta, permettra une meilleure coordination

des efforts et une gestion améliorée de la région, tant pour les équipes de recherche que pour les structures de développement.

Dans ce contexte, la mise en place d'un Système d'Information Géographique - **S.I.G.** - était devenue indispensable. Le problème majeur qui surgit est lié aux données disponibles, très volumineuses, très hétérogènes, très variables dans le temps, et qu'il est nécessaire de rassembler sur un fond cartographique commun fiable permettant de les recouper.

Les données à considérer sont de quatre types :

- **Les photographies aériennes**, environ 300 clichés, proviennent des missions effectuées par l'IGN en 1952 et 1971 à l'échelle de 1/50 000. Elles fournissent l'information la plus fiable sur la situation ancienne du Delta et son évolution, mais leur exploitation nécessite l'utilisation d'une mosaïque numérique rectifiée des déformations induites par la prise de vue.
- **Les scènes satellitales** : une quinzaine de scènes SPOT et une scène Thématic Mapper enregistrées depuis 1989 ont été acquises dans le cadre du projet.
- **Les documents cartographiques** sont variés en nature comme en qualité. Ils nécessitent une analyse critique minutieuse avant toute utilisation. D'autre part, l'extrême variabilité de la région (mobilité du réseau hydrographique, des pistes, des villages et des campements, des zones de cultures et du couvert végétal) impose une réactualisation fréquente et la possibilité d'effectuer un suivi fiable des mutations.
- **Les statistiques** sont issues d'études trés hétérogènes (enquêtes de cadrage, suivis réguliers, etc.).

Devant le flôt de ces informations hétérogènes, le Système d'Information Géographique doit présenter une bonne structure et avoir des couches bien définies en fonction des thèmes d'étude et judicieusement choisies pour que chaque utilisateur retrouve ses données sans trop d'interférences avec les autres.

Le SIG Delta (**ALLIANCE**) développé par l'UMR PRODIG et l'IER est aujourd'hui opérationnel et a été transféré au Mali (Bamako, Mopti en prévision) Il est simple d'utilisation et constitue un bon outil d'intégration des résultats du projet. Les travaux prévoient la conceptualisation et le développement d'applications du SIG (avec scénarios prévisionnels).

4.4 / Développement d'un système d'accumulation et de présentation organisée des résultats (ou « base d'information ») et mise en place progressive d'une « fonction observatoire ».

L'expérience montre que l'un des obstacles majeurs du fonctionnement en grand projet (et plus encore en projet pluridisciplinaire) est le retard à la révélation des résultats et connaissances produits par les différentes sous-parties ou par les différents chercheurs du projet. Ceci est lié à la logique de la reconnaissance/évaluation des chercheurs par les seules publications. Il s'ensuit que les expériences de croisement et de mise en interaction des informations (SIG, modélisation...) sont généralement réalisées à la fin des projets, ce qui interdit tout effet en retour positif sur le travail de terrain.

Pour remédier à cela, nous proposons de **développer un support informatique commun et valorisant (de type serveur WWW)** où les chercheurs pourront inscrire nominativement leurs résultats de façon assez extensive (cartes, graphes, tableaux, photos), même dans un état imparfaitement fini, et ceci au fur et à mesure de l'avancement de leurs travaux. Un système d'organisation de ces résultats basé sur une assistance à la navigation/consultation sera développé. Une fraction plus ou moins importante de ce serveur pourra être mise en accès externe, au profit de la communauté scientifique internationale, l'autre partie (résultats trop incomplets ou demandant validation) restera en accès interne aux membres du projet.

Une partie des informations mises sur le serveur sera constituée de résultats autorisant des comparaisons dans le temps (parce qu'il sont issus de systèmes de collecte permanents ou périodiques

et qu'ils sont issus d'un traitement aboutissant à un format standard). Rentrent par exemple dans cette catégorie le Bulletin semestriel du système de **suivi de la pêche**, les tableaux de **mesures hydrologiques et météorologiques**, les **images satellitales** obtenues chaque année à la même saison et traitées selon une procédure constante etc... Il est clair que l'ensemble de ces résultats que l'on peut qualifier de « récurrents » **présente un intérêt particulier** pour l'interprétation des autres résultats plus ponctuels mais aussi **pour l'information des « gestionnaires »** (instances politiques et administratives, ingénieurs des services intervenant dans le développement). C'est pourquoi il sera fait une présentation spéciale, conviviale et fortement commentée de cette partie du serveur, avec une édition papier diffusable à petite échelle. Cette partie prendra le nom de **« fonction observatoire ».** Une maquette démonstrative sera produite dès la fin de 1997.

D'ores et déjà, on doit signaler la réalisation d'un **CD-ROM Delta** par PRODIG et l'IER et la mise en chantier, toujours par PRODIG, d'un volet de **gestion électronique de documents**, traitant de manière aussi exhaustive que possible, des travaux réalisés dans le cuvette lacustre.

4.5 / Modélisation(s) dynamique(s) pour éclairer les comportements de l'écosystème actuel et pour explorer des scénarios d'aménagement possibles.

L'opportunité de lancer un programme de modélisation dans la Z.A. en accompagnement immédiat des recherches thématiques (et non pas quelques années plus tard) est liée à la condition de révélation rapide de résultats et de nouvelles connaissances par les programmes de terrain (*cf.* la notion de « base d'information » définie au § précédent). Réciproquement, l'effort de modélisation doit être suffisamment alerte pour envoyer sans tarder une information de retour susceptible d'appuyer les réflexions des chercheurs ayant un programme de terrain et capable de les encourrager à continuer dans la même voie ou bien à infléchir leur effort de collecte. On conviendra toutefois que les chercheurs de terrain resteront souverains (en dernier ressort) sur leur programme de collecte, tout en étant étroitement associés au développement du projet de modélisation.

Par souci de prudence, **la modélisation** se focalisera dans un premier temps sur la seule représentation des mécanismes d'édification des ressources vivantes (pâturages, poissons, et éventuellement cultures de riz) en les reliant aux mécanismes hydrauliques (circulation de l'eau) et géochimiques (apport ou régénération des sels nutritifs), le tout se déroulant sur des espaces-supports virtuels dont les caractéristiques géomorphologiques et pédologiques auront été définies de façon idéalisée mais représentative des principaux types d'agencement paysager que l'on rencontre dans le Delta. Il s'agit en quelque sorte de valoriser et de mettre en interaction les résultats et connaissances produits dans le cadre des objectifs scientifiques (cf. § 3.1 à 3.3.a). On aura compris que l'échelle temporelle ciblée est celle de la pulsation annuelle de production (sans oublier la phase de rétraction qui suit la « poussée ») et que l'échelle spatiale est celle des « zones » (la centaine de km^2, cf. § 3.4.2 et 4.1). A cette échelle, l'espace est loin de pouvoir être considéré comme homogène: les milieux sont différents, multiples, agencés dans l'espace de façon singulière, et il peut y avoir plusieurs occurrences du même type de milieu. De ce fait, les problèmes de simulation sont importants et appelleront sans doute l'utilisation de techniques informatiques avancées (I.A., systèmes multi-agents...).
Une fois que les mécanismes de la productivité annuelle auront été représentés convenablement, il faudra chercher à expliquer les variations interannuelles de la disponibilité des ressources. Cette étape pourra aussi être celle de la validation dans la mesure où l'on dispose à ce niveau de nombreuses observations. Puis on simulera des scénarios d'aménagements ou de changements dans l'utilisation de l'espace avec le souci d'en mesurer les impacts sur la (ré)génération des ressources, l'ensemble étant considéré sous différentes hypothèses (*assumption*) d'évolution hydroclimatique.

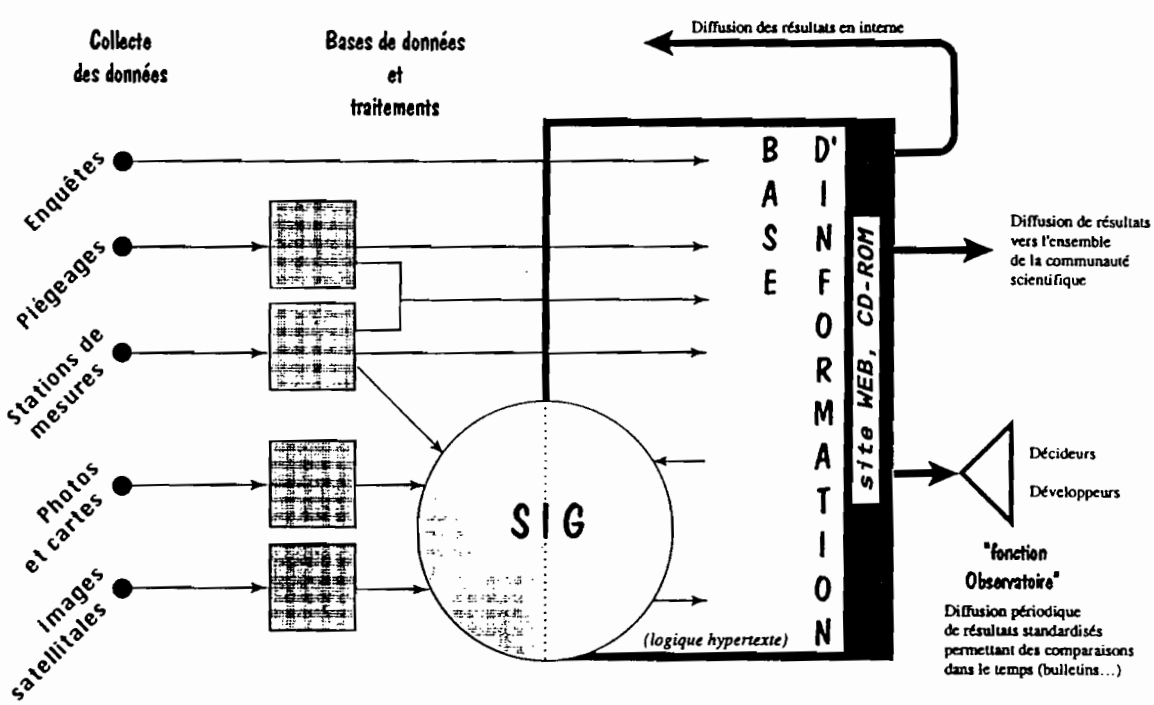
Un autre volet du projet de modélisation pourrait s'attacher à formaliser les connaissances produites dans la deuxième partie du thème 3.3 qui porte sur l'étude des choix de modes d'exploitation et de gestion (par les producteurs) et sur leur évolution dans le temps. En collaboration

avec les chercheurs en Sciences Sociales qui auront travaillé sur ces thèmes, il faudra mettre au point des sous-modèles de décision individuelle (ex.: ou vais-je pêcher demain?), des sous-modèles de négociation etc..., le tout dans un environnement plus ou moins contraint (règlements, interdits coutumiers...) et caractérisé par une circulation plus ou moins rapide de l'information. C'est seulement lorsque ces sous-modèles auront été formalisés puis testés en déroulement dynamique que l'on tentera le couplage de ce volet au précédent, l'ensemble pouvant conduire à des simulations de scénarios de gestion locale de la ressource sur un horizon de quelques années.

Enfin, un volet final pourrait consister à transférer à l'échelle globale (le Delta) les dynamiques simulées « par zone », ce qui suppose le développement et la maîtrise d'heuristiques d'interconnexion et d'agrégation des modèles locaux.

Le schéma suivant résume les processus d'accumulation, d'organisation et de restitution de l'information:

Processus d'accumulation, d'organisation et de restitution de l'information



5. Mode de fonctionnement

5.1 - Les équipes de recherche

1° Equipes pilotes :

1.1 - Institut d'économie rurale (IER)
1.2 - CNRST et Université du Mali (ENS,ISFRA)
1.3 - UMR 183 PRODIG (CNRS/Univ.Paris 1, 4 et 7)
1.4 - ORSTOM- U.R. « Grands basins tropicaux: dynamiques et usages »; laboratoire ERMES

2° Equipes coinvestigatrices :

2.1 - Direction nationale de la Météorologie (DN-Météo), Département Recherche
2.2 - Direction nationale de l'Hydraulique et de l'Energie, Département Recherche Hydrologique
2.3 - CEREG (Strasbourg)
2.4 - ORSTOM-Laboratoire de Mammalogie
2.5 - Univ. Aix-Marseille 3 - LECM

3° Equipes associées :

3.1 - Equipes associées à PRODIG : labo Géomorphologie de l'EPHE, CEGAN Paris X, UF Environnement Paris VII, labo Botanique U.Rennes I,
3.2 - Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales (EHESS)
3.3 - Institut des Sciences Humaines du Mali
3.4 - Orstom - Laboratoire des Formations superficiellles (Bondy)
3.5 - Orstom - Laboratoire de Microbiologie de Marseille
3.5 - INSU - LGBA de Bordeaux, LHCI Paris XI, UMR 5566 CNES/CNRS/Univ.Toulouse, UMR GBE Montpellier.

4° Les effectifs :
La liste proposée ci-après indique les participants identifiés avec, entre parenthèses, leur rattachement institutionnel (n° ci-dessus) et, en italiques, ceux consacrant moins de 30% de leur temps au projet.
- Enseignants et chercheurs:
C. H Diakité, O.Diallo, A. Kodio, T. Niaré, (1.1)
A.. Ballo, F. Bamba, A.Coulibaly, *M.Diallo Iam, A. Diarra*, C. Konde, *M.S. Maïga*, (1.2)
M.F. Courel, P.Chamard, J. Le Rhun, N. Ovtracht (1.3)
R. Arfi, V. Benech, J.P. Bricquet, *E. Chenin*, G. Mahé, P. Morand, *C. Mullon*, J.C. Olivry, D. Orange, Y. Poncet (1.4), J.P. Blanck (2.3), B. Sicard (2.4), *A. Cazaubon* (2.5)
- Ingénieurs :
F.S. Coulibaly, A. Djénépo (1.1), D.Z. Diarra, M. Konaté (2.1), N. Cissé, S. Diarra (2.2),
E. Leterrier (1.3), M. Gréard, A. Mahieux, B. Marieu (1.4), Y. Papillon (2.4),
- Doctorants :
S. Tounkara (Rennes), M. Adésir-Schilling, P. Legrosse, F. Le Marcis, O. Diallo, A. Kodio, (univ.Paris), J.P. Droux (Strasbourg), D. Diallo (Grenoble), C. Picoüet (Montpellier), W. Diarra, O. Pamanta (Bamako).
soit un total de 28 chercheurs et enseignants, de 11 ingénieurs et de 11 doctorants.

5.2 - Effort d'intégration des apports des différentes disciplines

En l'état actuel des choses, et pour les activités relatées, des collaborations sont déjà établies entre les principaux proposants, avec quelques actions communes qui restent à développer et une coopération active avec les institutions maliennes. Cette coopération formalisée pour PRODIG et l'ORSTOM avec le CNRST et l'IER est non seulement d'ordre institutionnel dans l'élaboration des programmes, mais aussi d'ordre scientifique dans des associations thématiques entre chercheurs maliens et européens et dans des tâches de formation ou d'encadrement universitaire pour des chercheurs et des étudiants. Le fonctionnement de cette zone atelier, originale dans le programme du GIP Hydrosystèmes, du fait de sa situation géographique en pays étranger, est organisé, on l'a vu, en réponse à une demande sociale définie par les partenaires maliens et une demande d'appui autour du projet malien d'Observatoire des Ressources Naturelles. Il implique une concertation permanente entre les deux communautés scientifiques, celles-ci devant être en prise directe avec les acteurs du développement .

Cette concertation a déjà abouti à retenir le principe de missions de terrain synchrones et conjointes au maximum de la crue (octobre) et en période d'étiage (mars ou avril).

5.3 - Principaux moyens liés au fonctionnement de la zone

La zone atelier du Delta intérieur du Niger présente l'intérêt pour les différentes équipes de recherche de proposer un certain nombre de moyens logistiques facilement accessibles aux intervenants, que ce soit à Mopti (pinasse pour déplacements dans le Delta, base IER de Mopti, embarcations légères, appui en personnel de terrain) ou à Bamako (base Orstom : moyens informatiques, réseau Internet, laboratoires, véhicules Orstom et CNRS etc., base Sotuba de l'IER et laboratoires de l'Université, bureaux et laboratoires de la DNHE et de la DN-Météo). L'Orstom dispose aussi d'un ULM à Bamako.
Des équipements complémentaires en moyens navigants, en véhicules et en équipements de laboratoire ou de mesures sur le terrain sont à prévoir.

5.4 - Coordination du projet :

Il a été convenu de partager les tâches de coordination au niveau des équipes maliennes et françaises. Par cooptation, les participants identifiés du projet proposent, comme coordinateurs principaux :

- M. Mamadou DIALLO IAM, Directeur Général du CNRST,
- M. Jean-Claude OLIVRY, Directeur de Recherche à l'Orstom.

Des coordinateurs délégués sont identifiés comme suit :

-au Mali,

- M. Tiéma NIARE, Maître de Recherche à l'IER (aspects hydrobiologiques et halieutiques),
- M. Cheick Hamala DIAKITE, Ingénieur à l'IER (bases de données et SIG),
- M. Didier ORANGE, Chargé de Recherche à l'Orstom (milieu physique),
- M. Bruno SICARD, Directeur de Recherche à l'Orstom (mammalogie),

- en France,

- Mme. Marie-Françoise COUREL, Directeur de Recherche au CNRS (Télédétection, SIG, Sciences.Sociales),
- M. Pierre MORAND, Chargé de Recherche à l'Orstom (Biostatistique et modèle intégré).

Un comité de pilotage, comprenant les personnes ci-dessus et plusieurs personnalités extérieures au projet, pressenties par la partie malienne, le GIP Hydrosystèmes et les bailleurs de fonds, est chargé du suivi de la Zone Atelier, de la programmation des opérations, en adéquation avec les objectifs définis, et de l'éventuelle agrégation de participations nouvelles.
Ce Comité se réunit deux fois par an - en mars et en octobre - une fois au Mali, une fois en France. La réunion d'octobre au Mali est l'occasion de la tenue d'un atelier annuel de présentation de l'avancement des travaux par les différents participants présents ou représentés.

6. Moyens financiers

6.1 - Financement propre des institutions participant au projet

La contribution propre des institutions participant au projet, en dehors des salaires des personnels permanents et des coûts d'infrastructure, peut être **estimée en 1997** comme suit :

DN-Météo Mali : frais de fonctionnement, tournées de contrôle, traitement des informations, paye des observateurs, petits équipements :

30 000 F

DNHE -Hydrologie Mali : frais de fonctionnement, tournées des brigades hydrologiques, réfection de stations, fournitures diverses et paye des observateurs :
40 000 F
CNRST et Université du Mali (ENS,ISFRA...) : crédits de fonctionnement :
30 000 F
IER (Bamako et Mopti) : frais de fonctionnement, déplacements sur le terrain, petits équipements et fournitures diverses, frais d'enquêtes :
50 000 F
UMR PRODIG (Paris) : imagerie satellitale et traitement, frais de mission sur le terrain, fonctionnement 100 000 F
ORSTOM - UR Grands bassins tropicaux (Bamako, Montpellier) et laboratoire ERMES (Orléans) : fonctionnement, petits équipements, travaux sur le terrain, voyages et missions :
200 000 F
ORSTOM - Labo de mammalogie (Bamako), labo d'analyses (Bondy) : campagnes de piégeage, frais de mission et frais d'analyses :
40 000 F
INSU Laboratoires d'analyse (Toulouse, Bordeaux) : frais d'analyse :
20 000 F
CEREG (Strasbourg): Mission sur le terrain et traitement données :
20 000 F
Univ. Aix-marseille III (Hydrobiologie) : Mission sur le terrain et analyses (algues et plancton)
20 000 F
soit un total de **550 000 F** dont 400 000 F pour les laboratoires français.
Du fait de restrictions budgétaires générales, la contribution des institutions françaises pour ces travaux sur le Delta Intérieur du Niger, qui concernent aujourd'hui davantage d'intervenants, n'atteint pas le niveau de 1996 et est très en deça des budgets de 1994 et 1995.

Il convient toutefois d'ajouter à ce budget de fonctionnement le soutien apporté par les institutions à titre individuel à quelques chercheurs maliens (stages, formation, accueil et missions) qui peut être évalué à 100 000 F/an.

6.2 - Perspectives de financements extérieurs

La réalisation du projet de zone atelier, dans toutes ses composantes et ambitions affichées, dépend pour beaucoup de l'obtention de sources extérieures de financement. Il est probable que le « label » Zone Atelier du GIP Hydrosystèmes constituerait un atout auprès des bailleurs de fonds français, voire européens. Il paraît cependant difficile, et peut-être illusoire, d'envisager la prise en compte par un bailleur de fonds unique de l'ensemble du projet, compte tenu de la diversité des recherches entreprises dont une partie, pourtant indispensable à la compréhension du système, se situe très en amont du questionnement sur un développement durable.

- Le Ministère français de la Coopération a déjà fourni dans le passé un appui important (crédits FAC) et continue à intervenir ponctuellement par des subventions plus ou moins aléatoires attribuées au coup par coup au niveau du Ministère ou de la Mission Française de Coopération et d'Action Culturelle de Bamako. La Coopération française est cependant la mieux placée pour prendre en compte ce projet à un niveau significatif des dépenses de fonctionnement et d'équipement.

- Les appels d'offre des Communautés Européennes (en particulier DG III et DG XII) constituent aussi une réelle opportunité mais avec des délais de sélection très longs et incertains. D'ores et déjà, on doit signaler que la convention SIMES répondant à un appel d'offres INCO-DC a été retenue par la DG III; cette convention concerne l'INRIA, l'ORSTOM et l'IER et dès juillet 1997, l'IER disposera de 65 kF par an pour le suivi de la pêche, thème qui sera soutenu par l'ORSTOM (Ermes), avec la mise en place de la « base d'information », à hauteur de sa dotation pour le Mali de 65 kF/an.

- Les Nations Unies (DADSG) préparent actuellement les termes de référence d'un projet sur le fleuve Niger sur le thème « environnement et développement durable des zones humides en Afrique » pour financement par le Fonds Mondial sur l'Environnement (GEF); la mise en oeuvre d'un tel projet, relativement longue lorsqu'elle concerne plusieurs états (comme pour le lac Tchad, en cours de montage), devrait laisser une place importante au Mali, notre projet étant particulièrement en phase avec les préoccupations du GEF. Un soutien complémentaire devrait pouvoir être obtenu auprès du Fond français sur l'Environnement Mondial (Caisse Française de Développement) ou même précéder le projet international.

- Projet PAMOS (FAO) pour le suivi de la pêche.

- D'autres sources de financement peuvent aussi être recherchées (PROCOPE, OSS-ROSELT...)

-Des actions incitatives telles celle de l'INSU avec, en 1997, le Programme National de Recherche en Hydrologie (axé sur la recherche fondamentale) ou celle de l'ORSTOM portant sur la modélisation des systèmes complexes pourraient apporter un soutien important au projet.

- Enfin, au plan individuel ou de petites équipes maliennes, des sous-programmes du projet pourraient être retenus par l'AUPELF-UREF ou AIRE Développement.

6.3 - Financement demandé au GIP Hydrosystèmes :

Le financement demandé concerne le fonctionnement de la Zone Atelier en tant qu'outil fédérateur des actions de recherches multidisciplinaires, soit principalement :

- le soutien aux réunions du groupe de coordination du projet et du Comité de pilotage. Le caractère international de la zone atelier implique en particulier la prise en charge des déplacements semestriels des responsables, soit au Mali, soit en France. L'organigramme proposé permet d'estimer les besoins à environ 100 000 F/an (une dizaine de voyages et frais de mission sur Bamako-Paris et Paris-Bamako, calculés sur un voyage d'une semaine).

- le soutien à la diffusion de documents et aux échanges de données; il s'agit là de prendre en compte les frais d'élaboration de CD-Rom, de pages Web, du fonctionnement des liaisons Intranet ou Internet et de la gestion électronique de documentation (vacation personnel spécialisé); un bulletin annuel regroupant les principaux résultats à l'usage des utilisateurs est prévu (dans la perspective du futur observatoire). L'ensemble de ces actions est estimé à 50 000 F/an.

- le soutien à la formation impliquant, d'une part, un appui à des doctorants pour des missions dans des laboratoires d'accueil, missions liées à leurs travaux de recherche, et, d'autre part, un appui à des stages techniques d'initiation ou de perfectionnement à des outils de recherche mis au point ou utilisés dans le cadre de la zone atelier (SIG, télédétection, modélisation, technologies d'acquisition des données). Ce soutien à la formation est estimé à 50 000 F/an.
L'ensemble du financement demandé au GIP Hydrosystèmes pour l'animation, la diffusion des résultats, la formation et le fonctionnement global de la zone atelier (à l'exclusion des recherches elles-mêmes) totalise **200 000 F par an**.

7. Conclusions

La présentation de ce projet de zone atelier s'est efforcée de situer le contexte particulier de l'Hydrosystème Delta Intérieur du Niger en soulignant :

- le caractère international de l'étude, basée sur une forte coopération entre équipes de recherches du Mali et de France (coopération déjà ancienne et appréciée par les deux parties), mais qui ne demande qu'à s'ouvrir à d'autres collaborations (européennes,e.g. Univ.Wageningen, mais aussi régionales en Afrique de l'Ouest, par la mise en commun d'expériences de recherche),

- la demande sociale, non seulement relayée par la partie malienne mais aussi prise en compte par l'ensemble des équipes mobilisées pour une recherche scientifique pour le développement, et qui porte notamment sur un développement durable et raisonné de la production par l'amélioration des systèmes traditionnels d'exploitation et de gestion, la prise en compte des risques liés à une surexploitation et de ceux liés aux changements hydroclimatiques et aux problèmes environnementaux d'une zone humide unique en Afrique de l'Ouest,

- la forte densité des opérations de recherche entreprises ou à entreprendre, avec un contenu scientifique particulièrement riche et souvent innovant et la mise en oeuvre d'outils dont la conceptualisation ressort également d'une démarche scientifique. A ce titre, la zone atelier du delta intérieur du Niger n'est pas sans rappeler la démarche de la Zone Atelier « Charente » ou « Garonne ».

- la volonté affirmée des équipes de travailler en commun dans une approche intégrée, par les inter-relations des programmes, les interconnexions affichées dans l'acquisition et le traitement des données et les échanges scientifiques; on est très loin d'une simple juxtaposition de programmes.

Le contenu scientifique détaillé des programmes ne pouvait apparaître dans ce document, mais des fiches programmes existent (ne serait-ce qu'au niveau interne des institutions) et nous donnons en fin d'annexes quelques fiches récapitulatives établies par les équipes en place au Mali.

ANNEXES /Les acquis du Programme scientifique :

A 1 / Quelques ouvrages de référence :

Brunet-Moret (Y.), Chaperon (P.), Lamagat (J.P.), Molinier (M.), 1986.-*Monographie hydrologique du fleuve Niger.* Paris, ORSTOM, Tome 1 : Niger supérieur 396 p.,Tome 2 : Cuvette lacustre et Niger moyen, 5O6 p.

Quensière (J.) Ed.sc. , 1994.- *La pêche dans le delta central du Niger.Approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique.* Paris, IER-ORSTOM-KARTHALA, Volume 1 : 495 p., Volume 2 : cartes hors-texte .

Olivry (J.C.), Boulègue (J.) Eds scs., 1995.-*Grands bassins fluviaux périatlantiques : Congo,Niger,Amazone.Actes du Colloque PEGI 22-24 nov 1993* . Paris, ORSTOM, 505 p.

Courel (M.F.), Chamard (Ph.), Le Rhun (J.), Jacqueminet (C.),Togola (M.), 1993 - Evolution récente d'un hydrosystème continental : le Delta Intérieur du Niger au Mali . *Journées du Programme Environnement CNRS/ORSTOM, Lyon, janvier 1993* .

Blanck (J. P.), Besnus (Y.), Pion (J.C.), Dumas (D.), 1996 - Systèmes naturels, paléoenvironnements et paléoécoulements au Sahel. Apports des données satellitaires. L'exemple du Gourma lacustre (Mali) .

(BIBLIOGRAPHIE du projet « MODELISATION de la RESSOURCE et de la PECHE dans le Delta »

Bousquet F. (1994): Des milieux, des poissons, des hommes: étude par simulation multi-agents, le cas de la pêche dans le Delta Central du Niger. Thèse de Doctorat, Université Cl. Bernard, Lyon.

Bousquet F., C. Cambier, C. Mullon, P. Morand, J. Quensière et A. Pavé. (1993): Simulating the interaction between a society and a renewable resource. *Journ. Biol. Systems*, 1(2) : 199-214.

Bousquet F. , C. Cambier et P. Morand (1994): Distributed artificial intelligence and object-oriented modelling of a fischery . *Mathl. Comput. Modelling*, Pergamon, 20 (8): 97-107.

Morand P. et F. Bousquet (1994): Modélisation de la ressource: relations entre l'effort de pêche, la dynamique du peuplement ichtyologique et le niveau des captures dans un système fleuve-plaine. *in* Quensière J. (ed. sc.) *La pêche dans le Delta Central du Niger: approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique.* IER-Orstom-Karthala, 267-281.

Morand P., F. Bousquet et C. Cambier (1995): Un modèle d'écologie des pêches pour le Delta Central du Niger. Etude par simulation de la dynamique d'une ressource icthyologique et de son exploitation dans un espace fluvial tropical. pp. 241-260 *in* Gascuel, Durand et Fonteneau (eds. sc.): *Les recherches françaises en évaluation quantitative et modélisation des ressources et des systèmes halieutiques.* ORSTOM editions.

A 2 / Quelques données sur les travaux récents des équipes du projet (rapport mai 1996)

Axe 1 : Transferts d'eau et de substances dissoutes ou en suspension:

Dans les faits, on peut citer les résultats suivants :

1°/ Flux et bilans hydriques et de matières : Quantification des entrées liquides, en suspension et dissoutes dans le Delta intérieur (apports du Niger et du Bani),des sorties du Delta amont au niveau du lac Débo, puis du Delta aval à Diré . Calcul des pertes en eau dans le Delta par évaporation et des dépôts de sédiments et de matières dissoutes, reprises saisonnières d'une partie des dépôts . Les pertes en eau varient de 40 km3 à 6 km3, soit 47% des entrées en période humide et 30% en période sèche du seul fait de la réduction des zones inondées . Le tonnage de matières en suspension arrivant dans le Delta a varié de 1 million de tonnes en 1992 à 2,3 millions de tonnes en 1994, avec des dépôts dans le Delta respectivement de 250 000 t. et 900 000 t. en année sèche et humide. En 1992, la charge dissoute a été de 1,2 million de tonnes en entrées et on a mesuré un dépôt de sels de 300 000 t. Silice et bicarbonates représentent l'essentiel des constituants dissous dont la concentration moyenne est de 50 mg/l .
L'observation d'années humides en 1994 et 1995, après plus de vingt années déficitaires va permettre de modéliser le devenir des flux de matière dans la traversée du Delta à partir de la chronique hydrologique. (programme EQUANIS - Orstom / CNRST) . (Principaux intervenants : J.C. Olivry, J.P. Bricquet). L'analyse qualitative et quantitative des suspensions et des sables (chimie, minéralogie, granulométrie) et des matières dissoutes (chimie minérale, chimie organique, isotopes de l'eau) a fait l'objet de différentes études (notamment la thèse de L. Gourcy, Paris XI), ainsi que les flux de méthane sous bourgoutières,rizeraies ou eaux libres, et, plus récemment, l'évaluation de l'impact des activités humaines sur la qualité des eaux du Niger dans le Delta (thèse en cours de C. Picouët). Des mesures de turbidité sur les mares et biefs actifs du réseau ont été mis en relation avec la réponse radiométrique des images SPOT (collaborations Orstom/Imagéo). Les apports atmosphériques (chimie des pluies et poussières)sont suivis sur le bassin amont et le Delta et leur étudea mis en évidence des phénomènes de turn-over sur le bassin (collaborations Orstom/IDAF). Le programme Equanis constitue, *pro parte*, un chantier du Programme « Environnement de la Géosphère Intertropicale » (PEGI) achevé en 1997.

2°/ Extension de l'inondation et suivi du Delta par télédétection satellitale : Un modèle hydrologique de calcul de l'extension maximale annuelle de l'inondation dans le Delta a été proposé sur la base des données du maximum de crue et du volume des pertes annuelles.Il doit être confronté au dépouillement des archives NOAA-AVHRR disponibles à Ispra sur 15 années (programme Equanis).

Les effets de la sécheresse sur l'évolution du Delta ont été suivis par télédétection satellitale dans les plaines inondables de sa partie méridionale et sur l'ensemble lacustre formé par les lacs Korientzé, Débo et Walado, avec une partie importante de travaux de terrain (vérité sol) et des travaux

de laboratoire centrés sur l'exploitation de l'imagerie SPOT . Sur le terrain, on a notamment procédé à la reconnaissance des formations floristiques aquatiques, herbacées et ligneuses, à des mesures radiométriques répétées, des mesures de températures de surface, du rayonnement solaire et de l'épaisseur optique, mesures faites au moment du passage du satellite SPOT, à des prélèvements de sédiments et de depôts fluviaux et à la localisation des lieux d'observation à l'aide du GPS Magellan . Au laboratoire, le traitement des bandes SPOT en période de basses eaux, hautes eaux et de transition, de 1989 à 1995, a permis de dresser une cartographie des unités végétales (indice de verdeur), des espaces cultivés en riz, de l'évolution des superficies cultivées, inondées ou couvertes de prairies aquatiques naturelles, de localiser les mares en suivant leur comportement hydrologique et en identifiant leurs usages et de mettre à jour la cartographie du réseau hydrographique et du système de mares. Il faut enfin signaler la conception et la réalisation d'un SIG, mis en place en 1995 à l'IER de Bamako et au LHM de Mopti . Ces travaux sont réalisés par le laboratoire PRODIG / CNRS (principaux intervenants : M.F. Courel, P. Chamard).

Une autre approche de l'étude des modalités de l'inondation par la crue du Niger a consisté à exploiter l'imagerie LANDSAT MSS et MSS 7 pour la crue de 1984, la plus faible, et celle de 1973, plus en rapport avec les observations faites jusqu'en 1993; elle a permis d'établir une carte des variations spatiotemporelles des surfaces inondées. Les travaux s'orientent aujourd'hui vers une analyse multitemporelle des données NOAA-AVHRR sur quatre années (Programme du CEREG, principal intervenant :J.P. Blanck) .

3°/ Géomorphologie : Le laboratoire IMAGEO (PRODIG aujourd'hui), dans la continuité des travaux déjà évoqués, a travaillé sur un inventaire cartographique des unités de paysages, en évaluant notamment les variations des écotones terre-eau et en faisant ressortir les secteurs écologiquement les plus fragiles du Delta (intégration des données dans un SIG) . Imagéo a en particulier travaillé sur la reconnaissance géomorphologique et biogéographique de la partie méridionale de l'erg de Niafunké inondable, au sud du parallèle de Sah, sur les saignées pratiquées dans les levées et les berges des mayodji et leurs effets induits sur les modalités de la mise en eau des plaines deltaïques et a commencé la reconnaissance systématique du férou Dialloubé (partie exondée du delta située entre le Diakka et le mayo Dembé et au nord de Dialloubé.

Le CEREG a travaillé, d'une part, sur les transformations de la dynamique des milieux naturels sous l'effet de la sécheresse avec études de l'assèchement des lacs, des modifications des caractéristiques hydrodynamiques des formations superficielles et des sols et des actions éoliennes, et, d'autre part, sur les paléoécoulements er paléoenvironnements dans le Gourma lacustre.

Axe 2 : Systèmes biologiques :

Les équipes de recherche ont travaillé dans les domaines suivants :

1° / Formations végétales : L'UMR Prodig (Imagéo) et le CEREG ont notamment travaillé sur l'évolution des surfaces couvertes de bourgou dont l'extension s'est considérablement réduite avec la sécheresse . *Echinochloa stagnina* constitue une ressource fourragère précieuse pour les troupeaux du Nord qui rejoignent le Delta à la fin de la saison humide . Le Cereg a montré que le recul du bourgou s'est accompagné au sud du lac Débo du développement d'un arbuste épineux, *Mimosa asperata*, mais les dernières années plus humides ont permis une recolonisation du milieu par les bourgoutières. Imagéo a cartographié (à partir de la télédétection évoquée plus haut) les espaces couverts par les rizières (largement développées par suite de la reconversion des pêcheurs), les vétiveraies, panicaies,oryzaies et bourgoutières, dans les plaines inondables situées entre Niger et Diakka; ces données ont été intégrées au SIG Imagéo. Les observations se sont poursuivies sur les éventuels changements de la composition floristique des formations prairiales, consécutives aux crues plus fortes de 1994 et 1995.

2° / Recherche halieutique dans le Delta Central : On ne peut pas ne pas citer le grand programme pluridisciplinaire sur la pêche dans le Delta qui s'est achevé en 1994 par la publication d'un ouvrage important et un séminaire de restitution des résultats tenu à Bamako . Ce programme ORSTOM / IER , dirigé par J. Quensière et T.Niaré a eu pour principaux collaborateurs, dans l'axe « Systèmes biologiques », V. Benech, R. Laé, P. Morand et Y. Poncet ; il est à l'origine des travaux actuels . Le potentiel de production halieutique a fait l'objet de simulations diverses grâce au modèle SimDelta; il est également étudié à partir de statistiques de commercialisation de l'Office des pêches de Mopti.

3° / Système de suivi de la pêche : A partir des recherches antérieures, l'IER et l'Orstom ont retenu trois zones test sur lesquelles sont suivis les différents paramètres d'une évaluation de la ressource halieutique . La collecte des données de ce système de suivi a été planifiée de telle sorte qu'elle puisse fournir des informations sur les dynamiques locales réparties sur trois zones de 75 à 150 km2 . Des tournées régulières, focalisées dans les régions de la mare de Batamani, du lac de Korientzé et du Walado et Diakka aval, ont été réalisées en 1994 et 1995; elles ont coïncidé avec une reprise de l'hydraulicité du fleuve Niger et une « explosion » de la production halieutique en 1994 ; en 1995, la crue a été plus brève et les captures ont été beaucoup plus réduites, ce qui nécessitera sans doute l'introduction de paramètres d'ajustement dans le modèle SimDelta. . Les travaux en cours se sont portés sur la finalisation d'un système informatisé et convivial de mise à disposition d'indicateurs localisés sur l'état et la dynamique de la ressource dans le Delta à partir des données acquises par le système de suivi de la pêche . Réalisés en collaboration avec l'IER à Mopti, ces travaux devraient se poursuivre à Orléans, au laboratoire ERMES de l'Orstom . P. Morand est le chercheur principal de l'opération .
En complément de ces travaux, un volet « géographie de la pêche » a été développé par Y. Poncet; de nombreuses reconnaissances de terrain ont permis de préciser l'extension de l'inondation, notamment dans le système lacustre de rive droite qui a immédiatement retrouvé des pratiques halieutiques absentes depuis un quart de siècle (crue 1994) . Un SIG Pêche de petite échelle, couvrant l'ensemble du Delta, a été réalisé à Bamako; il intègre l'ensemble des donées de la banque du projet DCN achevé en 1994.
Ces outils ont pour objectif de restituer aux utilisateurs et aux décideurs les informations nécessaires à une gestion halieutique optimisée.

4° / Hydrobioécologie : Le renouvellement des stocks ichtyologiques conditionne l'activité de pêche. L'ichtyofaune exploite différemment les différents biotopes de l'écosystème durant le cycle hydrologique, avec ce que cela implique comme déplacements des espèces, du fleuve vers les plaines d'inondation puis leur retour au fleuve . Les travaux cherchent à déterminer les modalités d'exploitation de l'hydrosystème par les poissons et à hiérarchiser l'importance des différents milieux pour le renouvellement des stocks exploités. Les migrations sont suivies par électrolocalisation des Mormyridés qui permet de situer les zones de frayères et les nurseries, en attendant d'utiliser des techniques de radio-pistage. Plusieurs missions ont été effectuées au moment de l'inondation (août et septembre) en 1994 et 1995. L'Orstom est associé à l'IER (chercheurs principaux : V. Benech et T. Niaré) et entretient des collaborations avec des chercheurs américains (Cornell University). L'affectation de V. Bénech au Mali permet de développer les recherches sur le rôle des différentes formations végétales, du phytoplancton, du zooplancton et du périphyton dans le développement de l'ichtyofaune.

5° / Bio-écologie des Rongeurs : L'analyse des peuplements de rongeurs sur différents sites du Delta est menée dans la continuité des programmes d'étude menés par l'Orstom au Mali (équipe de B.Sicard) sur les mécanismes écophysiologiques de régulation des pullulations de rongeurs et sur la biogéographie des rongeurs de la bande soudano-sahélienne. Les travaux sont menés sur trois niveaux : les niveaux micro-local et local permettent de relier certains éléments du paysage (corridors) et les flux de déplacement des individus (importance et diversité) et de caractériser certaines particularités du paysage (fleuve ,plaines submergées) pouvant constituer des filtres ou des barrières à la dispersion

des populations; le choix de la mare de Batamani a été fait en rive gauche du Niger qui constitue une réelle barrière bio-écologique. Le niveau régional est abordé sur l'ensemble du Delta et des misions de reconnaissance ont été effectuées en 1995 . Des techniques de radio-pistage doivent être développées en 1997.

6°/ Bases écologiques des systèmes de production : Des réflexions ont été entreprises au niveau des équipes des points 3, 4 et 5 qui précèdent pour développer une synergie entre les actions relatives à la « Pêche », au « Poisson » et aux « Rongeurs ». Ces recherches conjointes doivent contribuer à l'identification des bases écologiques des systèmes de production (agriculture,élevage,pêche) et à la connaissance des interactions (synergiques ou antagonistes) de ces systèmes à une échelle fine qui correspond à un « terroir » pour le pêcheur, l'agriculteur et l'éleveur ; un lien très concret avec le milieu humain est déjà établi avec les opérateurs du développement et pourrait se développer encore par l'implication de chercheurs en socio-économie .

Axe 3 : Sociétés et hydrosystèmes :

On relèvera :

1° / Etudes socio-économiques de la pêche : Elles ont surtout été marquées par la publication des résultats du programme IER/Orstom sur la pêche (resp. J. Quensière) et des missions d'appui à l'IER de chercheurs de l'Orstom (Weigel, Laé, Morand et Chaboud) .Enfin la contribution d'Y. Poncet (géographie de la pêche et SIG) permet de prévoir une représentation synthétique de ces résultats . Les aspects socio-économiques de la pêche (inclus dans les études halieutiques) et des autres activités sont marqués par le constat, au cours des deux dernières années d'une meilleure hydraulicité du fleuve, d'une dynamique économique très rapide et d'une recomposition des usages dans le contexte de la décentralisation administrative du Mali (Chaboud, Orstom Montpellier).

2° / Espace et identité, anthropologie : Depuis la publication des études du programme sur la pêche dans le delta central (1994), les études Orstom se sont surtout reportées sur la rive gauche du Niger et du Diakka, dans le Maasina . De nombreuses publications de C. Fay et des partenaires maliens qu'il encadre ont été produites. Par ailleurs B. Kassibo de l'IER a poursuivi les analyses engagées dans la région de Kona et sur les zones test .

3° / Dynamiques paysannes : Deux thèses d'Université sont actuellement en voie d'achèvement dans le cadre d'un encadrement doctoral de PRODIG / Imagéo et de l'EHESS . La première s'est attachée, dans le contexte des transformations des paysages du Delta, à étudier dans le Kotiya, coeur du Delta entre Diakka et Niger, les ressources, les hommes et l'espace partagé, en développant les thèmes suivants : histoire du peuplement et du développement agricole, le fait démographique, les systèmes de production, les nouveaux systèmes de relation créés autour du riz, l'organisation pastorale, les maîtrises foncières et les enjeux de pouvoirs . Variabilité, instabilité et changements caractérisent cette région et montrent la difficulté de figer les limites de territoires, terroirs, associés aux modes d'occupation des sols . M. Adésir fournit avec le SIG Imagéo un outil de gestion optimisée pour le Kotiya.
La seconde thèse, préparée par P. Legrosse, étudie la transhumance au bourgou et plus largement la gestion de l'espace pastoral au Maasina . Ce travail d'anthropologie sociale et d'ethnologie a montré l'importance et l'enjeu des parcours dans l'organisation des maîtrises pastorales ; la compréhension des dynamiques à l'oeuvre dans la crise actuelle des systèmes de production du Delta a impliqué de connaître intimement l'histoire du finage considéré, des pistes et gîtes pastoraux ainsi que des pouvoirs qui les coiffent .

4° / Le Foncier-Environnement : Dans cette contribution, pour une gestion viable des ressources naturelles renouvelables au Sahel, O. et C. Barrière (CNRS/Coop./accueil Orstom), ont tenté une nouvelle approche reposant sur l'étude juridique et anthropologique des différents systèmes

d'exploitation du Delta et de leurs interactions . Ils ont montré l'imbrication fondamentale du fonds (défini comme substrat, support des éléments biotiques) et de l'environnement (constitué des ressources renouvelables ,en tant qu'enjeu de relation de pouvoirs) .Trois échelles d'observation ont été considérées: terroir villageois, province et région . Le binôme espace-ressource est pris comme unité d'observation et comme concept opératoire à toutes les échelles; la relation homme-milieu est explorée en décortiquant l'armature foncière de chacun des systèmes d'exploitation pris isolément et en interaction avec les autres; le jeu des rapports socio-politiques qui animent la scène sociale et le contexte socio-juridique qui favorise ce jeu ont été étudiés . Le but visé est de penser les principes d'un droit qui intègre la nécessité de la coviabilité à long terme de la biodiversité et de la diversité culturelle, qui précise les droits des acteurs sociaux sur les espaces-ressources et qui se substitue au modèle propriétariste actuel mal adapté aux aspirations d'une politique de décentralisation. Une synthèse importante de ces travaux, empruntant une voie anthropo-juridique originale,a été publiée en fin 1995 et illustre bien les problèmes rencontrés sur les « terroirs » de l'hydrosystème Delta .

On doit noter par ailleurs l'implication très forte d'anthropologues et de sociologues maliens (IER) et la mise en place de l'Observatoire National du Foncier (soutien financier de la Caisse Française de Développement) également concerné par le Delta Central

A 3 / Actions d'animation

- Colloque international sur l'environnement des grands bassins fluviaux peri-atlantiques (Congo, Niger, Amazone) en novembre 1993 à Paris . (Orstom / INSU) .
- Séminaire sur la pêche dans le delta central du fleuve Niger tenu en novembre 1994 à Bamako, au Centre Culturel Français . (Orstom / IER)
- Table ronde sur la pêche au Mali, magazine télévisé de l'ORTMali, novembre 1994 .
- Atelier d'information sur la pêche dans le Delta, à Mopti, à destination des opérateurs économiques et des associations de paysans et pêcheurs. (octobre 1995) .
- Conférence sur la recherche halieutique dans le Delta, à Paris (Orstom) en mai 1995 .
- Démonstration du SIG Delta à Bamako par PRODIG/ Imagéo et préparation de son transfert à Bamako et à Mopti (IER) en novembre I995 .
- Tournage du vidéo film GARATOU (le delta pendant les hautes eaux de novembre 1995) convention CNRS Paris X- ORTMali, montage en cours d'achèvement .(PRODIG) .
- Démonstration du SIG Pêche à Bamako (Orstom / IER) . Décembre 1995 .
- Réunions de travail multidisciplinaires à Bamako en juin 1994 et juin 1995, puis en mars 1996 et en décembre 1996; à Paris en mai 1995 et janvier 1996. Séminaire franco-malien en janvier 1997 à Paris sous l'égide du GIP Hydrosystèmes
- Association de l'Orstom, comme conseiller scientifique, à la réalisation du film « Vallées du Niger » de FR3 en 1994.

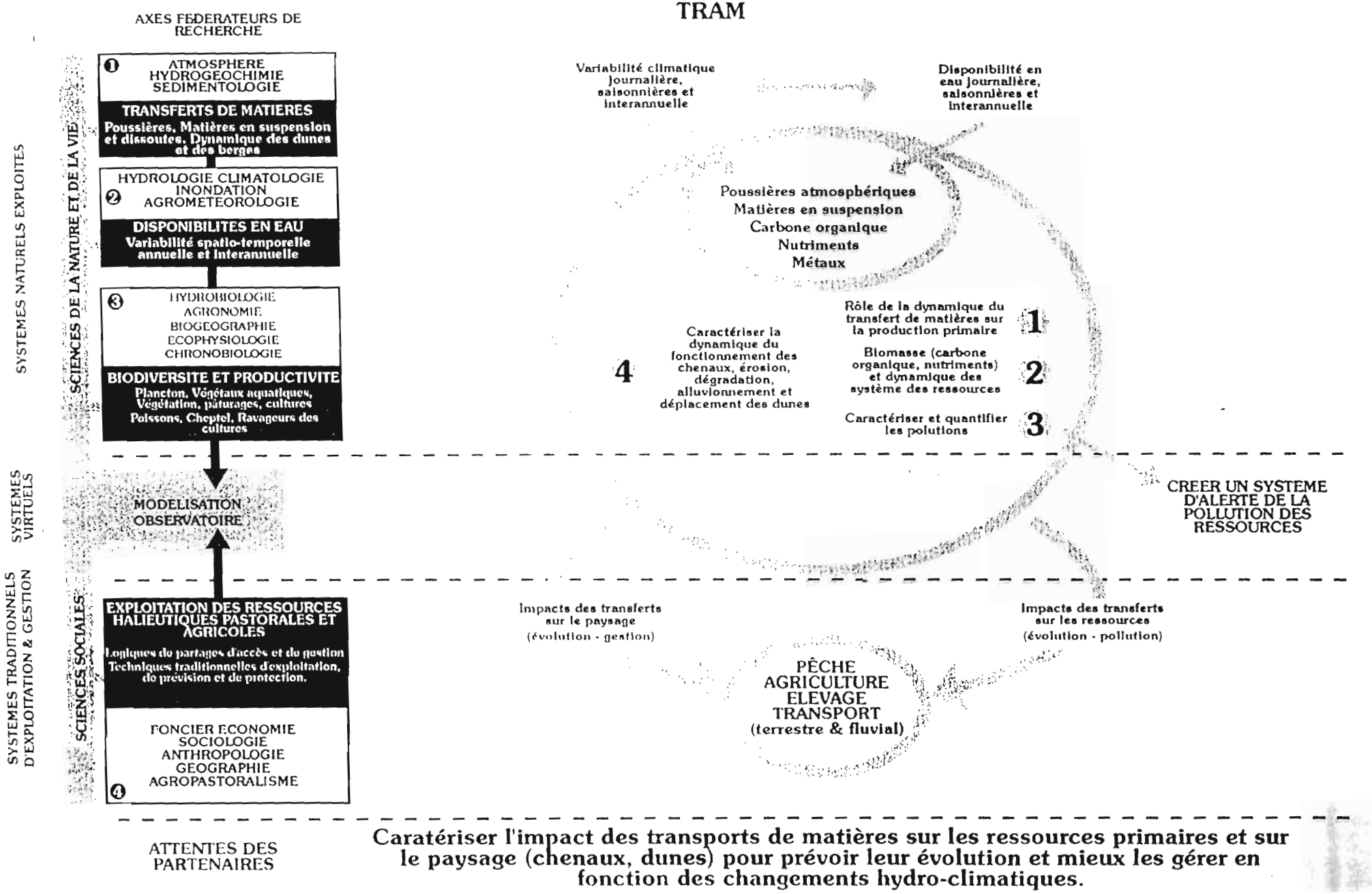
Outre les collaboration scientifiques franco-maliennes largement évoquées dans ce rapport, des relations se sont développées avec les responsables maliens des Directions ministérielles concernées et des opérateurs économiques . On citera en particulier la Direction de la Recherche Scientifique et Technique (MESSRS), la Direction Nationale des Eaux et Forêts avec sa Division Pêches (Développement rural et environnement), la Division de Protection des Végétaux au même ministère, l'Administration territoriale (gouvernorat de Mopti) et l'Opération Pêche de Mopti. Des relations suivies sont entretenues avec des ONG Développement et en particulier avec les projets de l'Association Française des Volontaires du Progrès et l'UICN qui a développé plusieurs actions au Mali (siège en Suisse).

Signification des principaux sigles ou acronymes cités dans le texte :

CEGAN :	Centre d'Etudes Géographiques sur l'Afrique Noire
CEREG :	Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques
CIRAD :	Centre International de Recherches Agronomiques pour le Développement
CNRS :	Centre National de la Recherche scientifique
CNRST :	Centre National de la Recherche Scientifique et de la Technologie
DNHE :	Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie
DN-Météo :	Direction Nationale de la Météorologie
EPHE :	Ecole Pratique des Hautes Etudes (Géomorphologie)
ENS :	Ecole Normale Supérieure
ERMES :	Laboratoire Orstom « Etudes et Recherches sur les Milieux Et Sociétés »
GBE :	Unité mixte de recherche CNRS/Univ Montpellier 2/Orstom « Géofluides,Bassins,Eau »
IER :	Institut d'Economie Rurale
INRIA :	Institut National de Recherches en Informatique Appliquée
INSU :	Institut National des Sciences de l'Univers
ISFRA :	Institut Supérieur de Formation à la Recherche Appliquée
LECM :	Laboratoire des Eaux Continentales Méditerranéennes
LGBA :	Laboratoire de Géologie du Bassin d'Aquitaine
LHCI :	Laboratoire d'Hydrologie et de Chimie Isotopiques
ORSTOM :	Institut Français de la Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération
OSS:	Observatoire du Sahara et du Sahel
PRODIG :	Pôle de Recherche pour l'Organisation et la Diffusion de l'Information Géographique (UMR)
ROSELT :	Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme
UICN :	Union Internationale pour la Conservation de la Nature

TRANSFERTS DE MATIERES, DISTRIBUTION DES RESSOURCE, EVOLUTION ET GESTION DU PAYSAGE

TRAM



DYNAMIQUE ET MODELISATION DE L'INONDATION DANS LE DELTA INTERIEUR DU NIGER

DYMO

AXES FEDERATEURS DE RECHERCHE

SYSTEMES NATURELS EXPLOITES

SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

❶ ATMOSPHERE
HYDROGEOCHIMIE
SEDIMENTOLOGIE

TRANSFERT DE MATIERES
Poussières, Matières en suspension et dissoutes. Dynamique des dunes et des berges

❷ HYDROLOGIE CLIMATOLOGIE
INONDATION
AGROMETEOROLOGIE

DISPONIBILITES EN EAU
Variabilité spatio-temporelle annuelle et interannuelle

❸ HYDROBIOLOGIE
AGRONOMIE
BIOGEOGRAPHIE
ECOPHYSIOLOGIE
CHRONOBIOLOGIE

BIODIVERSITE ET PRODUCTIVITE
Plancton, Végétaux aquatiques, Végétation, pâturages, cultures
Poissons, Cheptel, Ravageurs des cultures

SYSTEMES VIRTUELS

MODELISATION
OBSERVATOIRE

SYSTEMES TRADITIONNELS D'EXPLOITATION & GESTION

SCIENCES SOCIALES

EXPLOITATION DES RESSOURCES HALIEUTIQUES PASTORALES ET AGRICOLES
Logiques de partages d'accès et de gestion
Techniques traditionnelles d'exploitation, de prévision et de protection.

❹ FONCIER ECONOMIE
SOCIOLOGIE
ANTHROPOLOGIE
GEOGRAPHIE
AGROPASTORALISME

COMMENT MODELISER L'INONDATION ?

1 Modéliser (en partant des hauteurs d'eau et des images satélitaires) l'extension spatio-temporelle de l'inondation.

2 Evaluer la quantité d'eau mise en jeu à l'échelle annuelle pour caractériser la variabilité de la disponibilité en eau et la variabilité hydro-climatique.

3 Faire un suivi quantitatif du devenir de l'eau pour identifier les chemins de l'eau.

4 Modéliser les prévisions saisonnières et construire un service hydrologique de conseils et d'alerte.

ATTENTES DES PARTENAIRES

Mieux connaître la variabilité de l'extension spatio-temporelle de l'inondation pour permettre le développement des systèmes de production et des recherches sur ces systèmes.

VALORISATION AGRICOLE DE LA PREVISION METEOROLOGIQUE A COURT ET MOYEN TERME DANS LE DELTA INTERIEUR DU NIGER

AGRIP

AXES FEDERATEURS DE RECHERCHE

SYSTEMES NATURELS EXPLOITES

SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

❶ ATMOSPHERE
HYDROGEOCHIMIE
SEDIMENTOLOGIE

TRANSFERT DE MATIERES
Poussières, Matières en suspension et dissoutes. Dynamique des dunes et des berges

❷ HYDROLOGIE CLIMATOLOGIE
INONDATION
AGROMETEOROLOGIE

DISPONIBILITES EN EAU
Variabilité spatio-temporelle annuelle et interannuelle

❸ HYDROBIOLOGIE
AGRONOMIE
BIOGEOGRAPHIE
ECOPHYSIOLOGIE
CHRONOBIOLOGIE

BIODIVERSITE ET PRODUCTIVITE
Plancton, Végétaux aquatiques, Végétation, pâturages, cultures
Poissons, Cheptel, Ravageurs des cultures

SYSTEMES VIRTUELS

MODELISATION
OBSERVATOIRE

SYSTEMES TRADITIONNELS D'EXPLOITATION & GESTION

SCIENCES SOCIALES

EXPLOITATION DES RESSOURCES HALIEUTIQUES PASTORALES ET AGRICOLES
Logiques de partages d'accès et de gestion
Techniques traditionnelles d'exploitation, de prévision et de protection.

❹ FONCIER ECONOMIE
SOCIOLOGIE
ANTHROPOLOGIE
GEOGRAPHIE
AGROPASTORALISME

1 Comprendre le rôle du Delta Interieur du Niger (DIN) dans l'alimentation en eau des systèmes pluviogènes et élaborer des prévisions du temps à court terme.
Elaborer des prévisions du temps à moyen terme (saisons) pour le DIN à partir des modèles existants (e.g. température de surface de la mer).
Etudier l'impact de la variabilité du climat que la disponibilité en eau

2 Caractériser les conditions hydro - agro - climatiques et leur impacts sur la biodiversité des ressources et en particulier sur les pullulations de ravagerus des cultures (rongeurs, insectes, oiseaux).

3 Créer un Service de Conseils AgroMétéorologiques utile au monde rural et aux décideur qui viserait à moyen terme à rationnaliser les choix et les conduites des activités de pêche, d'élevage, d'agriculture et de protection des cultures :
- en définissant des calendriers de cultures adaptés aux conditions hydro - agro - climatiques du DIN,
- en mettant au point des méthodes d'estimation des rendements de cultures en fonction des conditions agrométéorologiques [ce qui permettrait de vérifier l'apport positif de la prévision sur la production et de faire des prévisions de production].

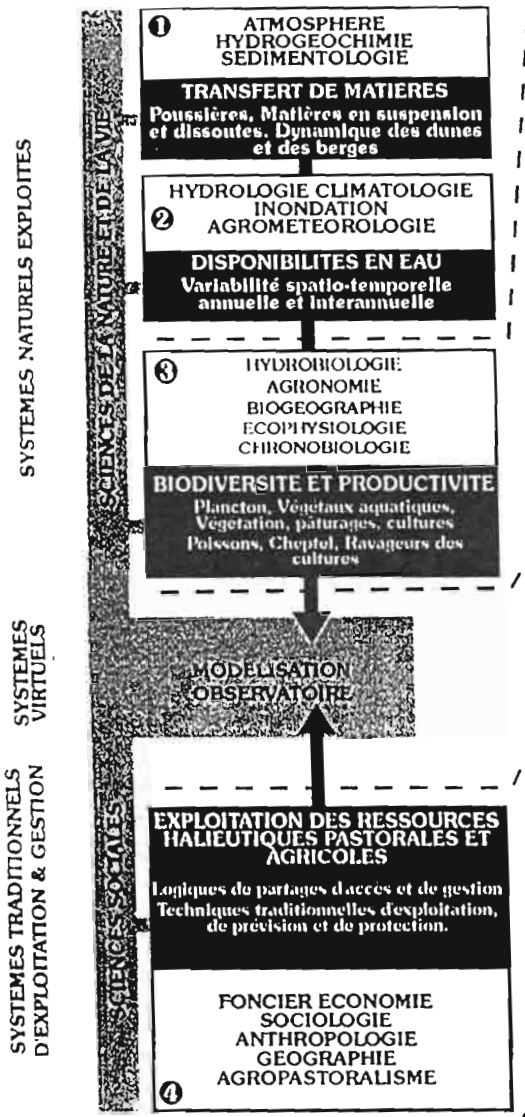
4 Recueillir (enquêtes) les méthodes empiriques traditionnelles de prévision du temps à court et à moyen terme (au niveau des saisons) et en faire une typologie.
Tester la fiabilité de ces méthodes (par rapport aux méthodes scientifiques classiques) de façon à les intégrer de façon raisonnée au sein du Service de Conseils AgroMétéorologiques qui sera ainsi mieux intégrer dans le monde rural.

ATTENTES DES PARTENAIRES

Amélioration de la produciton pastorale, agricole et de la protection des cultures en étudiant et en améliorant la prévision météorologique à court et à moyen terme.

HYDROBIOLOGIE ET PRODUCTIVITE PISCICOLE DU DELTA INTERIEUR DU NIGER

PROPIS



1

Biodiversité et variabilité des ressources primaires.

Le traitement de séries spatio-temporelles de prélèvement de phytopancton sur l'ensemble du Delta sera associé à celui des données physico-chimiques habituellement receuillies par les hydrobiologistes, mais aussi à celui des données hydrologiques (débit et hauteurs d'eau ; teneurs en parlicules) et climatologiques. Ce traitement fournira des informations sur la distribution spatiale du phytoplancton à l'échelle du DIN et sur le rôle de la crue dans sa production et son devenir, ses relations avec les macrophénomènes physiques, sa variabilité interannuelle.

Une collaboration entre spécialistes du phytoplancton, du phytonbenthos, des macrophytes aquatiques et du périphyton, permettra de préciser le rôle de l'échelon primaire dans cet écosystème. On s'intéressera donc à différents aspects se rapportant à ces communautés : composition spécifique, biomasse, production et sédimentation par classe de taille, qualité trophique pour les poissons, facteurs de régulation (climatiques, physiques et biologiques).

2

Biodiversité, reproduction et mobilité de la production supérieure efficace.

Utilisation des ressources alimentaires : rôle des algues pélagiques et de la matière organique dans la nutrition des poissons herbivores et détritivores. Assimilation des ressources alimentaires ingérées.

La produciton de poissons repose sur l'accès saisonnier du peuplement piscicole à ces ressources trophiques, variables d'une année à l'autre dans la plaine inondée qui, pour certaines espèces est aussi une zone de reproduction. La connaissance des migrations latérales sera donc privilégiée. On imaginera l'impact sur ces migrations des changements hydrologiques possibles sous l'effet du développement des aménagements hydro-agricoles.

4

La modélisation apportera son concours à la compréhension des interrelations écologiques, et à la hiérarchisation de l'importance des facteurs intervenants pour favoriser la production de poissons. On identifiera aussi les facteurs clé et les contrôles à maitriser pour limiter les risques de cette production.

3

Systèmes de production.

Conseiller pour la conservation des milieux et des caractéristiques hydrologiques essentielles permettant d'asurer le renouvellement des stocks.

Proposer des formules de valorisation aquacole pour les aménagements hydro-agricoles qui procurent une ceraine maitrise de l'eau (mares aménagées).

Proposer des manipulations de milieux pour augmenter la productivité en stimulant la biomase algale, en contrôlant les espèces de poissons susceptibles de tirer le meilleur parti des potentialités nutritives disponibles dans certains types de milieux.

Systèmes de gestion.

Recueillir les pratiques halieutiques et les connaissances empiriques des pêcheurs sur les moeurs des poissons. Confronter les résutlats obtenus sur le suivi des migrations latérales des poissons aux conceptions du pêcheur sur ce comportement et sur lesquelles il base sa stratégie de mise en oeuvre des pêcheries traditionnelles.

Comparer les aires de gestion des terroirs de pêche au domaine vital de certaines espèces de poissons.

Améliorer la production piscicole dans le contexte d'une exploitation halieutique développée mais qui atteint ses limites. Mieux connaître les migrations latérales et les caractéristiques hydrobiologiques favorables à la reproduction et à la croissance des poissons pour les préserver au cours du développement des aménagements hydroagricoles. Pourrait-on les optimiser dans certaines opérations de valorisation aquacoles ?

INONDATION ET OPTIMISATION DE LA LUTTE CONTRE LES RONGEURS RAVAGEURS DU DELTA INTERIEUR DU NIGER

IRADI

(PRN = populations de rongeurs nuisibles)

AXES FEDERATEURS DE RECHERCHE

SYSTEMES NATURELS EXPLOITES

SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

❶ ATMOSPHERE HYDROGEOCHIMIE SEDIMENTOLOGIE

TRANSFERTS DE MATIERES
Poussières, Matières en suspension et dissoutes. Dynamique des dunes et des berges

❷ HYDROLOGIE CLIMATOLOGIE INONDATION AGROMETEOROLOGIE

DISPONIBILITES EN EAU
Variabilité spatio-temporelle annuelle et interannuelle

❸ HYDROBIOLOGIE AGRONOMIE BIOGEOGRAPHIE ECOPHYSIOLOGIE CHRONOBIOLOGIE

BIODIVERSITE ET PRODUCTIVITE
Plancton, Végétaux aquatiques, Végétation, pâturages, cultures
Poissons, Cheptel, Ravageurs des cultures

SYSTEMES VIRTUELS

MODELISATION OBSERVATOIRE

SYSTEMES TRADITIONNELS D'EXPLOITATION & GESTION

SCIENCES SOCIALES

EXPLOITATION DES RESSOURCES HALIEUTIQUES PASTORALES ET AGRICOLES
Logiques de partages d'accès et de gestion
Techniques traditionnelles d'exploitation, de prévision et de protection.

❹ FONCIER ECONOMIE SOCIOLOGIE ANTHROPOLOGIE GEOGRAPHIE AGROPASTORALISME

Identifier par l'expérimentation (en laboratoire et en terrarium) celles de ces corrélations qui ont valeur causale.

En déduire les mécanismes de contrôle de la reproduction et de la mobilité des rongeurs par les facteurs climato-trophiques.

Estimer l'impact de la PREDATION et de la COMPETITION sur la dynamique des rongeurs

Orienter la recherche vers les espèces de rongeurs les plus nuisibles

Etablir les corrélations entre d'une part : la mobilité et la reproduction des PRN et d'autre part : le climat (photopériode - température - humidité), l'inondation et les ressources trophiques (végétation , substances signal des plantes en germination).

Imaginer compte tenu de ces mécanimes, l'impact des changements hydro-climatiques probables sur la dynamique des populations de rongeurs : effondrement et explosions démographiques (pullulations).

Caractériser les variations saisonnières de la MOBILITE et de la REPRODUCTION des PRN sur l'axe : habitations <-> cultures <-> jachères ou friches <-> milieux naturels limitrophes.

Caractériser la BIODIVERSITE des rongeurs ravageurs du DIN et de leurs prédateurs tout en montrant comment le DIN est un des principaux GENERATEUR de biodiversité de la zone soudano-sahélienne.

❶ ❷

Modéliser les variations saisonnières de la dynamique des populations de rongeurs du DIN.

Typologie des situations hydro-climato-trophiques à risques de pullulation.

Lutte préventive raisonnée-ciblée

Mettre au point une méthode de suivi des dégâts et des densités pour alimenter et vérifier le modèle

Mettre au point une méthode simple d'estimation des dégâts et des densités des PRN ... utiliser le même réseau que le programme AGRIP

❸

Vérifier l'efficacité de ces méthodes ; optimiser ces méthodes et proposer des substitutions technologiques rentables

Etudier les effets attractifs, toxiques et répulsifs des substances naturelles sur les rongeurs.

❹

Etablir une typologie des méthodes traditionnelles de contrôle des rongeurs nuisibles.

ATTENTES DES PARTENAIRES

Amélioration du contrôle traditionnel des rongeurs ravageurs en développant la lutte raisonnée-ciblée et en créant un système d'alerte permettant une lutte préventive contre les pullulations.

HYDROSYSTEME, INFORMATIONS, PARTAGE ET INTEGRATION

HIPI

Les Géographes et spécialistes en Sciences Sociales de ce groupe s'attacheront à comprendre et à préciser le fonctionnement global de l'Hydrosystème Delta Intérieur du Niger et les rapports Hommes-Milieux pour servir la conception de projets intégrés à l'usage des acteurs locaux pour un développement adapté.

Cette équipe s'attachera à poursuivre les travaux engagés par le laboratoire IMAGEO du CNRS (devenu UMR PRODIG) et l'IER depuis 1988. L'installation du Système d'Information Géographique issu de cette étude à l'IER est déjà à la disposition de la Zone-Atelier l'ensemble des données qui compose le système : images satellitaires, cartes numérisées, ortho-photos numériques...

Les différents secteurs abordés par cette équipe sur le plan thématique en accord avec les axes fédérateurs de recherche proposés par le GIP sont :

AXES FEDERATEURS DE RECHERCHE

SYSTEMES NATURELS EXPLOITES

SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

❶ ATMOSPHERE
HYDROGEOCHIMIE
SEDIMENTOLOGIE

TRANSFERT DE MATIERES
Poussières, Matières en suspension et dissoutes. Dynamique des dunes et des berges

❷ HYDROLOGIE CLIMATOLOGIE
INONDATION
AGROMETEOROLOGIE

DISPONIBILITES EN EAU
Variabilité spatio-temporelle annuelle et interannuelle

❸ HYDROBIOLOGIE
AGRONOMIE
BIOGEOGRAPHIE
ECOPHYSIOLOGIE
CHRONOBIOLOGIE

BIODIVERSITE ET PRODUCTIVITE
Plancton, Végétaux aquatiques, Végétation, pâturages, cultures
Poissons, Cheptel, Ravageurs des cultures

SYSTEMES VIRTUELS

MODELISATION OBSERVATOIRE

SYSTEMES TRADITIONNELS D'EXPLOITATION & GESTION

SCIENCES SOCIALES

EXPLOITATION DES RESSOURCES HALIEUTIQUES PASTORALES ET AGRICOLES
Logiques de partages d'accès et de gestion
Techniques traditionnelles d'exploitation, de prévision et de protection.

FONCIER ECONOMIE
SOCIOLOGIE
ANTHROPOLOGIE
GEOGRAPHIE
AGROPASTORALISME
❹

1 Identification des unités géomorphologiques et suivi de leur évolution passée et future appuyé par des analyses sédimentologiques et minéralogiques. Etude par télédétection du fonctionnement de la turbidité en relation avec les mouvements de la crue et l'installation de la végétation aquatique.

2 Suivi par télédétection de l'inondation à méso-échelle à l'aide d'une chronique NOAA d'une part, et d'images en temps réel d'autre part. Ceci servira à l'évaluation annuelle des surfaces inondées et à leur comparaison dans le temps.

Suivi des états de la crue par télédétection SPOT sur des aires de prospection en liaison avec un suivi ULM rapproché (deux fois par mois) qui servira à préciser les chemins de l'eau.

3 Identification et suivi des comportements des unités végétales inondées, exondées et cultivées par télédétection à l'échelle des aires de prospection en liaison évidente avec toutes les autres composantes.

5 L'expression spatiale des ressources de l'hydrosystème s'effectuera dans le cadre des limites socio-territoriales par une cartographie du Plan d'Occupation du Sol actualisé, ce dernier représentant l'unité fonctionnelle de gestion et d'observation.

Pour atteindre la fonction Observatoire, il est indispensable de mettre en place un Système d'Information Géographique sachant qu'il est destiné au Delta Intérieur du Niger. Les informations qui alimentent le SIG sont à la disposition de tous, condition sine qua non de réussite.

Ceci implique : -l'établissement d'un shéma conceptuel de la base de données en fonction des objectifs à atteindre ; -la définition d'une méthodologie transdisciplinaire en cohérence avec les échelles spatio-temporelles d'étude ; -l'adoption d'un vocabulaire commun, d'une nomenclature commune, et la cohérence dans l'expression des modèles.

Trois étapes sont nécessaires : - formulation de ses indicateurs ; -fabrication de la nomenclature commune à partir des indicateurs ; -redéfinition des modèles.

Concernant le référentiel géographique, la cellule SIG de l'IER effectuera le repérage d'un ensemble de points amers au GPS nécessaires au système. Il s'occupera du recalage et de la constitution des plans et assurera le pilotage des actions de numérisation nécessaires. La cellule assurera l'actualisation et la validation de la base d'information.

Important : l'ensemble des membres de l'étude devant se sentir concernés par le Système d'Information, il est nécessaire d'organiser un séminaire de formation de base comprenant les méthodes de structuration de base de données, la définition d'un shéma conceptuel et la familiarisation avec le logiciel SIG Alliance. Il est nécessaire d'identifier les postes Alliance sur Bamako (IER, ORSTOM, FAO ?).

4 Identification des logiques de partage, d'exploitation et de gestion des ressources par l'étude des acteurs, de leur légitimité, de leurs systèmes d'activités et de leurs perception des des dynamiques de fonctionnement de la composante sociale face à la variabilité de la disponibilité des ressources.

Etude de l'impact des différentes pratiques et savoirs paysans sur le renouvellement des ressources.

Etablissement des découpages socio-territoriaux, expression spatiale des logiques de partage et d'exploitation, que nous appelons les "Pays du Delta Intérieur du Niger".

ATTENTES DES PARTENAIRES

Comprendre le fonctionnement global de l'Hydrosystème DIN et les relations Hommes-Milieux pour servir la conception de projets intégrés à l'usage des acteurs locaux pour un développement adapté.

CRUE, EDIFICATION ET PARTAGE DES RESSOURCES DANS LE DELTA INTERIEUR DU NIGER
CERDIN

AXES FEDERATEURS DE RECHERCHE

SYSTEMES NATURELS EXPLOITES

SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

1 ATMOSPHERE HYDROGEOCHIMIE SEDIMENTOLOGIE

TRANSFERT DE MATIERES

Poussières, Matières en suspension et dissoutes. Dynamique des dunes et des berges

TRAM : TRANSFERTS DE MATIERES, DISTRIBUTION DES RESSOURCES, EVOLUTION ET GESTION DU PAYSAGE. Quatre objectifs : (1) Etudier l'évolution du carbone organique et des nutriments pour comprendre la dynamique des systèmes de ressources. (2) Etudier le rôle des transferts de matières (apports et départs de matières : érosion hydrique et éolienne) sur les ressources primaires. (3) Caractériser la dynamique des chenaux pour permettre l'aménagement du transport, de la pêche et de l'agriculture. (4) Caractériser et quantifier les pollutions ou les risques pour construire un système d'alerte vis à vis des ressources.

2 HYDROLOGIE CLIMATOLOGIE INONDATION AGROMETEOROLOGIE

DISPONIBILITES EN EAU

Variabilité spatio-temporelle annuelle et interannuelle

DYMO : DYNAMIQUE ET MODELISATION DE L'INONDATION DANS LE DELTA INTERIEUR DU NIGER. Quatre objectifs : (1) Modéliser l'inondation afin de connaître son extension spatio-temporelle. (2) Evaluer la quantité d'eau mise en jeu à l'échelle annuelle pour connaître la variabilité de la disponibilité en eau et la variabilité hydro-climatique. (3) Suivre quantitativement le devenir de l'eau pour connaître les chemins de l'eau. (4) Modéliser la prévision saisonnière et construire un service hydrologique de conseil et d'alerte.

AGRIP : VALORISATION AGRICOLE DE LA PREVISION METEOROLOGIQUE A COURT ET MOYEN TERME. Quatre objectifs : (1) Déterminer le rôle du DIN dans l'alimentation pluviogène pour développer la prévision du temps à court terme. (2) Tester les modèles existant de prévision à moyen terme pour orienter les activités saisonnières (élevage, pêche, agriculture, protection des cultures). (3) Etudier la variabilité des paramètres météorologiques classiques pour créer un service météorologique de conseils. (4) Comprendre les méthodes traditionnelles de prévision empirique du temps pour intégrer ce service d'alerte en milieu rural.

3 HYDROBIOLOGIE AGRONOMIE BIOGEOGRAPHIE ECOPHYSIOLOGIE CHRONOBIOLOGIE

BIODIVERSITE ET PRODUCTIVITE

Plancton, Végétaux aquatiques, Végétation, pâturages, cultures

Poissons, Cheptel, Ravageurs des cultures

PROPIS : HYDROBIOLOGIE ET PRODUCTION PISCICOLE DU DELTA INTERIEUR DU NIGER. Quatre objectifs : (1) Etudier le rôle de la crue dans la génèse de la biodiversité des ressources primaires (phytoplancton, phytobenthos, macrophytes aquatiques, périphyton). (2) Etudier la biodiversité des poissons, les relations crue <-> migrations latérales <-> reproduction <-> impact des aménagements hydroagricoles. (3) Etudier les systèmes de production [valorisation aquacoles des aménagements hydroagricoles; protection des zones biodiverses; augmentation de la productivité par stimulation de la biomasse algale] et de gestion [confronter utilement les connaissances halieutiques scientifiques et empiriques]. (4) Modéliser et hiérarchiser les facteurs clé de la production de poissons; identifier les contrôles à maitriser pour limiter les risques.

IRADI : INONDATION ET OPTIMISATION DE LA LUTTE CONTRE LES RONGEURS RAVAGEURS DU DELTA INTERIEUR DU NIGER. Quatre objectifs : (1) Modéliser le rôle de l'inondation et des facteurs climato-trophiques dans la dynamique des populations de rongeurs nuisibles (PRN) ; imaginer les conséquences des changements hydro-climatiques probables. (2) Caractériser la biodiversité des rongeurs et le rôle du DIN comme générateur de biodiversité. (3) Caractériser les méthodes traditionnelles de contrôle des PRN, tester leur efficacité et proposer des substitutions technologiques rentables (effets attractif - répulsif - toxique des substances naturelles). (4) Créer un système de suivi des dégâts et des densités des PRN pour doter le modèle d'un système d'alerte et développer la lutte préventive raisonnée -ciblée contre les rongeurs ravageurs du DIN.

SYSTEMES VIRTUELS

MODELISATION OBSERVATOIRE

SYSTEMES TRADITIONNELS D'EXPLOITATION & GESTION

SCIENCES SOCIALES

EXPLOITATION DES RESSOURCES HALIEUTIQUES PASTORALES ET AGRICOLES

Logiques de partages d'accès et de gestion

Techniques traditionnelles d'exploitation, de prévision et de protection.

FONCIER ECONOMIE SOCIOLOGIE ANTHROPOLOGIE GEOGRAPHIE AGROPASTORALISME

4

HIPI : HYDROSYSTEME, INFORMATIONS, PARTAGE ET INTEGRATION. Comprendre le fonctionnement global de l'hydrosystème DIN et les rapports Hommes <-> Milieux. Cinq objectifs : (1) Transferts de matières : identification et histoire des unités géomorphologiques ; Fonctionnement de la turbidité en fonction des mouvements de la crue et de l'installation de la végétation. (2) Disponibilité en eau : évaluer les surfaces inondées et de la propagation de la crue à l'échelle du DIN et des unités fonctionnelles. (3) Identifier et suivre le comportements des unités végétales inondées, exondées et cultivées. (4) Exploitation et appropriation des ressources : étude des dynamiques de fonctionnement de la composante sociale et expression spatiale . (5) Modélisation et Observatoire : Mise en place d'un SIG et définition d'une méthodologie transdisciplinaire : shéma conceptuel de la base de données ; vocabulaire et nomenclature communs ; cohérence des modèles.

ATTENTES DES PARTENAIRES

DEVELOPPEMENT DURABLE ET RAISONNE DE LA PRODUCTION (PÊCHE - AGRICULTURE - ELEVAGE) PAR :

-L'amélioration des systèmes traditionnels d'exploitation et de gestion.

-La prise en compte des risques liés à la sur-exploitation.

-La prise en compte des risques liés aux changements hydro-climatiques