

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

*Version bilingue*

# Avenir du fleuve Niger

## *The Niger River's Future*

Coordination scientifique

**JÉRÔME MARIE, PIERRE MORAND, HAMADY N'DJIM**



Institut de recherche  
pour le développement

# Avenir du fleuve Niger



# Avenir du fleuve Niger

*Coordination scientifique*

**Jérôme MARIE, Pierre MORAND, Hamady N'DJIM**

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

**IRD Éditions**

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

collection Expertise collégiale

Paris, 2007

**Préparation éditoriale**

Christian Delvaux

**Mise en page**

Bill Production

**Maquette couverture et intérieur**

Pierre Lopez

**Traduction en anglais**

Cabinet Champolion

**Coordination**

Département Expertise et Valorisation, IRD

**Fabrication**

Catherine Plasse

---

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

---

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

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

© IRD, 2007

ISSN 1633-9924 / ISBN : 978-2-7099-1632-5

# Composition du collège d'experts

## PRÉSIDENT

**Ousmane Sy,**

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

## COORDINATEURS SCIENTIFIQUES

**Jérôme MARIE** (Université Paris-X)

**Pierre MORAND** (IRD)

**Hamady N'DJIM** (Ingénieur conseil)

## MEMBRES

**Jean-François BÉLIÈRES** (Cirad)

**Cheik Cissé** (Juriste consultant)

**Lassine DIARRA** (IER - CRRA)

**Almoustapha FOFANA** (DNH)

**Pierrick GIVONE** (Cemagref)

**Housseini MAÏGA** (DNH)

**Mamadou Kabirou N'DIAYE** (IER)

**Didier ORANGE** (IRD)

**Pierre SIBIRI TRAORÉ** (Icrisat/IER)



# Table des matières

<b>Objectifs et méthodes de l'Expertise collégiale</b>	11
<b>Introduction</b>	15
Présentation du plan adopté pour le rapport de synthèse	15
Rappels généraux	16
 <b>■ Première partie</b> <i>Synthèse et recommandations</i>  	
<b>Situations et tendances, composante par composante</b>	25
Tendances et prospective concernant les forces motrices et autres facteurs forçants	25
Caractérisation et performances des systèmes d'usage du fleuve	32
Besoins et impacts relatifs à son eau	32
État de santé et tendances évolutives de l'écosystème du fleuve Niger	62
Cadre institutionnel et instruments de gestion existants	81
<b>Les problèmes : modes actuels de leur gestion</b>	99
Risques liés à la survenue d'aléas	100
Tensions et modes actuels de leur gestion	109
Menaces sur le futur	117
Difficulté des institutions à mettre en œuvre une gestion efficace de l'environnement et des ressources naturelles	120
<b>Propositions, conclusions et recommandations</b>	125
Mise en place ou consolidation des outils de gestion	125
Conclusions	132
Recommandations	134
<b>Références bibliographiques</b>	139

■ *Annexes*

<b>Annexe 1 – Cahier des charges de l’expertise collégiale</b>	149
<b>Annexe 2 – Présentation du collège d’experts</b>	150

■ *Cartes hors texte*

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

■ *Seconde partie**Chapitres analytiques (CD-ROM)***1 – Présentation du fleuve Niger**

HOUSSEINI MAÏGA, JÉRÔME MARIE, PIERRE MORAND,  
 HAMADY N’DJIM, DIDIER ORANGE CD-ROM

**2 – Variables et régulation de l’eau**

JEAN-FRANÇOIS BÉLIÈRES, MAMADOU KABIROU N’DIAYE, HAMADY N’DJIM CD-ROM

**3 – Connaissance du fleuve, évolution et indicateurs**

LASSINE DIARRA, ALMOUSTAPHA FOFANA, PIERRICK GIVONE, HOUSSEINI MAÏGA,  
 PIERRE MORAND, DIDIER ORANGE, PIERRE SIBIRI TRAORÉ CD-ROM

**4 – Prévention des risques**

CHEIKH CISSÉ, LAMINÉ DIARRA, ALMOUSTAPHA FOFANA, PIERRICK GIVONE CD-ROM

**5 – Cadre institutionnel et juridique de gestion  
de l’activité liée au fleuve Niger**

CHEICK CISSÉ, PIERRE MORAND CD-ROM

**6 – Les systèmes d’information environnementaux**

ALMOUSTAPHA FOFANA, PIERRICK GIVONE, JÉRÔME MARIE,  
 PIERRE MORAND, DIDIER ORANGE, PIERRE SIBIRI TRAORÉ CD-ROM

# Abréviations

<b>ABFN</b>	Agence du bassin du fleuve Niger
<b>ABN</b>	Autorité du bassin du Niger
<b>AHA</b>	Aménagement hydroagricole
<b>Cemagref</b>	Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement
<b>CILSS</b>	Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse au Sahel
<b>CIPEA</b>	Centre international pour l'élevage en Afrique
<b>Cirad</b>	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
<b>CMDT</b>	Compagnie malienne de développement textile
<b>Comanav</b>	Compagnie malienne de navigation
<b>DNH</b>	Direction nationale de l'hydraulique (Mali)
<b>ENP</b>	Étude nationale de prospective
<b>ESP/GRN</b>	Équipe systèmes de production et Gestion des ressources naturelles
<b>FAO</b>	<i>United Nations' Food and Agriculture Organization</i> (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)
<b>FED</b>	Fonds européen de développement
<b>Ghenis</b>	Gestion hydro-écologique du Niger supérieur
<b>Gire</b>	Gestion intégrée des ressources en Eau
<b>GTZ</b>	<i>Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit</i> (Coopération technique allemande pour le développement)

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

# Objectifs et méthodes de l'Expertise collégiale

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Marie-Laure Beauvais**

*Chargée de mission Expertise collégiale  
Département Expertise et Valorisation*



# Introduction

## *PRÉSENTATION DU PLAN ADOPTÉ POUR LE RAPPORT DE SYNTHÈSE*

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

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

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

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

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

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

## **RAPPELS GÉNÉRAUX**

### **Le Mali**

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

Tableau 1 – Tableau de correspondance questions/points de traitement

Questions (textes de référence)	Point de traitement (principal)	Autres points de traitement
1 – « Allocation de l'eau entre les usages, à large échelle (Mali, bassin) »	<ul style="list-style-type: none"> <li>– « Caractérisation et performances des systèmes d'usage du fleuve. Besoins et impacts relatifs à son eau » p. 32-62</li> <li>– « Tensions et modes actuels de leur gestion » p. 109-117</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– « Facteurs forçants climatiques sur le bassin du Niger » p. 29-32</li> <li>– « Menaces sur la sécurité alimentaire à l'échelon national » p. 118-119</li> <li>– « Mise en place ou consolidation des outils de gestion » p. 125-132</li> <li>– « Troisième recommandation : éléments pour des options stratégiques équilibrées » p. 136-137</li> </ul>
2 – « Gestion de l'eau dans les aménagements hydroagricoles »	<ul style="list-style-type: none"> <li>– « L'agriculture » p. 40-52</li> <li>– « Fertilité des sols » p. 69-70</li> <li>– « Faible efficacité d'utilisation de l'eau par les AHA » p. 114-116</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– « Ressources et peuplements végétaux » p. 70-75</li> <li>– « Approche par fonctions opérationnelles : quelques exemples » p. 89-91</li> </ul>
3 – « L'état de santé de l'écosystème et son évolution »	<ul style="list-style-type: none"> <li>– « Etat de santé et tendances évolutives de l'écosystème du fleuve Niger » p. 62-81</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– « Facteurs forçants climatiques sur le bassin du Niger » p. 29-32</li> <li>– « Mise en place ou consolidation des outils nécessaires à la gestion » p. 125-132</li> </ul>
4 – « Risques aigus survenant à la suite d'aléas »	<ul style="list-style-type: none"> <li>– « Risques liés à la survenue d'aléas » p. 100-109</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– « Facteurs forçants climatiques sur le bassin du Niger » p. 29-32</li> </ul>
5 – « Institutions »	<ul style="list-style-type: none"> <li>– « Cadre institutionnel et instruments de gestion existants » p. 81-97</li> <li>– « Difficulté des institutions à mettre en œuvre une gestion efficace de l'environnement et des ressources naturelles » p. 120-124</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– « Deuxième recommandation : poursuivre les évolutions du cadre institutionnel » p. 135-136</li> </ul>
6 – « Systèmes d'information »	<ul style="list-style-type: none"> <li>– « Les fonctions d'information et de suivi » p. 91-97</li> <li>– « Mise en place ou consolidation des outils nécessaires à la gestion » p. 125-132</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– « Première recommandation : consolider la connaissance scientifique » p. 134-135</li> </ul>

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

### **Le fleuve Niger**

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

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

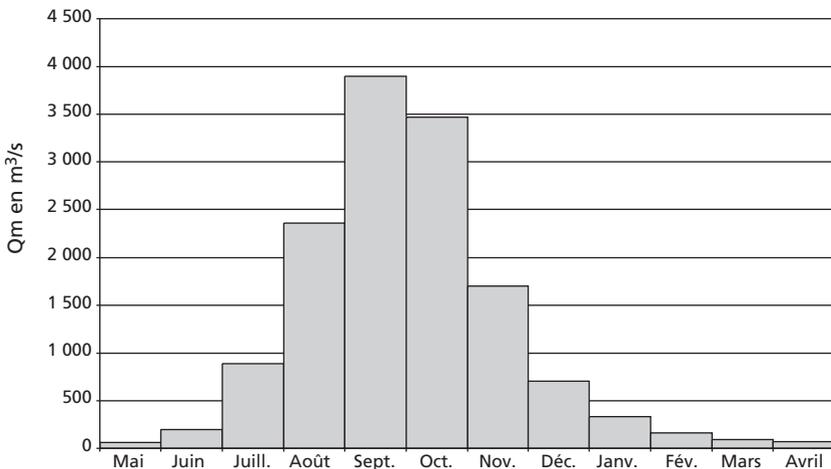
peut parler d'une véritable « traversée du désert ». Le Niger, un peu à la façon du Nil traversant le Sahara oriental, y perd ici la moitié de son eau.

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

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

**Figure 1**

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

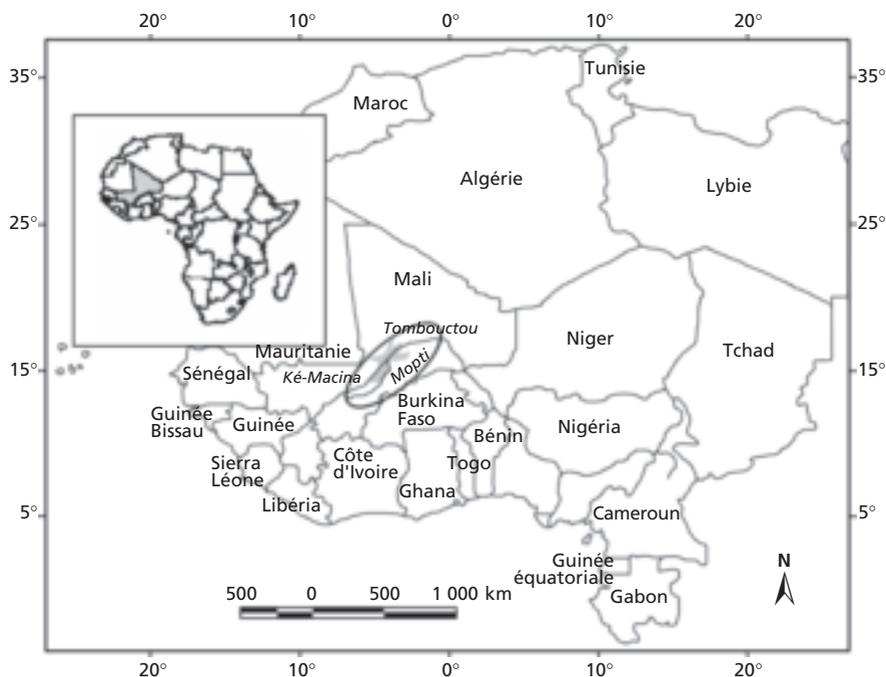


## Le delta intérieur du Niger

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

**Figure 2**

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



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

### Le cadre climatique

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

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

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

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

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

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

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

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

**Synthèse**  
**et**  
**Recommandations**



# Situations et tendances, composante par composante

## *TENDANCES ET PROSPECTIVE CONCERNANT LES FORCES MOTRICES ET AUTRES FACTEURS FORÇANTS*

### **Les évolutions de la société malienne et de ses besoins**

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

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

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

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

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

### **Évolution des besoins alimentaires à l'horizon 2025**

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

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

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

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

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

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

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

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

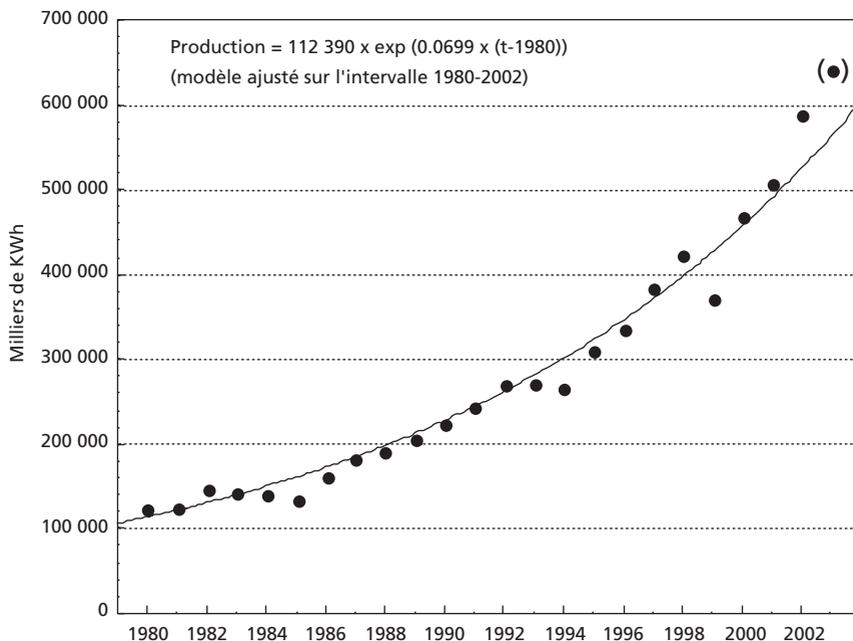
Selon l'Étude nationale de prospective (ENP, 2003), la production d'électricité a été multipliée par 4,8 entre 1980 et 2002, soit un taux de croissance annuelle moyen de 6,99 % (fig. 3). Ce chiffre est à rapprocher du rythme de croissance de la population générale (1,8 % par an) et surtout, du rythme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

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

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

**Figure 3**

Évolution de la production électrique au Mali



Source : ENP, 2003

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

### **Facteurs forçants climatiques sur le bassin du Niger**

#### ***Un climat marqué par plusieurs modes de variabilité***

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

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

#### ***Variabilité de la structure interne de la saison des pluies***

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

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

#### ***Variabilité inter-annuelle des quantités totales de pluie***

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

#### ***Variabilité inter-décennale des quantités totales de pluie***

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

#### ***Variabilité multi-décennale des quantités totales de pluie***

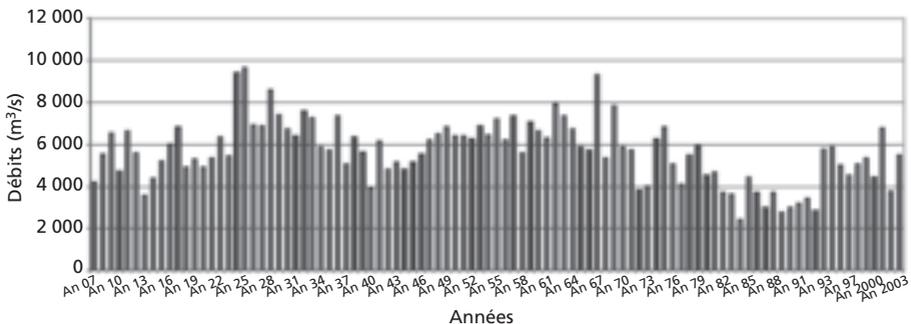
On peut classer dans cette catégorie les évolutions qui se révèlent à l'échelle du siècle et de l'histoire. Il semble qu'il existe – certainement depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle et vraisemblablement depuis le XVI<sup>e</sup> siècle (Hulme, 2001) – une tendance à la décroissance progressive de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

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

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

### Changements perçus et discutés par les humains

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



**Figure 4**  
Débits maximums  
du fleuve Niger à Koulikoro

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

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

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

### **Prévisions/prospectives**

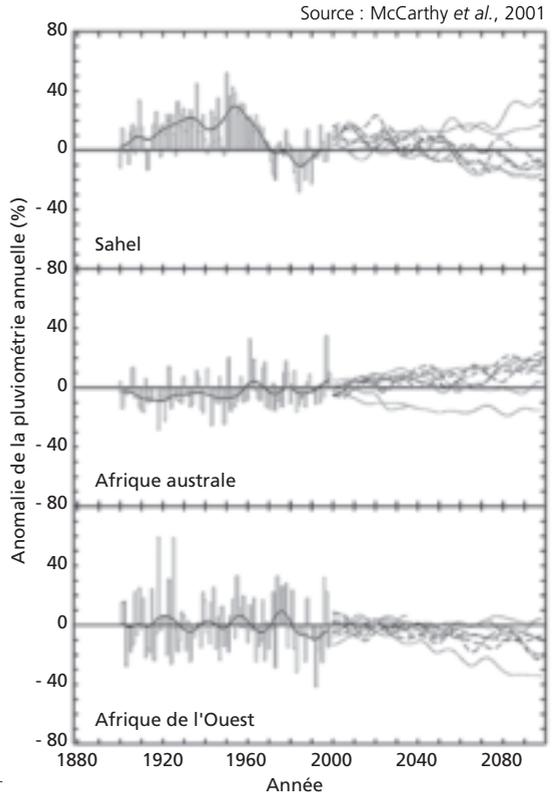
Contrairement à ce qui a pu être obtenu pour d'autres régions du monde (l'Afrique australe), les modèles d'évolution climatique les plus récents développés dans le cadre des travaux sur le *global change* ne fournissent pas, à l'horizon 2100, de prédictions stables et univoques pour la zone soudano-sahélienne.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

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

## **CARACTÉRISATION ET PERFORMANCES DES SYSTÈMES D'USAGE DU FLEUVE. BESOINS ET IMPACTS RELATIFS À SON EAU**

### **Les grands ouvrages hydrauliques**

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



**Figure 5**

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

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

### **Sélingué**

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Sotuba**

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

### **Markala**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### ***Aménagements hydrauliques en projet***

#### **Taoussa**

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

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

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

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

#### **Talo**

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

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

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

### **Djenné**

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

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

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

## **La production d'énergie hydro-électrique**

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

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

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

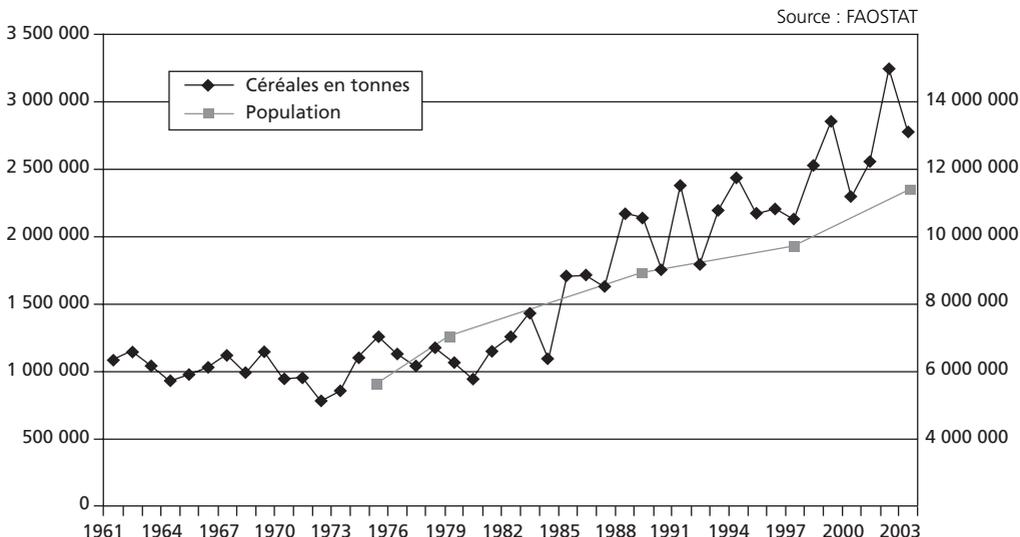
## **L'agriculture**

### ***Performances générales en termes de production du secteur agricole***

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

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

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



**Figure 6**  
Évolution de la production céréalière et de la population du Mali depuis 1961

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

Source : FAOSTAT

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

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

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

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

Tableau 6 – Évolution de la culture du riz au Mali

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

	<b>1972 (mauvaise crue)</b>	<b>1978 (crue moyenne)</b>	<b>1994 (bonne crue)</b>
SAU	332 000	831 000	1 342 000

### ***L'agriculture irriguée dans les aménagements hydroagricoles (AHA)***

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

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

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

#### **La submersion contrôlée**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Source : Kuper et al., 2002

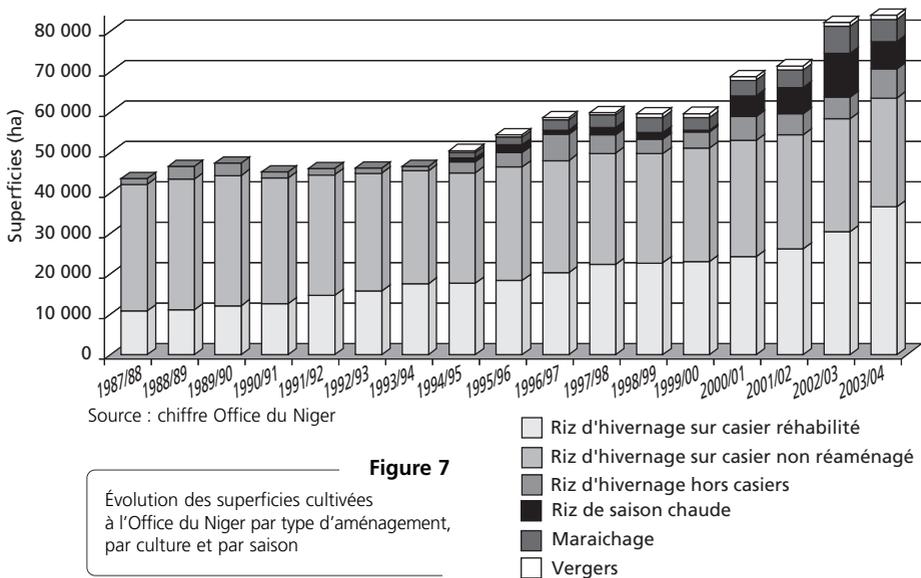
**Tableau 8 – Apport du fleuve Niger à Koulikoro et prélèvements d'eau exercés par les périmètres gravitaires en maîtrise totale de l'eau**

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

<sup>2</sup> La région de Kayes est également concernée avec les petits périmètres qui s'approvisionnent sur le fleuve Sénégal.

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

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

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

### ***Les pollutions agricoles affectant le fleuve***

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

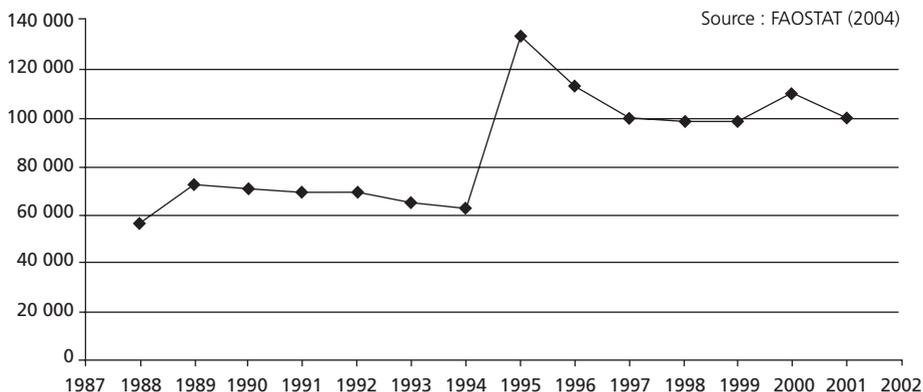
### **La pêche**

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

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

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

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



**Figure 8**  
Débarquement  
de poids frais (en tonnes)

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

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

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

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

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

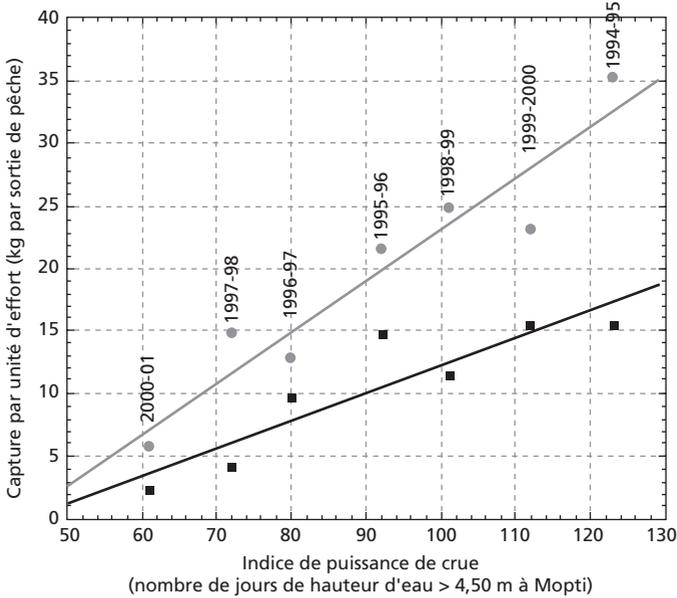
En tous points du fleuve, la pêche se déroule par campagnes de huit à neuf mois. Elle commence de façon intensive au début de la décrue, en

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

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

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

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



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

**Figure 9** Les points ronds et la droite supérieure correspondent à la première moitié de la campagne de pêche (décembre à mi-mars) ; les carrés et la droite inférieure correspondent à la fin de campagne (mi-mars à juin). Les chiffres dans le graphique indiquent l'année de campagne.

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

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

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

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

### L'élevage

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

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

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

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

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

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

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

**Tableau 11 – Besoins en eau du pastoralisme**

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

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

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

Source : Marie, 2002

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

### **Consommation et rejets domestiques**

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

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

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

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

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

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

### **Consommation et rejets industriels**

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

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

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

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

### **Utilisation du fleuve et pollution par le transport fluvial**

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

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

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

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

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

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

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

### ***ÉTAT DE SANTÉ ET TENDANCES ÉVOLUTIVES DE L'ÉCOSYSTÈME DU FLEUVE NIGER***

#### **Quantités d'eau de surface**

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

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

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

### **Quantités d'eau souterraine**

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

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

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

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

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

## **Qualité des eaux**

### **Qualité des eaux de surface**

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

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

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

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

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

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

### **Qualité des eaux souterraines**

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

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

<sup>3</sup> Demande biologique en oxygène, indicateur d'une pollution biologique.

<sup>4</sup> Demande chimique en oxygène, indicateur d'une pollution chimique.

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

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

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

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

## **Stabilité géomorphologique : érosion/sédimentation/ensablement**

### **L'érosion**

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

### **La sédimentation**

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

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

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

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

#### **« L'ensablement » du fleuve**

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

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

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

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

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

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

### **Fertilité des sols**

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

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

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

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

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

## **Ressources et peuplements végétaux**

### ***Situation générale***

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

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

### **Peuplements végétaux du delta intérieur du Niger**

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

#### **Les forêts du delta**

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

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

- des forêts inondées à *Acacia kirkii* supportant une lame d'eau de 4 m. Occupant une superficie de 5 000 ha, elles jouent un rôle fondamental dans la reproduction des oiseaux d'eau ;
- des forêts à *Acacia nilotica* et à *seyal*, inondées surtout par ruissellement mais pouvant l'être secondairement par la crue : la hauteur de la lame d'eau ne dépassant pas 0,6 m. Elles occupaient 115 000 ha ;
- les forêts sèches des bordures et des buttes du delta qui occupaient 425 000 ha.

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

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

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

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

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

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

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

\*1m<sup>3</sup> = 2,3 stères et 1 stère = 330 kg

Source : Projet SED, 1999

### **Les formations herbacées du delta**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Il ressort de cette simulation les indications suivantes :

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

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

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

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

### ***Le cas de la jacinthe d'eau***

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

### **Ressources et peuplements en poissons**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Ressources et peuplements en faune sauvage**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

\*Moyenne annuelle d'après observations sur 2 ans

Source : Wimenga *et al.*, 2002

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

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

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

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

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

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

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

### **CADRE INSTITUTIONNEL ET INSTRUMENTS DE GESTION EXISTANTS**

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

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

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

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

## **Le cadre international**

### ***La Gire ou « vision partagée »***

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

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

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

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

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

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

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

Les objectifs de l'ABN sont les suivants :

- harmoniser et coordonner les politiques nationales de mise en valeur des ressources en eau du bassin du Niger ;
- promouvoir et participer à la planification du développement par l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de développement intégré du bassin ;
- promouvoir et participer à la conception et à l'exploitation des ouvrages et des projets d'intérêt commun ;
- assurer le contrôle et la réglementation de toute forme de navigation sur le fleuve, ses affluents et sous-affluents ;
- participer à la formulation des demandes d'assistance et à la mobilisation des financements des études et travaux nécessaires à la mise en valeur des ressources du bassin.

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

## **Le cadre légal et institutionnel au Mali**

### **Les codes**

#### **Le Code domanial et foncier**

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

- le domaine public naturel qui comprend notamment les cours d'eau navigables ou flottables et leurs rives (zone de passage de 25 m), les sources et cours d'eau non navigables ni flottables, les lacs et étangs... ;
- le domaine public immobilier artificiel comprenant les ports fluviaux, les canaux de navigation, les canaux d'irrigation ou de drainage, les aqueducs, les dépendances de ces ouvrages lorsqu'ils sont exécutés dans un but d'utilité publique.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

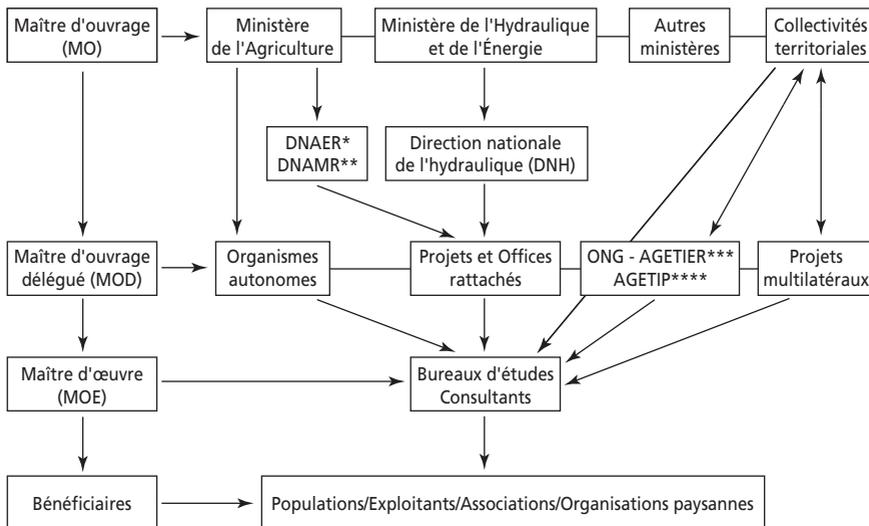
Le domaine pastoral comprend : les zones de pâturage, les jachères de plus de 10 ans, les parcours pastoraux et les points d'eau. Les organes compétents des collectivités réglementent l'organisation des activités pastorales en collaboration avec les organisations professionnelles et les services techniques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

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

### ***Les institutions politiques, administratives et associatives***

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

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



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

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

Le ministère des Mines et de l'Eau abrite également des comités consultatifs. Ces comités de bassins ou de sous-bassins ont pour mission de garantir une gestion concertée des ressources à l'échelle du bassin et du sous-bassin. À cet effet,

ils peuvent formuler des propositions relatives à la gestion des ressources hydrographiques et des systèmes aquifères. Ils peuvent aussi proposer la révision du plan d'aménagement et de gestion des eaux des bassins et sous-bassins hydrographiques ou des systèmes aquifères.

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

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

- d'examiner les différents programmes de gestion de l'eau élaborés par les structures nationales bénéficiaires des eaux de la retenue et de veiller à leur adéquation ;
- d'arrêter les programmes de gestion des eaux de la retenue (remplissage et déstockage) ;
- d'informer les décideurs de l'incidence de la gestion des eaux de la retenue sur tous les aspects techniques des activités liées au barrage (production électrique, migration, pêche, santé, industrie, tourisme, environnement) ;
- de s'assurer de la bonne tenue de l'ouvrage.

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

- renforcer les capacités de gestion des ressources du fleuve, de ses affluents et de leurs bassins versants ;
- promouvoir l'amélioration et la rationalisation de la gestion des ressources en eau pour les différents usagers ;
- contribuer à la prévention des risques naturels, à la lutte contre les pollutions et les nuisances et au maintien de la navigation ;
- entretenir des relations de coopération avec les organismes techniques similaires des pays riverains concernés ;
- concevoir et gérer un mécanisme financier de perception de redevances auprès des organismes préleveurs et pollueurs d'eau et d'utilisation de ces redevances.

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

- le ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche qui s'occupe de l'aménagement hydroagricole et de la pêche et qui est également intéressé par la qualité de l'eau ;
- le ministère de l'Administration territoriale et des Collectivités locales qui a en charge, entre autres, la mise en œuvre des aides d'urgence ou des secours en relation avec les ministères chargés des affaires étrangères et de la protec-

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

- le conseil communal : il est maître d'ouvrage responsable de la politique de l'eau et de l'assainissement au niveau local. Il est doté de conseils pour les différents secteurs (pêche, élevage...);
- le conseil de cercle : il approuve les projets communautaires avec l'appui des services techniques ;
- l'assemblée régionale : elle veille à la cohérence des projets élaborés avec les programmes nationaux.

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

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

### **Approche par fonctions opérationnelles : quelques exemples**

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

- l'Assemblée nationale qui a, avec sa commission du développement rural et de l'environnement, l'initiative des lois en matière d'environnement conjointement avec le haut conseil des collectivités ;
- le Haut conseil des collectivités territoriales qui a pour mission d'étudier et de donner un avis sur toute politique de développement local et régional. Le Gouvernement est tenu de le saisir pour avis sur ces questions ;
- le Conseil économique, social et culturel qui a compétence sur tous les aspects du développement économique, social et culturel y compris la protection, la défense de l'environnement et la promotion de la qualité de la vie.

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

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

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

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

- augmenter la production et la productivité sur les périmètres irrigués ;
- réformer le cadre institutionnel et juridique pour le sous-secteur ;
- minimiser les impacts environnementaux négatifs et les conflits sociaux créés par l'irrigation.

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

### **Les fonctions d'information et de suivi**

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

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

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

**Tableau 17 –**

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

Tableau 17 – Suite

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

**Tableau 17 –**

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

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

Tableau 17 –

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



# Les problèmes : modes actuels de leur gestion

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

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

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

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

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

## **RISQUES LIÉS À LA SURVENUE D'ALÉAS**

### **Survenue d'une mauvaise année « hydroclimatique »**

#### **Le phénomène et ses circonstances**

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

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

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

### **Les impacts**

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

### **Mode(s) de gestion**

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

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

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

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

## **Survenue de crues et d'inondations exceptionnelles**

### ***Le phénomène et ses circonstances***

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Les impacts**

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

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

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

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

### ***Mode(s) de gestion***

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### **Pollution des eaux**

#### ***Le phénomène et ses circonstances***

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

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

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

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

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

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

### ***Les impacts***

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

### ***Les modes de gestion***

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

## **Pullulation de déprédateurs de cultures**

### ***Le phénomène et ses circonstances***

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

### ***Les impacts***

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

### ***Les modes de gestion***

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

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

## ***TENSIONS ET MODES ACTUELS DE LEUR GESTION***

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

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

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

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

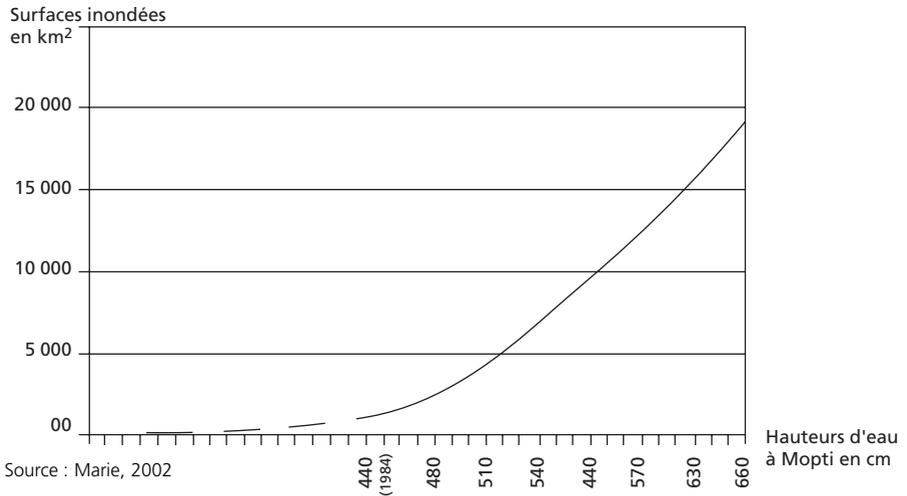
Par ailleurs, il faut rappeler que ces systèmes de production traditionnels dépendant de l'inondation constituent la base des moyens d'existence d'une nombreuse population. Celle-ci peut être estimée à 900 000 personnes, si l'on considère que les trois-quarts de la population vivant entre Ké-Macina-Djenné,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

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

pour 10 cm de gain de hauteur d'eau enregistrés à Mopti. Une perte de hauteur de 10 cm a, par conséquent, des effets non négligeables sur les systèmes de production des plaines.

**Figure 11**

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



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

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

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

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

### **Tensions entre usagers autour des débits d'étiage**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- les pertes en eau dans le système hydraulique en amont de l'Office (canal du Sahel, *fala* de Molodo...) représentent 40 % du volume total livré par Markala alors que la part qui arrive aux canaux d'irrigation et aux casiers en représente 60 % ;
- sur cette dernière part (celle qui parvient dans les canaux d'irrigation), on peut distinguer plusieurs fractions :
  - 20 à 25 % sont perdus par infiltration dans les canaux d'irrigation eux-mêmes, essentiellement pendant la contre-saison (soit 12 à 15 % du total livré par Markala) ;
  - 35 % sont perdus par drainage des casiers en saison rizicole (soit 20 % du total livré par Markala) ;
  - 40 % sont effectivement utilisés par les cultures (soit 25 % du total livré par Markala).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ***MENACES SUR LE FUTUR***

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

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

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

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

### **Menaces sur la sécurité alimentaire à l'échelon national**

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

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

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

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

## *DIFFICULTÉ DES INSTITUTIONS À METTRE EN ŒUVRE UNE GESTION EFFICACE DE L'ENVIRONNEMENT ET DES RESSOURCES NATURELLES*

### **Les difficultés de l'ABN**

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

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

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

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

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

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

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

### **Un schéma institutionnel national complexe**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# Propositions, conclusions et recommandations

## *MISE EN PLACE OU CONSOLIDATION DES OUTILS DE GESTION*

### **Des modèles de simulation**

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

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

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

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

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

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

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

#### **Des objectifs répondant à des besoins**

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

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

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

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

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

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

### ***Un existant important sur lequel il faut prendre appui***

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

**Au niveau international**

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

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

**Au niveau national et local**

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

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

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

- des données statiques à collecter « une fois pour toutes » : par exemple la topographie. Ici, la collecte ne pose pas de problème en soi. Il faut par contre s'assurer de son degré de précision qui est élevé ;
- des données qui peuvent être collectées sur des périodicités assez longues, c'est-à-dire sur 5 à 10 ans : population, utilisation du sol, cadastre. La collecte de ces données gagne à être décentralisée et elle peut même être désynchronisée d'une zone du bassin (État, région...) à l'autre ;
- des données annuelles qui concernent typiquement les résultats de campagnes d'activité (agricole, halieutique...). La collecte de ces données

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

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

#### **Une architecture à deux niveaux**

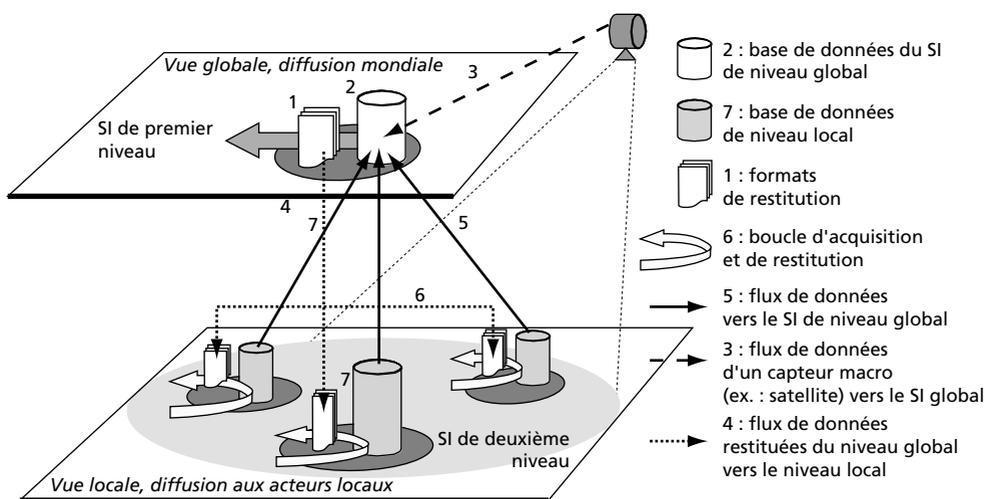
Le choix de l'architecture d'un SI peut être défini comme le choix de la géométrie générale d'organisation entre ses différentes composantes. Il vise à mettre ces composantes en situation d'articulation aisée afin de parvenir à une certaine performance au niveau de l'ensemble. Compte tenu d'une part,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

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

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

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

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



**Figure 12**

Exemple de schéma d'articulation entre SI de différents niveaux

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

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

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

### **La réalisation : deux conditions à réunir**

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

### **Un système de règles d'usage des données**

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

### **Des ressources sur une longue durée**

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

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

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

## **CONCLUSIONS**

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

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

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

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

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

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

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

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

## **RECOMMANDATIONS**

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

### **Première recommandation : consolider la connaissance scientifique**

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

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

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

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

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

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

### **Deuxième recommandation : poursuivre les évolutions du cadre institutionnel**

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

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

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

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

### **Troisième recommandation : éléments pour des options stratégiques équilibrées**

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

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

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

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

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

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

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

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

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



# Références bibliographiques

ALPHA A., AIT-SSI L., BANTON O., MARIKO A., TRAORÉ A. Z., VILLENEUVE J.-P., 1991 – *Hydrogéologie et contamination de la nappe phréatique alimentant la ville de Bamako (Mali)*. Bamako, Rapport ENI, INRS-Eau.

BAUMANN E., FAY C., KASSIBO B., 1994 –  
« Systèmes de pêche et stratégies globales ». In Quensière J. (éd.) : 401-406.

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

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

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

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

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

COULIBALY S., DICKO F., TRAORÉ S. M., SIDIBÉ O., SEROUSSI M., BARRÈRE B., 1996 –  
*Enquête démographique et de santé Mali 1995-1996*. Bamako, Direction nationale de la statistique et de l'informatique, 375 p.

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

- DAGET J., BA A. H., 1955 –  
L'empire peul du Macina. *Etudes soudanaises*, 3. Bamako, Ifan 306 p.
- D'AMATO N., LEBEL T., 1998 –  
On the characteristics of the rainfall events in the Sahel with a view to the analysis of climatic variability. *International Journal of Climatology*, 18: 955-974.
- DUCROT R., ZASLAVSKY J., MAGASSA H., 2002 –  
« Dynamismes et contraintes du développement de la petite irrigation : cas du delta intérieur du Niger au Mali ». In Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 621-638.
- ENP (Étude nationale prospective) « Mali 2025 », 2003 –  
Rapport.
- EQUANIS, 1997 –  
*Environnement et qualité des apports du Niger au Sahel*. Programme sur l'environnement de la géosphère intertropicale (Pegi), INSU-CNRS-Orstom, Opération « Grands bassins fluviaux », 1992-1997, IRD, Paris.
- FAOSTAT, 2004 –  
Base de données en ligne (<http://www.fao.org/faostat>)
- FAY C., 1989 –  
Systèmes halieutiques et espaces de pouvoir : transformation des droits et des pratiques de pêche dans le delta central du Niger (Mali), 1920-1980. *Cah. Sci. Hum*, 25 (1-2) : 213-236.
- GALLAIS J., 1967 –  
*Le delta intérieur du Niger*. Dakar, Ifan, 612 p.
- GEPI (Groupe d'experts des plaines d'inondation sahéliennes), 2000 –  
*Vers une gestion durable des plaines d'inondation sahéliennes*. Gland (Suisse)/Cambridge (Royaume-Uni), UICN, 214 p.
- GHENIS, 2001 – *Gestion hydrologique et environnementale du Niger supérieur*. Direction nationale de l'hydraulique et de l'eau (DNHE), projet Delft Hydraulics, Bamako, 2000-2002.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MARIE J., 2000 –

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

MARIE J., 2002 –

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

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

MDRE (Ministère du développement rural et de l'eau), 1999a –

*Stratégie nationale de développement de l'irrigation*. Bamako, République du Mali, 76 p.

MDRE (Ministère du développement rural et de l'eau), 1999b –

*Étude environnementale de la zone de l'Office du Niger*. Bamako, République du Mali, 63 p.

MOOREHEAD R., 1997 –

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

MORAND P., BREUIL C., 2002 –

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

MORAND P., KODIO A., 2004 –

*Indicators for Tropical Floodplain Fisheries. Case study on the Niger River in Mali*. Poster at Symposium SCOR, March 31<sup>st</sup> - April 4<sup>th</sup>.

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

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

NIARÉ T., 1994 –  
« Croissance des poissons ». In Quensièrre J. (éd.) : 229-236.

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

ORANGE D., ARFI R., KUPER M., MORAND P., PONCET Y. (éd.), 2002 –  
*Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*. Séminaire international, 20-23 juin 2000 (Bamako-Mali). Paris, IRD, coll. Colloques et séminaires, 987 p.

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

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

PICOUET C., DUPRÉ B., ORANGE D., VALLADON M., 2002 –  
Major trace element geochemistry in the upper Niger river (Mali): physical and chemical weathering rates and CO<sup>2</sup> consumption. *Chemical Geology*, 185: 93-124.

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

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

QUENSIÈRE J., BÉNECH V., DANSOKO D., 1994 –  
« Évolution de la composition des peuplements de poissons ». In Quensièrre J. (éd.) : 105-122.

SAMÉ-EKOBO A., FONDJO E., EOUZAN J.P. (éd.), 2001 –  
*Grands travaux et maladies à vecteurs au Cameroun*. Paris, IRD coll. Expertise collégiale, 2 volumes, 221 p. et 74 p.

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

TRÉBUIL G., HOSSAIN M., 2004 –  
*Le riz*. Paris, Belin, 265 p.

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

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

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

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

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

WYMENGA E., KONE B., VAN DER KAMP J., ZWARTS L., 2002 –  
*Delta intérieur du fleuve Niger*. Wageningen (Pays-Bas), Wetlands International, 240 p.

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

# Annexes



# Cahier des charges de l'Expertise collégiale

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

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

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

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

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

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

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

# Présentation du collège d'experts

**JEAN-FRANÇOIS BÉLIÈRES**

Cirad  
BP 1813 – Bamako – Mali

**CHEIK CISSÉ**

Consulting legal expert  
Bamako - Mali

**LASSINE DIARRA**

IER – CRRA  
CRRA Sotuba  
BP 262 – Bamako – Mali

**ALMOUSTAPHA FOFANA**

DNH  
BP 66 – Bamako – Mali

**PIERRICK GIVONE**

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

**HOUSSEINI MAÏGA**

DNH  
BP 66 – Bamako – Mali

**JÉRÔME MARIE**

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

**PIERRE MORAND**

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

**MAMADOU KABIROU N’DIAYE**

IER  
BP 258 – Bamako – Mali

**HAMADY N’DJIM**

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

**DIDIER ORANGE**

IRD – Ambassade de France  
57 Tran Hung  
Dao Hanoi – Vietnam

**OUSMANE SY**

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

**PIERRE SIBIRI TRAORÉ**

Icrisat / IER  
BP 258 – Bamako – Mali



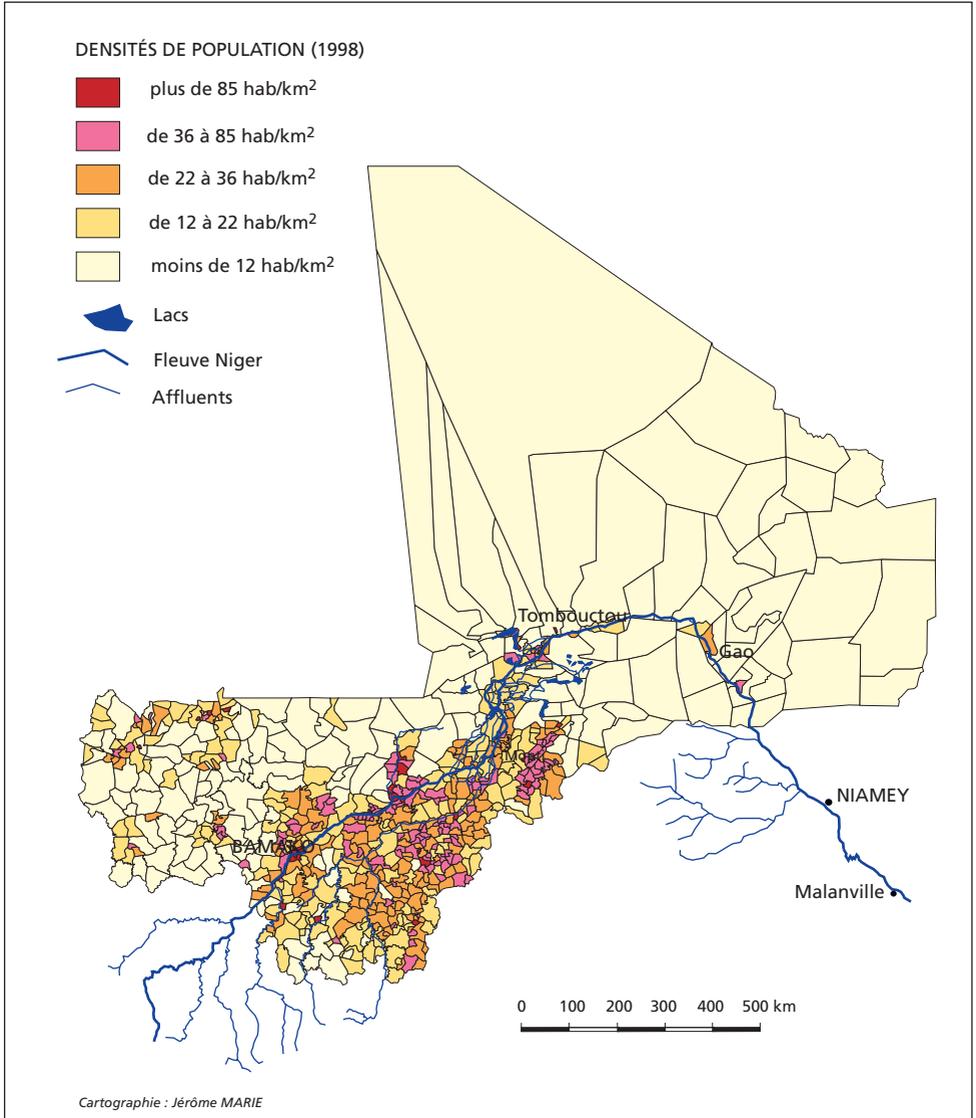
# Avenir du fleuve Niger

CARTES HORS TEXTE

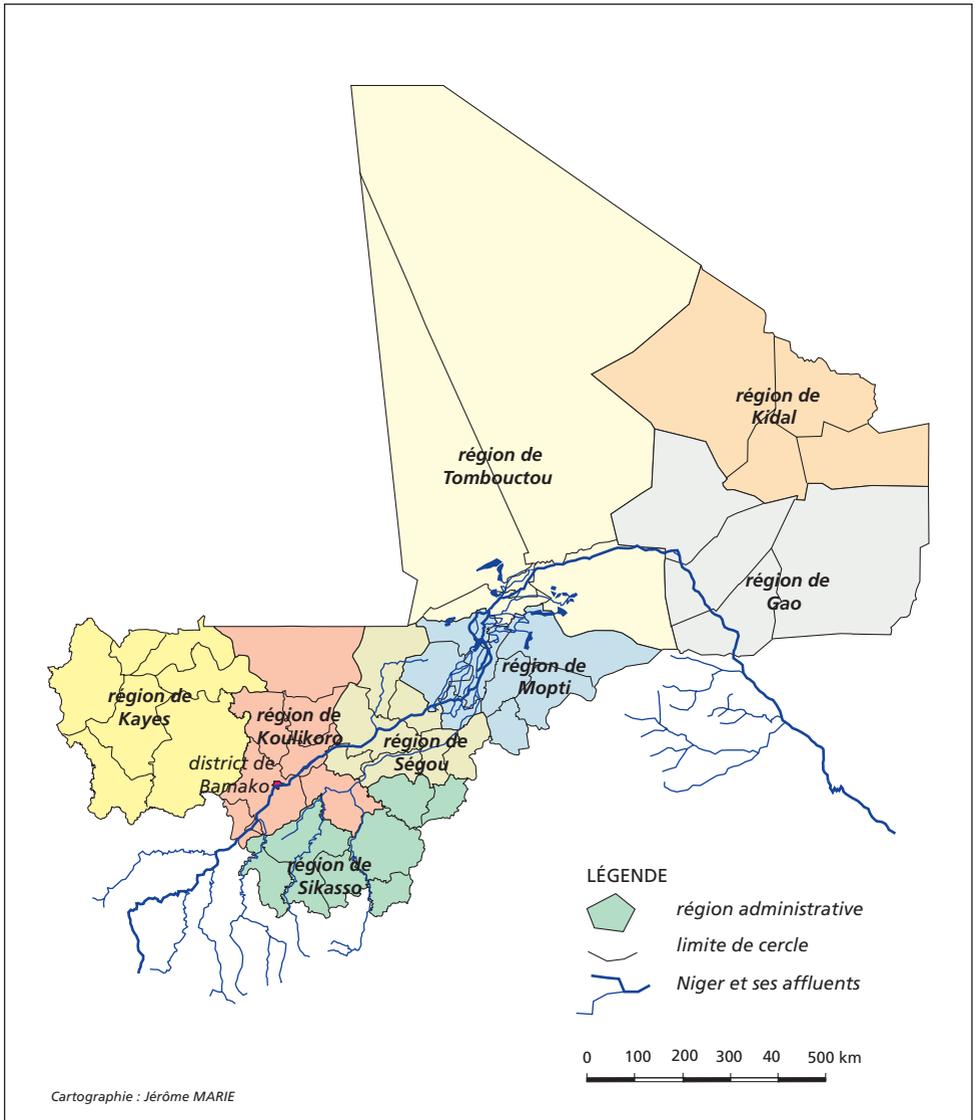
# The Niger River's Future

MAPS INSERTS

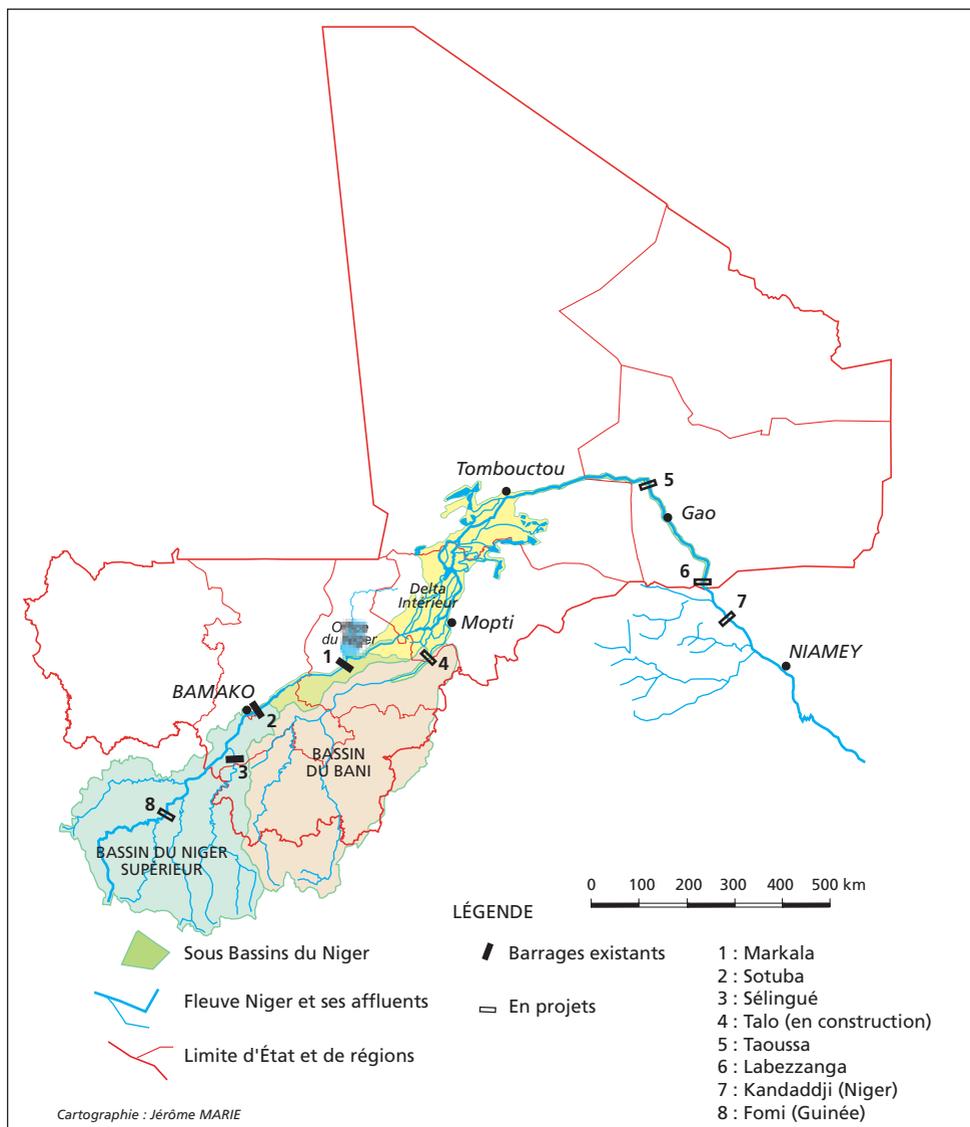
# 1 – La population communale au Mali et la vallée du fleuve Niger



## 2 – Le fleuve et les régions administratives



### 3 – Le bassin du fleuve et les aménagements



**English  
version**



# The Niger River's Future

*Scientific coordinators*

**Jérôme MARIE, Pierre MORAND, Hamady N'DJIM**

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

**IRD Éditions**

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

collection Expertise collégiale

Paris, 2007

**Editorial preparation**

Christian Delvaux

**Layout**

Bill Production

**Page makeup, cover and interior**

Pierre Lopez

**English translation**

Cabinet Champolion

**Coordination**

Département Expertise et Valorisation, IRD

**Production monitoring**

Catherine Plasse

---

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

---

# The panel of experts

## CHAIRMAN

**Ousmane Sy,**

Minister of territorial administration and local institutions  
(Republic of Mali)

## SCIENTIFIC COORDINATORS

**Jérôme MARIE** (Paris 10 University)

**Pierre MORAND** (IRD)

**Hamady N'DJIM** (Consulting engineer)

## MEMBERS

**Jean-François BÉLIÈRES** (Cirad)

**Cheik Cissé** (Consulting legal expert)

**Lassine DIARRA** (IER-CRRA)

**Almoustapha FOFANA** (DNH)

**Pierrick GIVONE** (Cemagref)

**Housseini MAÏGA** (DNH)

**Mamadou Kabirou N'DIAYE** (IER)

**Didier ORANGE** (IRD)

**Pierre SIBIRI TRAORÉ** (Icrisat/IER)



# Contents

<b>Aims and methods of the expert group review</b>	163
<b>Introduction</b>	167
The plan for this synthesis	167
Overview	168
■ <i>Part one</i>	
<i>Synthesis and recommendations</i>	
<b>The situation and how it is evolving</b>	177
The trends shaping current driving forces and other forcing factors, and the outlook	177
River-usage characterisation and performance, water requirements and relative impacts	184
The Niger River's ecosystem today and the trends shaping it	208
The institutional framework and existing management instruments	224
<b>The problems: how they are addressed today</b>	241
Risks associated with hazards	242
Tensions and how they are handled today	249
Threats for the future	256
Institutional issues hampering efficient environmental and natural-resource management	258
<b>Proposals, conclusions and recommendations</b>	263
Setting up or consolidating management tools	263
Conclusions	270
Recommendations	271
<b>Bibliography</b>	275

■ *Appendices*

<b>Appendix 1 – Specifications for the expert group review</b>	285
<b>Appendix 2 – The panel of expert</b>	286

■ *Maps insert*

<b>Maps 1, 2, 3</b>	INSERT
---------------------	--------

■ *Part two*

*Analytical chapters (in French; CD-ROM)*

<b>1 – Présentation du fleuve Niger</b> HOUSSEINI MAÏGA, JÉRÔME MARIE, PIERRE MORAND, HAMADY N'DJIM, DIDIER ORANGE	CD-ROM
<b>2 – Variables et régulation de l'eau</b> JEAN-FRANÇOIS BÉLIÈRES, MAMADOU KABIROU N'DIAYE, HAMADY N'DJIM	CD-ROM
<b>3 – Connaissance du fleuve, évolution et indicateurs</b> LASSINE DIARRA, ALMOUSTAPHA FOFANA, PIERRICK GIVONE, HOUSSEINI MAÏGA, PIERRE MORAND, DIDIER ORANGE, PIERRE SIBIRI TRAORÉ	CD-ROM
<b>4 – Prévention des risques</b> CHEIKH CISSÉ, LAMINÉ DIARRA, ALMOUSTAPHA FOFANA, PIERRICK GIVONE	CD-ROM
<b>5 – Cadre institutionnel et juridique de gestion de l'activité liée au fleuve Niger</b> CHEICK CISSÉ, PIERRE MORAND	CD-ROM
<b>6 – Les systèmes d'information environnementaux</b> ALMOUSTAPHA FOFANA, PIERRICK GIVONE, JÉRÔME MARIE, PIERRE MORAND, DIDIER ORANGE, PIERRE SIBIRI TRAORÉ	CD-ROM

# Abbreviations

<b>ABFN</b>	<i>Agence du bassin du fleuve Niger</i> (Niger river basin agency)
<b>ABN/NBA</b>	<i>Autorité du bassin du Niger</i> (Niger river basin authority)
<b>Cemagref</b>	<i>Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement</i> (French agricultural and environmental engineering research agency)
<b>CILSS</b>	<i>Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse au Sahel</i> (permanent interstate committee for drought control in the Sahel)
<b>Cirad</b>	<i>Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement</i> (international cooperation centre in agricultural research for development)
<b>CMDT</b>	<i>Compagnie malienne de développement textile</i> (Malian cotton company)
<b>COD</b>	Chemical Oxygen Demand
<b>Comanav</b>	<i>Compagnie malienne de navigation</i> (malian sailing company)
<b>DNH</b>	<i>Direction nationale de l'hydraulique (Mali)</i> (Mali's hydraulic authority)
<b>EDF</b>	European Development Fund
<b>ESP/GRN</b>	<i>Équipe systèmes de production et Gestion des ressources naturelles</i> (production systems and natural resources management team)
<b>FAO</b>	<i>United Nations' Food and Agriculture Organization</i>
<b>Ghenis</b>	<i>Gestion hydro-écologique du Niger supérieur</i> (upper Niger hydro-ecological management project)
<b>GTPA</b>	<i>Groupe de travail pluridisciplinaire d'assistance agro météorologique</i> (multidisciplinary task force, agro-meteorological support)
<b>GTZ</b>	<i>Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit</i> (international cooperation enterprise for sustainable development)

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

# Aims and methods of the expert group review

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

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

Useful and reliable expert reviews encompass three aspects:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Marie-Laure Beauvais**

*Research Representative, Expert group review  
Expertise and Consulting Department, IRD*



# Introduction

## *THE PLAN FOR THIS SYNTHESIS*

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

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

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

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

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

## **OVERVIEW**

### **Mali**

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

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

Table 1 – Correspondance table questions/main answers

Questions (frame of reference)	Main answers	Subsidiary information
1 – Large-scale water-allocation patterns (Mali, basin)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– “River-usage characterisation and performance, water requirements and relative impacts” p. 184 to p. 208</li> <li>– “Tensions and how they are handled today”; p. 249 to p. 256</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– “Climatic forcing factors in the Niger river basin” p. 180 to p. 183</li> <li>– “Threats to nation-wide food security” p. 257</li> <li>– “Setting up or consolidating management tools” p. 263 to p. 269</li> <li>– “Third recommendation: a contribution to balanced strategic choices” p. 273 and p. 274</li> </ul>
2 – Water management in large irrigation schemes	<ul style="list-style-type: none"> <li>– “Agriculture” p. 190 to p. 200</li> <li>– “Soil fertility” p. 214 and p. 215</li> <li>– “Poor scheme water efficiency” p. 253 to p. 255</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– “Plant communities and resources” p. 215 to p. 219</li> <li>– “Examples of the operations-based approach” p. 232 and p. 233</li> </ul>
3 – The ecosystem and how it is evolving	<ul style="list-style-type: none"> <li>– “The Niger River’s ecosystem today and the trends shaping it” p. 208 to p. 224</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– “Climatic forcing factors in the Niger river basin” p. 180 to p. 183</li> <li>– “Setting up or consolidating management tools” p. 263 to p. 269</li> </ul>
4 – Risks and hazards	<ul style="list-style-type: none"> <li>– “Risks associated with hazards” p. 242 to p. 249</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– “Climatic forcing factors in the Niger river basin” p. 180 to p. 183</li> </ul>
5 – Institutions	<ul style="list-style-type: none"> <li>– “The institutional framework and existing management instruments” p. 224 to p. 239</li> <li>– “Institutional issues hampering efficient environmental and natural-resource management” p. 258 to p. 262</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– “Second recommendation: push ahead with developments in the institutional framework” p. 272 and p. 273</li> </ul>
6 – Information systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>– “Monitoring and circulating information” p. 233 to p. 239</li> <li>– “Setting up or consolidating management tools” p. 263 and p. 269</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– “First recommendation: consolidate scientific knowledge” p. 271 and p. 272</li> </ul>

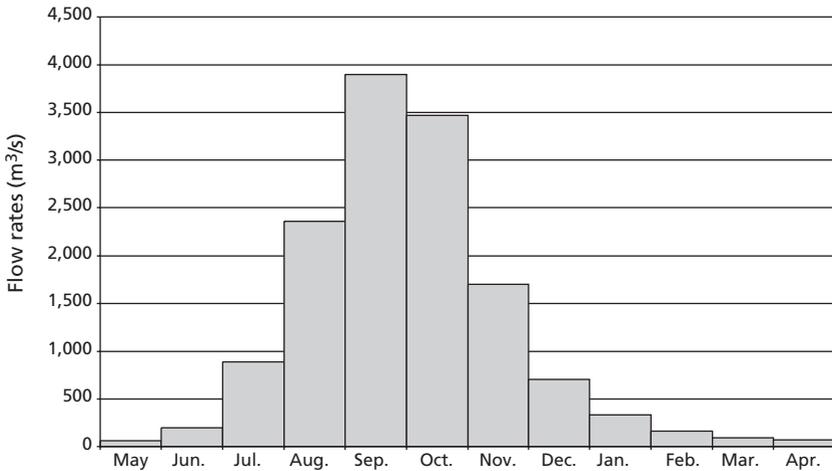
in 1591. The Middle Niger lost its central role on trans-Saharan trade routes, but nonetheless continued to serve as a hub for regional salt, rice, fish and livestock commerce. In the 19<sup>th</sup> century, before colonisation, the Niger River's inland delta was the base of one last realm, the Peul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

### **The Niger River**

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

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

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

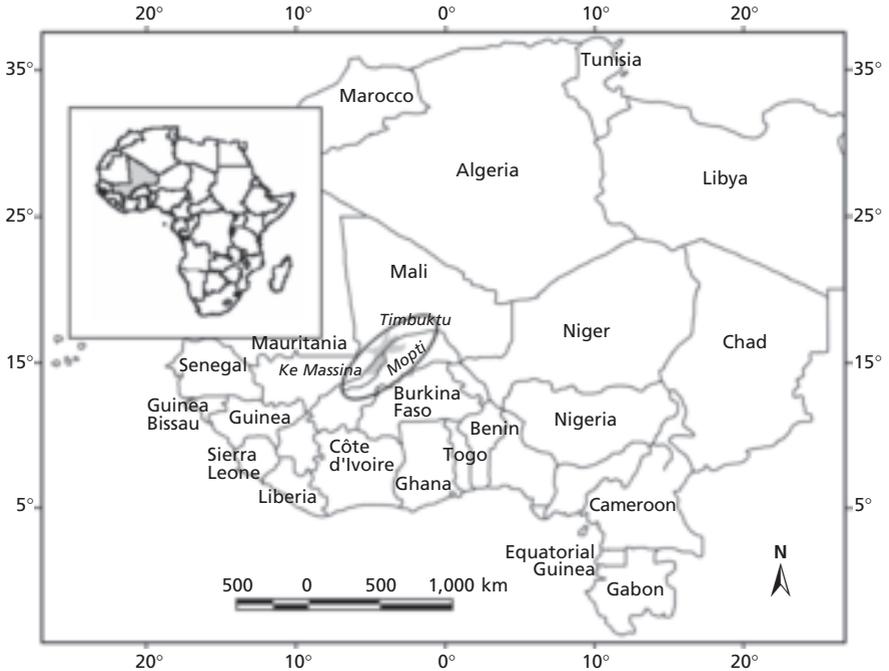
**Figure 1**

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

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

### The Niger River's inland delta

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



**Figure 2**

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

### The weather

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

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

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

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

- the Sudano-Guinean zone (south of the line between Bougouni and Sikasso and spanning the Upper Niger and High Bani), where over 1,100 mm of rain fall over seven or eight months a year;
- the Saudi zone (on and around a line between Bamako, Segou and San), where it rains between 1,100 and 600 mm for less than six months a year;
- the Sahel zone (north of Mopti and across the Niger's inland delta and oxbow), where it rains between 600 and 100 mm during only three months a year (from mid-June to mid-September);
- the Sahara or desert zone (north of the line between Timbuktu and Bourem), where it rains less than 100 mm a year. The scant tropical rain falls between June and September. Cold-season rain sometimes falls in January or February.



**Synthesis**  
**and**  
**Recommendations**



# The situation and how it is evolving

## *THE TRENDS SHAPING CURRENT DRIVING FORCES AND OTHER FORCING FACTORS, AND THE OUTLOOK*

### **How Mali's society and its requirements are evolving**

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

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

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

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

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

### ***How food requirements should evolve through 2025***

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

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

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

**Table 2 – Food consumption in Mali (in tonnes)**

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

Source: Based on 1988/97 DNSI consumption budget survey

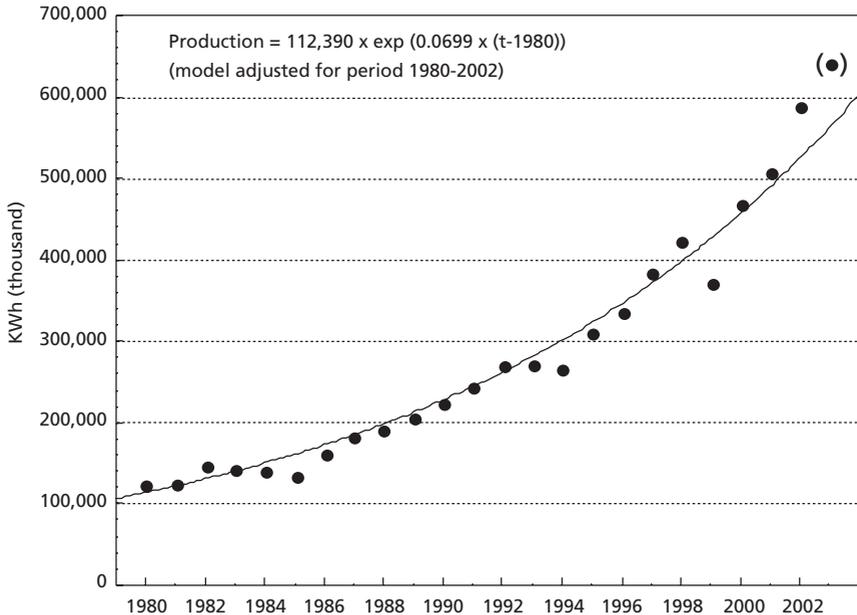
***How energy requirements should evolve through 2025***

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

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

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

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



Source: NOS, 2003

**Figure 3**

Increase in Mali's power generation

## Climatic forcing factors in the Niger river basin

### *The climate and its several forms of variability*

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

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

***Variability of the internal structure of the rainy season***

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

***Inter-annual variability of total rainfall***

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

***Decade-on-decade variability of total rainfall***

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

***Multi-decade variability of total rainfall***

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

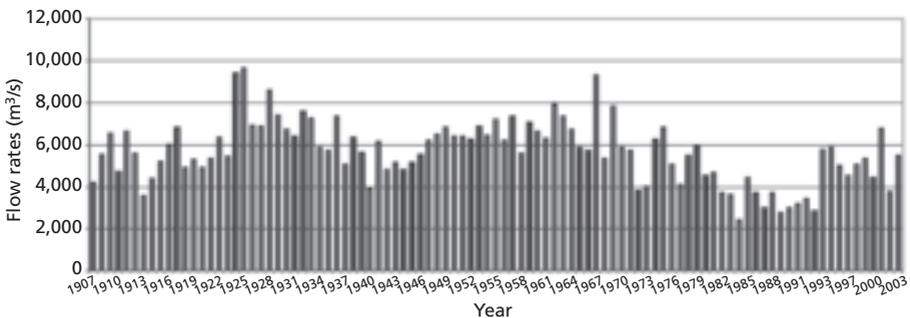
prehistoric days than it has today). However, sharp decade-on-decade variability within this historical trend brings very rainy periods spanning a number of years. The latest ones date back to the middle of the 20<sup>th</sup> century. The future may bring more such episodes.

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

### **Changes that people have noticed and noted**

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

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



**Figure 4**

The Niger River's maximum flow rates in Koulikoro

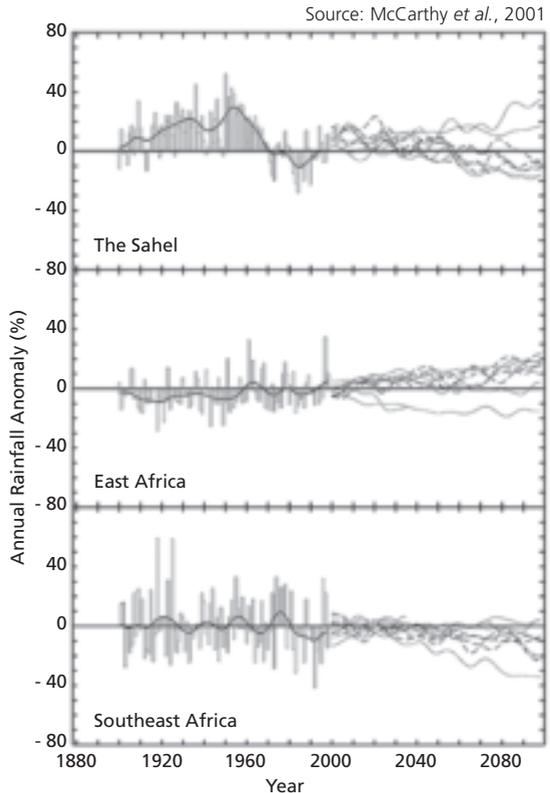
The flow peaks in Koulikoro illustrate the different variability scales in the Sudan-Sahel (year-on-year and decade-on-decade patterns, mainly), even if a dam was built in Selingue in 1982.

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

**The forecasts and outlook**

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

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



**Figure 5**

Observed and simulated rainwater anomalies (variation %)

## *RIVER-USAGE CHARACTERISATION AND PERFORMANCE, WATER REQUIREMENTS AND RELATIVE IMPACTS*

### **Large hydraulic schemes**

Compared to other large rivers around the world, it is fair to say that the Niger is still fairly untapped. This is especially true in the case of its upper and middle reaches. There are only three dams between the springs and Niamey: Selingue, Sotuba and Markala (in that order, downstream). They are all in Mali but vary somewhat in size.

#### ***Selingue***

Selingue is on the Sankarani, one of the Niger River's tributaries, about 60 km from the junction, 150 km upstream of Bamako. It has regulated the Niger River's flow to some extent since 1982.

It is an earth dam. Its two sections measure 600 m in total and nestle the eight 13 x 5 m<sup>2</sup> overflow flaps that make up the weir and the central 14 x 11 m<sup>2</sup> valve. This weir is designed to discharge a one-in-a-thousand-year flood, estimated at 3,500 m<sup>3</sup>/s. Four 11.9-MW Kaplan turbines in the power station generate electricity. An irrigation valve diverts water to the 1,500 ha for people displaced by the dam (Selingue, however, only deflects very small quantities of water for irrigation).

The impoundment area spans two river valleys (65 km long each). When the impoundment lake is full (i.e. when it reaches the 348.5-metre mark in late September every year), it holds 2.63 billion m<sup>3</sup> of water and covers 430 km<sup>2</sup>.

Selingue dam remains full for a few weeks between late July and 20 September, thanks to the natural annual flood. Then it starts releasing water and feeding its turbines to generate electricity and regulate the flow downstream. This lasts from January to June. The impoundment lake is practically empty (below 10% of full capacity) in early July. So, from an annual perspective, this dam's impact on downstream flow is simple to describe: it regulates water levels, smoothing swells and compensating lulls. Selingue is indeed the only dam that can do the latter, supplying water to the *Office du Niger* scheme at the end of the dry season and supplying Niamey (which is nonetheless 1,500 km downstream).

Administrators are intent on this dam's lull-counterbalancing role. In particular, they have specified the need to keep the minimum level at 60 cm in Koulikoro and to guarantee a 40 m<sup>3</sup>/s flow downstream from Markala.

How filling the impoundment affects the Sankarani River's flow (and hence the Niger's flow downstream), conversely, has received little attention. Estimates suggest that Selingue diverts about 400 m<sup>3</sup>/s from the flow peak (which would otherwise feed into the Niger). Filling about 2 billion m<sup>3</sup> in eight weeks involves diverting about 413 m<sup>3</sup>/s on average during that period of time. It is also worth pointing out that this filling (diverting) phase lasts throughout the Sankarani's natural swell (peak included), as it stretches on to 20 September.

### **Sotuba**

Sotuba is on the Niger River, near Bamako. This run-of-river dam produces electricity for Mali's capital, and diverts a scant 0.22 km<sup>3</sup> a year to irrigate Baguineda, a small farming area (which has a negligible impact on river's flow downstream).

### **Markala**

This run-of-river dam stands some 250 km down the Niger from Bamako, and has been operating since 1947. Its 1,813-metre-long wall and 816-metre-long dam housing multiple-position collapsible spillway gates hold a lake during low-water periods and disappears completely during medium- and high-water periods. Its diversion valve feeds a lake that irrigates nearby *Office du Niger* schemes by gravity.

The channels emerging left of the pond comprise the feeder channel (designed to carry 200 m<sup>3</sup>/s) which splits into the Sahel canal, Massina canal and Costes-Ongoïba canal. These canals feed 77,200 ha of *Office du Niger* full-water-control land growing rice and market produce, 3,000 ha of controlled-submersion *Office Riz Ségou* land growing rice and 5 000 ha growing sugar cane in the Sukala agro-industrial area.

Markala diverts about 2.6 billion m<sup>3</sup> a year into *Office du Niger* schemes. In absolute terms, this is not much (the Niger carries about 46 billion m<sup>3</sup> of water a year through this area). But it is about 50% to 80% of the river's water during the low-water stage. Markala also diverts a fairly substantial 150 m<sup>3</sup>/s during the swell (returning practically none of it to the river).

The top-priority goal for agencies administrating river resources is to keep the lake's level at 300.10 m during the low-water stage and at 300.54 m during the high-water stage, in order to feed the *Office du Niger* scheme's areas by gravity. This dam also has to keep the downstream flow at or above given levels during the low-water stage, but can only do so with Selingue help.

In practice, the Markala dam's flow is governed upstream. Administrators process information about incoming flow, on-site diversion and outgoing flow for users downstream.

### **Existing dams and how they impact water flow**

The total amount of water that each of these three dams diverts in a year (table 3) provides the first indication of their impact.

However, these annual diversion figures do not show how these dams alter flows downstream. Selingue, for instance, diverts very little water in absolute terms, but has a sizeable impact on the river's flow downstream insofar as it deflects a large amount of water at given point in time, holds it for a few months, and then releases it. So a more comprehensive table is warranted (table 4).

To sum up, the fact that the first two dams (Selingue and Markala) divert water during the high-water stage explains some (500 to 550 m<sup>3</sup>/s) of the downstream lull. This diversion has a much smaller impact on the swell's "tail" (late September up the Niger and late October in Mopti) as Selingue is already full. In any case, the negative effect on high-water levels downstream (in Mopti, for example) and on the extent and duration of the Niger's inland-delta floods is by no means negligible<sup>1</sup> even if it has never been

**Table 3 – Diversions by Dams on the Niger River's upper and middle tributary basin**

Name	River	Effective diversion	Nominal capacity
Selingue	Sankarani	0.023 km <sup>3</sup> /year	0.1 km <sup>3</sup> /year
Sotuba	Niger	0.21 km <sup>3</sup> /year	0.22 km <sup>3</sup> /year
Markala	Niger	2.6 km <sup>3</sup> /year	5.7 km <sup>3</sup> /year

<sup>1</sup> Maximum high-water flow rates in Ké-Massina (downstream from Markala, at the entrance of the delta) are in a 3,000 to 5,000 m<sup>3</sup>/s bracket, meaning a 500 or 550 m<sup>3</sup>/s change would be tantamount to a substantial 10% to 18% of the flow.

**Table 4 – The impact of these two large dams on downstream flow rates during high-water and low-water stages**

	High water		Low water	
	Type of requirement and usage	Effect on downstream availability	Type of requirement and usage	Effect on downstream availability
Selingue	Storage	Negative, fairly considerable (- 400 m <sup>3</sup> /s)	Release (power generation)	Substantially positive, given flow rates during this season (+ 70 à + 120 m <sup>3</sup> /s)
Markala	Diversion (for irrigation)	Negative, but not considerable given flow figures during the season (- 125 m <sup>3</sup> /s)	Diversion (irrigation)	Considerably negative, given flow rates during this season (- 70 m <sup>3</sup> /s)

precisely quantified (doing so, as an aside, would be difficult, as the water stretches across the delta and intermingles with water from the Bani which is not affected, as yet, by the dams).

During the low-water stage (February-June), the backup release from Selingue does a little more than compensate the water that Markala diverts at that time. There is no doubt that flow rates rise in every area downstream from Selingue, but the areas between Selingue and Markala (Bamako, Koulikoro, Segu, etc.) enjoy the bulk of the benefits. Diversion at Markala has a very severe impact on the flow beyond it.

**Plans**

**Taoussa**

Plans here involve building a dam with a micro power station between Timbuktu and Gao to generate electricity and to develop farming around the Niger’s oxbow. The lake should hold 6 billion m<sup>3</sup>, making Taoussa Mali’s biggest project. It will stand on PK1 436, its bed will be 249.95 m deep, and the lake will fill up to 258.75 m. The impoundment would be about 140 km long and stretch nearly as far as Korioumé (Timbuktu’s port) upstream.

This dam is expected to reshape the annual swelling from the rainy season higher up the basin. When it gets this far north (in December), the swell has already been through the delta and lost some of its strength. It will be even weaker downstream, as some of the water will feed into the lake. So the annual cold-season floods in Gao (January-February) would probably dwindle and disappear. However, this dam would guarantee a 100 m<sup>3</sup>/s flow rate in Niamey through the dry season, and should irrigate 70,000 to 80,000 ha in Mali.

Furthermore, a simulation using the Niger River's mathematical model (Carima) shows that this dam will slow the flow upstream by levelling the slope (once the lake fills to certain level). This, in essence, would lengthen the high-water season – at least north of the delta and downstream from Lake Debo.

Whether authorities will allow this lake to empty almost completely once a year (as Selingue) or whether they will choose to keep water levels more or less high is not yet clear. The latter would keep the delta flooded for longer.

### **Talo**

This plan involves building a threshold dam on the Bani River, by Talo, to irrigate some 24,000 ha and thereby develop farming. There are no plans for power generation. In Talo, the Bani splits into two canals creating an island. A spillway will close the shallower (north-side) canal (the minimum bed level is 270.50 m) and an embankment will close the deeper (south-side) canal (minimum bed level is beneath 268.00 m).

Simulations show that water would spill at the 277-metre mark. Upstream, water would spill over the left and right banks in two places, flooding a total of 150 km<sup>2</sup>. Precisely what areas would flood, however, was not clear (the topographical information used for this simulation lacked accuracy). Downstream effects were run through a simulator as well: building a dam in Talo would delay the Bani's downstream swell by a week, especially in Djenné but should not have a measurable impact on the peaks in Djenné, Mopti or across the delta. This comes as no surprise (this dam is a spillway and fairly small). It should, however, slightly compensate the lull in March and April.

### **Djenné**

This project can be regarded as Talo's rival. The goal, here, is to flood 85,000 ha of plains (the Pondori, which the river's swell does not reach during poor years) and to generate enough electricity for the neighbouring city. This dam should be small, not unlike Talo, and, similarly, have little if any impact on the rest of the inland delta.

There are plans for another small run-of-water dam in Kénié, between Bamako and Koulikoro. This dam should have no effect on downstream flow rates.

Fomi, lastly, is in the upper basin in Guinea. When it is built, this dam will most probably be used to generate electricity (like Selingue). The impoundment lake will probably hold 6 billion m<sup>3</sup> of water, meaning it will probably have a substantial impact on the river's flow rate, and play an even more important role smoothing high-water and low-water flow variations (which, no doubt, will have palpable consequences on flooding in the Niger's inland delta).

### **Hydroelectric power generation**

According to a 2004 IEPF study, annual production in 2002-2003 stood at 0.46 terawatt-hour. More than half of that production (56% or 0.262 TWh) came from Selingue (0.18 TWh) and Sotuba (0.04 TWh), on the Niger River. Manantali, a new dam that was starting up in the Senegal River basin at that time, provided backup. When it reaches full capacity, Manantali will be generating 0.41 TWh (at least for Mali; the rest of will go to Senegal and Mauritania). Combined, in other words, these three hydroelectric dams should be generating 0.63 TWh in the near future. Thermal power plants, on their part, were producing 0.20 TWh in 2002-2003 but fresh investment should enable them to generate 0.30 TWh in the near future. Mali's present capacity, in other words, stands at (or beyond) 0.9 TWh. This covers its needs today.

But demand is growing fast and capacity could fall behind in a few years' time – as early as 2007, some say (cf. "How Mali's society and its requirements are evolving" p. 177). New investment – to at least double capacity by 2025 – will therefore be necessary.

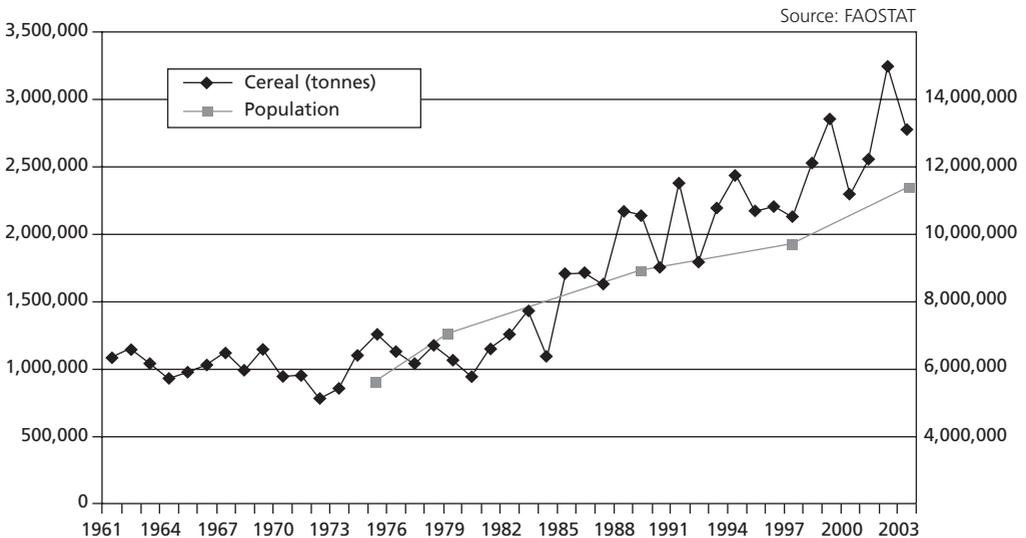
Hydroelectric power plants will certainly cover some of this capacity. Thermal and renewable sources of energy will also play a role. But exactly how much each source will contribute is not clear yet.

## Agriculture

### General productivity

Cotton is Mali's second foreign-currency earner after gold (612,000 t a year in 2003/2004). Much of it grows in the Niger River's basin, south of a line between Bamako, Segou and San. This area is referred to as CMDT and spans the Bani, Baoulé and Sankarani tributary basins. Farming, to some extent, can be described as intensive, and fertilisers and pesticides are commonplace. In Mali, cotton is a rain-fed crop.

Mali's cereal production has risen from 1,032,000 t a year (the 1961-1966 average) to about 2,707,000 t a year (the 1998-2003 average). Production stagnated for a time, but has been growing a healthy 5% a year – comfortably ahead of the population since the 1980s. Outside bad-weather years (such as 2004), Mali can typically cover more than 100% of its food requirements.



**Figure 6**

How Mali's cereal production and population have evolved since 1961

In spite of sharp year-on-year fluctuation, production has, by and large, grown faster than requirement.

Cereal production originally increased in step with the amount of land used to farm it, which has stretched from 1,384,000 ha (the 1961-1966 average) to 2,636,000 ha (the 1998-2003 average). Early attempts at intensive farming subsequently increased yields somewhat. Corn yields rose 49% and rice yields 100%. Millet and sorghum yields, conversely, did not increase markedly.

Rice production was subsidiary until the early 1980s, but has since grown to rank alongside millet as Mali's leading crop. Most of that rice is grown by the Niger or tributary rivers. A growing portion of the food grown in Mali, it arguably follows, comes from the Niger River.

**Table 5 – Cereal production, farmland area and yields in Mali (1961-2003)**

	<b>1961-1966 average</b>	<b>1998-2003 average</b>	<b>Growth (1961-1966 = 100)</b>
<b>Area (ha)</b>			
Corn	109,258	303,653	278
Millet	662,333	1,142,516	172
Rice (paddy)	168,333	395,948	235
Sorghum	447,333	795,038	178
<b>Yield (kg/ha)</b>			
Corn	832	1,243	149
Millet	665	752	113
Rice (paddy)	1,052	2,106	200
Sorghum	727	842	116
<b>Production (t)</b>			
Corn	90,460	369,560	409
Millet	442,200	838,896	190
Rice (paddy)	171,960	828,863	482
Sorghum	327,000	661,999	202
<b>Total production (t)</b>	<b>1,031,620</b>	<b>2,706,914</b>	<b>262</b>

Source: FAOSTAT

Rice has become more prominent for two reasons: because rice-farming areas has been growing regularly since the early 1980s, and because average yields have grown concomitantly (from 1 t to 2 t/ha). Rice production idled below 200,000 t a year for a fairly long time, but now invariably reaches at least 700,000 t a year (and peaked at a record-breaking 900,000 t in 2001).

Table 6 – How Mali's rice production has evolved since 1961

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

Rice consumption is higher in cities than in the country, and will plausibly grow in years to come – all the more so as yields still offer considerable room for improvement (the most productive systems produce six tonnes or more per hectare, the least productive ones less than one tonne per hectare).

Mali counts three distinct rice-growing systems. Their relative share in total output and the amount of land they use vary considerably. These systems follow:

- river-fed and rain-fed systems are specific to the river valley and, especially, to the inland delta;
- controlled submersion;
- full water control (the only ones that can be described as irrigated).

Yield is best analysed separately.

#### **Traditional river-fed and rain-fed rice growing (unsupported)**

This ancient system does not involve any hydraulic infrastructure. It involves using local varieties of “floating rice” that can handle water levels of up to three metres. Farmers choose a location for their paddy according to where they believe the water levels will rise during the high-water season (based on their experience). They may also move their paddies from one year to the next. They plough in February or March (after the harvest), or in May or June (just before the rain returns). They scatter the seeds, rainfall triggers the growth process, and then the floods take over. Floating-rice varieties derived from *Oryza Glaberrima* can survive in three-metre-deep water, provided the level does not rise more than five centimetres a day. Farmers then harvest the rice in the water between late October and December (depending on the variety they farm). This rice-growing method is very common in the inland delta. It spanned about 160,000 ha in the late 1980s (according

to the 1988 PIRL project report), and probably spans between 180,000 and 200,000 ha today. Yields are very poor (less than 900 kg/ha on average) and have not changed since the 1950's. They are also erratic: flooding can be inadequate, and rainfall insufficient or untimely (late rainfall will not allow the rice to grow enough before the flood). Plantation mobility is another of this system's hallmarks.

During good years, as many as 10,000 t of rice can be sold outside the delta (Kuper and Maiga, 2002). Bad years bring rice shortages.

We can look at this system in terms of "usable farmland" (how much land has enough water for rice to grow properly). Table 7 shows that usable farmland can indeed vary considerably from one year to the next. In 1994, for instance, three-quarters of the delta were suitable for floating-rice plantations. In 1972, conversely, only a fraction was viable (Marie, 2000).

**Table 7 – Usable farmland, traditional rice plantations, 1972, 1978 and 1994**

	<b>1972 (poor flooding)</b>	<b>1978 (average flooding)</b>	<b>1994 (good flooding)</b>
Usable farmland	332,000	831,000	1,342,000

These sharp variations explain why paddies move about so much. Yield, however, is still unpredictable. Paddies would shift about 10 km in the 1950s (Gallais, 1967), but started moving much further in the 1980s, when flooding became much more erratic. Farmers have left the Niger/Diaka plains and flocked to lower areas (Kootya, in the middle of the delta, for instance). Healthy flooding in 1994, conversely, covered the Kootya area's hamlets attracting farmers back and triggering new rice-paddy migration.

***Irrigated farms (scheme-supported)***

Here, farmers can count on irrigation systems diverting surface water into their farms. A wide variety of systems, ranging from controlled submersion to full water control, fall into this category. The Niger's tributary basin in Mali counts about 250,000 ha of irrigable land, including some 100,000 ha with full-water-control schemes.

Mali has ranked water control high on its list of strategic priorities, both to meet its population's needs and in the interest of sustainable development. Accordingly, it has been working on an irrigation-development plan to tap existing potential (MDRE, 1999). Doing so will involve building hydro-agricultural infrastructure to flood an additional 50,000 ha of full-water-control land and 14,000 ha of land on shallow-flooding, submersion and other systems, by 2007. The longer-term goal is to extend the *Office du Niger's* total irrigated area by 120,000 ha, to 200,000 ha, in the next 20 years.

Schemes using river water for irrigation fall into one of the following categories.

#### **Controlled submersion**

Accounts for 60% of the surface prepared for rice plantations. The schemes are publicly-funded and run by relatively autonomous government agencies. The two most important ones are:

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

These schemes involve building small walls and inlets at specific levels to govern submersion. This in effect, curbs some of the risk associated with rain-fall: in theory, farmers can plant their rice later on in the year and make sure the seedlings are out of the ground before the flooding begins (and authorities controlling the dam can delay the flooding if and as required). But most of these systems were designed in the late 1960s, when the Niger brought healthy and relatively regular swells (the average maximum level in Mopti between 1960 and 1969 was 693 cm). Today, however, these dams are too high up and therefore ineffectual when flooding is inadequate – which, alas, is often the case today (the average maximum level in Mopti between 1980 and 1989 was 539 cm). Average yields are very poor (often less than one tonne per hectare) and only a fraction of sown areas are actually harvested. In ORM plots, for instance, the ratio between harvested and sown areas stands below 0.33 when high-water levels fail to reach the 550 cm mark, and does not reach 0.75 when high-water levels rise above 620 cm. During very bad years (1984), there can be no harvest at all.

This system is inadequate due to swell variability and uncertainty. In most cases, it can not guarantee production or earn farmers a decent income. It is inflexible, as well: rain- and river-fed systems may be less productive but can, at least, move to where conditions seem most propitious.

The ponds have been arranged slightly differently around Timbuktu and Gao (the *Action Riz Sorgho* project). The goal, there, was to build small structures to slow receding water and thereby keep the paddies flooded for longer.

#### **Gravity-governed full water control**

These schemes use upstream impoundment lakes with guaranteed water which release water by gravity. The *Office du Niger's* "large-scale" schemes (spanning 83,000 ha, including 5,000 for sugar cane), Baguineda (3,000 ha) and Selingue (1,000 ha) are three examples. They are all linked to dams (cf. "Large hydraulic schemes" p. 184).

Water management, here, involves building a network of canals (of earth, usually) to route water from the lake to the farms, crisscross it around the plots, and then allow it to flow downstream into the drainage network.

This rice-growing system ranks third in terms of farmland size (it covers slightly less than 100,000 ha across Mali). But it produces nearly 80% of this country's rice in an average year (different authors put yields between 4.5 and 6.0 t/ha). These areas have also attracted sizeable populations (farmers and their families, mostly). The extended *Office du Niger* area (i.e. all the land under *Office du Niger* management) spans 28,174 km<sup>2</sup>. Its eight hydraulic schemes span 19,074 km<sup>2</sup> and were home to some 321,069 people in 1998, putting their average population density at 16.83 inhabitants per km<sup>2</sup> (Sogreah, BCEOM-Betico, 1999).

These schemes, in other words, are efficient. But running them can entail a number of problems and they have a number of sensitive aspects. Monitoring and servicing heavy-duty hydraulic equipment is one issue. Administrating the land and cost distribution (water costs, in particular) among the parties is another sensitive area. Protecting the soil's fertility and, more generally, preserving the environment, is yet another concern. Public agencies in charge of these large areas are working hard to fine-tune and implement sustainable policies in line with central-government guidelines. Doing so, however, entails hiring qualified staff and experts – which, of course, carry a cost as well.

Another issue, from an ecological standpoint, is that most of the water that this large system diverts from the river is never replaced.

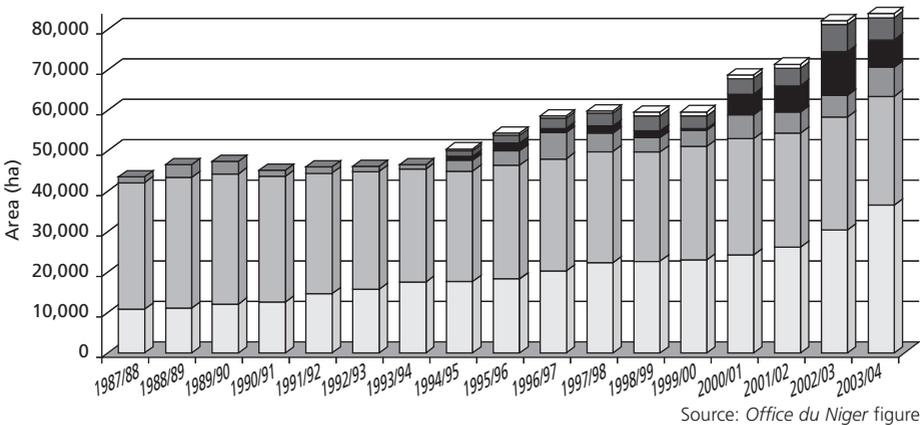
Source: Kuper et al., 2002

Table 8 – The Niger River's supply at Koulikoro and water diversion in gravity-governed total-water-management systems													
	Water quantity (in million m <sup>3</sup> ) and, in brackets, instantaneous flow rates (in m <sup>3</sup> /s) Monthly average for 1989/97												
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual (million m <sup>3</sup> )
<b>Niger River supply at Koulikoro</b>	568 (219.1)	380 (146.6)	339 (130.8)	368 (142.0)	444 (171.3)	745 (287.4)	1,759 (678.6)	4,455 (1,718.5)	8,571 (3,306.0)	7,794 (3,006.9)	3,483 (1,343.7)	1,311 (505.8)	30,217
Selingue	2.2 (0.85)	3.9 (1.50)	5.0 (1.93)	5.1 (1.97)	2.8 (1.08)	0.5 (0.19)	0.7 (0.27)	1.7 (0.66)	2.9 (1.12)	4.4 (1.68)	2.8 (1.08)	1.5 (0.58)	33.5
Baguinéda	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	18.0 (6.95)	216.0
Office du Niger	151.0 (58.3)	151.0 (58.3)	167.0 (64.4)	166.0 (64.0)	200.0 (77.2)	218.0 (84.1)	219.0 (84.5)	235.0 (90.7)	321.0 (123.9)	321.0 (123.9)	254.0 (98.0)	160.0 (61.7)	2,563.0
Total	171.2	172.9	190.0	189.1	220.8	236.5	237.7	254.7	331.9	343.4	274.8	179.5	2,812.5
<b>Diversion rate (%)</b>	<b>30.1</b>	<b>45.5</b>	<b>56.0</b>	<b>51.4</b>	<b>49.7</b>	<b>31.7</b>	<b>13.5</b>	<b>5.7</b>	<b>3.9</b>	<b>4.4</b>	<b>7.9</b>	<b>13.7</b>	<b>9.31</b>

These large systems, in other words, divert considerable amounts of water (table 8), and therefore have a negative impact on downstream water availability during both seasons: during low-water stages they divert more than 50% of the river's waters (and as much as 80% at peak times), during high-water stages they divert water into gravity-governed schemes and into Selingue's impoundment lake concurrently.

How much water is diverted into large gravity-governed systems (the *Office du Niger's* schemes, mainly) of course hinges on the size of the area in question. But it also hinges on the system's efficiency (i.e. its ability to divert no more water than the irrigated areas need). These irrigation systems, however, appear to waste water at present (cf. "Poor scheme water efficiency" p. 253).

We can also measure efficiency in terms of how many kilograms of rice are produced with a given amount of diverted water. In the case of the *Office du Niger*, one cubic metre of water produces about 0.13 kg of rice ( $320.10^6$  kg divided by  $2,500.10^6$  m<sup>3</sup>). This, of course, is after deducting the water that goes to sugar-cane plantations and non-farming uses (drinking water for livestock, etc.). This is also mediocre: the "norm" in Asia, for example, is at least 0.2 kg of rice per cubic metre of water.



Source: Office du Niger figures

**Figure 7**  
 Size of *Office du Niger* areas by scheme type, crop and season

- Winter rice, rearranged beds
- Winter rice, non-rearranged beds
- Winter rice outside beds
- Hot-season rice
- Market gardening
- Orchards

Poor water efficiency seems to be the weakness affecting gravity-governed schemes such as those run by the *Office du Niger*. It is also true that scant pressure on water resources in recent years did little to promote efficiency.

Higher efficiency, however, is one of the key issues in efforts to develop these schemes and to improve overall river-water management. It is worth pointing out that large gravity-irrigated schemes are expanding at a steady pace and should continue to do so in years to come (fig. 7).

This chart shows a sharp increase in total surface, and in out-of season plantations (hot-season rice and vegetables).

#### **Pump-assisted total-water-management irrigation**

Pump-assisted irrigation started developing here in the early 1980s, when rainfall and swells started dwindling. The main schemes on the Niger River<sup>2</sup> are in Mopti, Gao and Timbuktu. These schemes are generally small, and run by private concerns or village communities, i.e. "Village Irrigation Areas", often backed by NGO-sponsored "projects".

The inland delta counted 154 of these operations, spanning a total 1,400 ha, in 1998 (Ducrot *et al.*, 2002). In these schemes, a motor pump feeds a stilling pool and water then spreads across the plantations by gravity. The results are usually good or very good: yields generally exceed 6 t/ha, and can be as high as 9 t out of season (in the dry season). The problem, here, is that building these schemes entails considerable investment and that they will only prove cost-effective if the area they cover is large enough. Experience, especially in the Senegal valley, has shown that these schemes are not cost-efficient in small operations. Operating costs (high pump-fuel costs, especially), community management, and heavy maintenance requirements can cause a number of problems, and indeed lead users to abandon the entire scheme or at least part of it after using it for a longer or shorter period of time.

#### **Low-water and off-season farming on the river banks**

These schemes are especially developed in the north of the Niger River's delta and oxbow, and in the lake region. There are seventeen large lakes, mainly on the right bank. The shores of these lakes, and the shores of a large complex of permanent and semi-permanent ponds, are used to grow

| <sup>2</sup> This system is also in use in Kayes, in small areas feeding off the Senegal River.

**Table 9 – Different crops feeding off the river, their requirements, and their impact on the flow**

	High water		Low water	
	Requirements and use	Effect on downstream availability	Requirements and use	Effect on downstream availability
Floating rice (traditional + controlled submersion)	Depth and expanse, volume consumption	Negative, but very low	None (off-season)	None
Rice, large gravity-irrigated areas	Diversion for volume consumption	Negative, not very considerable, but a notch above negligible	Diversion for volume consumption	Negative, considerable
Rice, pump-assisted	Diversion for volume consumption	Negative, (but negligible)	Diversion for volume consumption	Negative, fairly low, but not negligible
Receding-flood crops, off-season market gardening	Depth for watered surfaces	None	Diversion for volume consumption (low)	Negative, (but negligible)

sorghum or tubers and vegetables (potatoes, tomatoes, etc.) as soon as the swell starts receding in late January or in February. These receding-flood crops are vital for people living in these Sahel or desert areas, who can no longer count on rain-fed crops for subsistence. The size of the tillable area, here, is linked to the area covered by the flood, and therefore linked to swell levels. The potential, however, seems largely untapped.

***Agricultural pollution in the river***

Intensive farming in Mali may not be as commonplace as in northern countries, but efforts to increase yields nonetheless entail using more fertilisers, pesticides and machinery. Malians are farming more land, as well. Combined, these factors are accelerating soil erosion and allowing more of

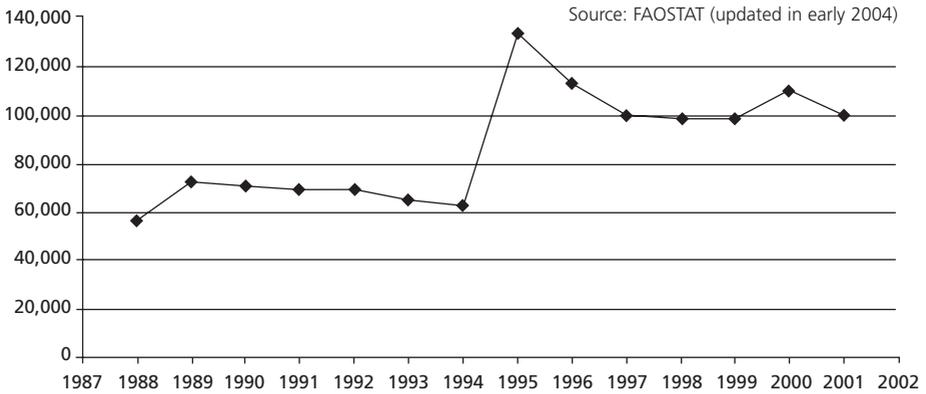
the soil's elements to seep into the river. Intensive farming is gaining ground in the cotton plantations on the Niger River's basin, so pollution from chemical fertilisers and pesticides is likely to follow and intensify. Intensive farming methods are also moving into irrigated areas, and likewise bringing fertilisers and pesticides (but in very small quantities as yet). Growing farming areas, escalating intensive farming and developing agricultural-industrial complexes will heighten the risk of pollution, spelling the need to monitor water pollution now.

### **Fishing**

A small portion of Mali's fish production comes from the Senegal river basin (from the Manantali dam lake). The bulk of it comes from the Niger River basin. As do the production swings, which can range from 55,000 t one year to 140,000 t the next (fresh weight equivalent) (fig. 8). The bulk of the Niger River basin's production, in turn, is fairly concentrated: about 80% of it (40,000 to 120,000 t a year) comes from the Niger River's inland delta (broadly, from Ké-Massina to Diré, encompassing the lakes). The rest comes from the Selingue's impoundment lake (4,000 t a year), from the Niger River upstream of Massina, from the Niger River's oxbow between Diré and Gao, and from the southern tributaries (Baoulé).

This healthy production makes Mali practically self-sufficient in fish, at least when it has average or generous high-water stages (which put production in excess of 100,000 t). Small amounts of frozen sea fish are imported and consumed in the capital, and some fresh and smoked fish is exported to Burkina Faso and Côte d'Ivoire.

It is not easy to tell how many fishers there are in Mali for two reasons. First of all, it is not easy to tell what exactly defines a fisher, and secondly statistical coverage is inadequate. We can nonetheless borrow international FAO terminology to establish what exactly defines a fisher. Some people fish sporadically, but are primarily farmers. They can be referred to as occasional fishers and come from a wide variety of ethnic backgrounds. Other people split their time more or less evenly between fishing and farming. They generally belong to large families. The several family members involved in fishing and farming usually split the work from December-January until May-July: some of the men stay in the village to harvest the fields, rest and then tend the rice



**Figure 8** Recent changes in Mali’s fish production as reported by national agencies to FAOSTAT. The bulk of production (over 95%) comes from the Niger River basin.

paddies; the others leave the village and fish intensively until the rainy season leads them back to the village where they spend the rest of the year working the fields with their relatives. These people are referred to as part-time fishers. Some people and households live exclusively from fishing, and often migrate to wherever fish is most abundant. These people are referred to full-time fishers. In Mali, part-time and full-time fishers are generally *bozo* or *somono* (Fay, 1989; Bauman *et al.*, 1994).

Large-scale surveys in the late 1980s narrowed the number of “real fishers” (part-time and full-time) down to around 30,000 in the delta alone. This suggests that about 60,000 men fish (Morand *et al.*, 1991). Those figures, no doubt, have grown since. And they do not include fishers from other parts of the Niger River basin elsewhere in Mali. Including them all, there are plausibly at least 80,000 fishers today.

But there are also people working in other areas of the fishing industry: there are fillet merchants, fish merchants, fish processors and jetty hands (box carriers, packers, etc.).

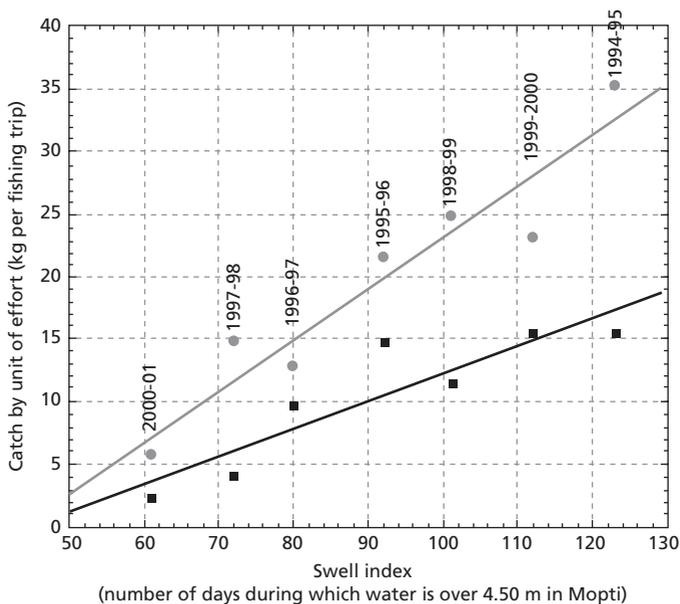
So, if we consider all these categories and accept the admittedly minimalist notion that every fisher (strictly speaking) generates one job on land,

we can say that fishing provides work for 160,000 people. Then, if we factor the accepted notion that rural West Africa counts two people who are not engaged in professional work for every person who is (Hugon, 1998), we can say that about 500,000 people (children and elderly included) live off fishing (i.e. fishing accounts for all or for a sizeable portion of their livelihood). This estimate may be rough, but it nevertheless points to the fact that fishing plays an important role even if it only contributed a scant 4.2% of Mali's GDP in 1995 (Breuil *et al.*, 1996).

Fishing campaigns last eight to nine months, in all this river's areas. Intensive fishing begins when the floods recede in November or December (depending on the area). They last through the low-water stage and end with the following swell in late June or early August (again, depending on the area). As fishing is intensive, catch sizes decrease as the campaigns move on. Estimates suggest that a full three-quarters of the river's fish biomass in early December is gone by the end of the campaign (Kodio *et al.*, 2002). Then, however, the high-water stage gives the fish population time to grow back to its original biomass between July and November. Biomass reconstruction, in this case, is complete – at least if the high-water stage is good. The catch one year has never been seen to hamper the catch the next.

Outside Selingue lake, where it is remarkably stable, fish production across the Niger River valley in general – and in the delta in particular – can vary considerably from one year to the next. Fish production is closely correlated with swell levels and with how long the flooding lasts (fig. 9). This is because the fish that hatch at the beginning of the high-water stage (in July) grow up in the flooded plains through November (Bénech and Dansoko, 1994; Niaré, 1994). They are then caught when the flood starts receding and the next fishing campaign begins.

Fish production can also be measured in relation to a producing area's size. In the inland delta, for instance, the flooded area spans 7,000 to 20,000 km<sup>2</sup> (depending on the year) and produces 40,000 to 120,000 t of fish (depending on the year and on flooding, Laë, 1992b). So, in this case, one flooded hectare produces 60 kg of fish on average. This is within the generally accepted bracket for this type of environment (40 to 100 kg/ha, Welcomme, 1989). Intensive campaigns in particularly productive spots on the delta, however, can produce as much as 100 kg/ha or more.



Source: Morand and Kodio, 2004, based on *Observatoire de la pêche* figures

**Figure 9**

Median catch per unit of effort (per fishing trip, in this case) against a swell index (how many days the water level stays above the 4.50-m mark in Mopti)

The round dots and top line show figures for the first half of the fishing campaign (December to mid-March); the squares and the bottom line show figures for the rest of the campaign (mid-March to June). The numbers denote years.

Village fish farming still has considerable potential, but in other areas (outside the large-scale commercial fishing areas) and with other population groups (more farming-oriented populations, especially) (Niaré *et al.*, 2000).

From an environmental perspective, in its current form, fishing has no impact on the rate or amount of water flowing or lying anywhere in the Niger River. It most probably generates very little pollution at this point (only the hydrocarbon released by the engines of vessels carrying migrating fishers or fish).

Table 10 – Water requirements for fish and fishing

	High water		Low water	
	Requirements and use	Effect on downstream availability	Requirements and use	Effect on downstream availability
Fish production	Water level (to maximise flooded areas and enable biomass reconstruction)	None	Requires minimum "shelter" water volume for the resource	None

### ***Livestock farming***

Estimates suggest that there are 7.6 million head of cattle in Mali. Figures are relatively stable in the large traditional cattle-breeding area in the north of the country (Mopti), and growing in the south. In Sikasso, for example, there were 336,000 head in 1970 and 741,000 (121% more) in 1995. However, in absolute terms, Mopti is still Mali's leading livestock-farming area. An aerial census in the 1980s suggests that there are some 1.6 million head, including about 1.2 million in and around the Niger River's inland delta.

The inland delta plays a very special in Mali's livestock-farming sector. This is because its flooded pastures are exceptionally fertile and stay "green" for 7 to 8 months. The best pastures, the *bourgoutières*, produce between 20,000 and 30,000 kg of dry matter per hectare per year and supply green feed from December to July (Sahel pastures, as a point of comparison, rarely produce over 2 t of dry matter and are only green for four months a year). There are also *bourgoutières* in the Niger River valley upstream from the delta and (especially), downstream from it, mainly in the oxbow, where they play a central role in the organisation of the Gurma area's livestock farming. These areas, however, are not very big.

The inland delta, in other words, is the only natural region in Mali – and in West Africa – that provides generous pastures over vast areas. It spans only 1.5% of the country's land but counts about 20% of Mali's cattle.

When the swell starts flooding the inland delta in August, herders leave on their long seasonal migration to the Sahel’s pastures. They return in November or December, depending on how fast the water recedes. They take their herds across the delta through a complex of trails and shelters, which they use by strict unwritten traditions.

Other than the water that cattle drink, herders do not, strictly speaking, consume water resources. Yet, not unlike fishers, they depend on the annual flooding (high-water levels dictate how much fodder they will find for their herds).

	<b>High water</b>		<b>Low water</b>	
	<b>Requirements and use</b>	<b>Effect on downstream availability</b>	<b>Requirements and use</b>	<b>Effect on downstream availability</b>
<b>Fooder and meat production</b>	Surface water to improve pasture quality	None	Minimum levels for cattle to drink	Very low, negligible

<b>Scenario</b>	<b>Fodder production (millions of tonnes of dry matter)</b>	<b>Loss compared to scenario 1 (%)</b>
Scenario 1: high-water level = 6.60 m	15	
Scenario 2: high-water level = 6.00 m	12.8	- 14%
Scenario 3: high-water level = 5.10 m	9	- 39%

Source: Marie, 2002

Poor swells, in other words, can be a threat to livestock farming (plant biomass renewal hinges to some extent on the flooding).

Poor flooding (5.1 m) will cut fodder production by almost 40%. The same swell (5.10 m), however, would flood 80% of the area that a 6.6 m swell would flood. So the loss in fodder production is considerably less significant than the drop in flooded areas. This is because plant formations that are not under water can still grow thanks to rain and rising groundwater. So flood variability does not affect fodder production in a straight, directly-proportional way: changes in total flooded area only account for some of the change in fodder production. In environmental terms, we can infer that the delta can support 1.5 million head during a very good year, but only sustain 900,000 during a bad year (after a poor flood). Fodder production, however, seems to be resilient: after one or two poor floods and commensurately poor production, a healthy swell will allow fodder to thrive again (Hiernaux and Diarra, 1986).

### Household consumption and waste

From a quality standpoint, household impact on river water can be summarised as follows (table 13).

The problem can come from quality requirements – especially as domestic circuits can deteriorate water quality commensurately, at least locally (in and around towns and villages) and at specific points in times (low-water stages, rainy seasons and high-water stages).

Wastewater can fall into one of two categories: black water (from WCs or latrines) or grey water (soapy water from baths, showers, dish washing, etc.).

Leroy (1999) estimated that town and village dwellers produced 65 g of dissolved organic matter and 70 g of suspended matter a day.

**Table 13 – Water requirements and impacts, household consumption**

	High water		Low water	
	Requirements and use	Effect on downstream availability	Requirements and use	Effect on downstream availability
<b>Household consumption</b>	Consumption-fit water quality Water for waste disposal	Negligible	Consumption-fit water quality Water for waste disposal	Little effect on quantity. Locally noticeable impact on quality

## **Industrial consumption and waste**

Urban and industrial waste can vary considerably, and encompasses effluents from slaughterhouses, dyeing plants, factories and hospitals, compounded with refuse from market streets and pavements. Their impact on the Niger River varies as well: slaughterhouse waste (which is organic) is locally contained and less worrying than factory waste.

The district of Bamako's factories produce 9,715 metric tonnes of waste a year. Of that total, 7,830 t (81%) are recovered, 276 t (3%) are recycled, 238 t (2%) are burnt and 1,372 t (14%) are discharged (ESPGRN Sotuba). The eight largest industrial plants are believed to release an average of 2,200 m<sup>3</sup> of wastewater a day (i.e. about 800,000 m<sup>3</sup> a year) and the 300 dyeing plants 16,000 m<sup>3</sup> a year. This wastewater seeps through the soil or pours directly into the Niger River.

A survey by the *Direction régionale de l'assainissement, du contrôle des pollutions et des nuisances* (DRACPN, a regional agency in charge of sewers, pollution and nuisance control) in the region of Koulikoro showed that several industrial plants are responsible for polluting the river, and that 80% of Mali's factories are between Bamako and Koulikoro. It also showed that the Niger River's main source of pollution is the Mali's cottonseed oil factory (Huicoma).

## **River transport and pollution**

Two types of vessels carry people and goods along the Niger River: two large ships operated by Comanav (malian sailing compagny) and a host of smaller privately-owned boats, generally weighing 10 to 50 t. Fishers also use 2 to 4 t smacks for their seasonal migrations with their families.

Generally speaking, the Niger River is not fit for year-round navigation. It is not deep enough during the low-water season. Large ships can only use it from early or mid August through mid December or early January, depending on how long the high-water stage lasts and how much water it brings (both of which generally vary in synch). The stretch between Koulikoro and Mopti is navigable at the beginning of the season. Koulikoro-Timbuktu and Koulikoro-Gao routes open some time after that. As the season draws to an end, ships can only use the downstream stretch (after Mopti). Smaller vessels can use the river until February and family smacks can use it until the end of the low-water season (at the risk of getting stranded).

**Table 14 – Water requirements and needs, river sailing**

	High water		Low water	
	Requirements and use	Effect on downstream availability	Requirements and use	Effect on downstream availability
Navigation	A satisfactory water level for as long as possible (especially for large ships)	None, outside a slight impact on water quality	A satisfactory water level for smacks (the only vessels that use the river at this point)	None, outside a slight impact on water quality

These boats produce a mixture of hardly-quantifiable forms of pollution. Generally speaking, however, it is fair to say that Comanav's two ships and the many smacks using this river do not release substantial amounts of pollution. Noteworthy pollutants, however, follow:

- motor oil (with little impact, as people often use spent oil for other purposes);
- wastewater from lubricant-tank washing;
- oil leaking from defective vessel engines or tanks.

Some of the waste from exchanges in vessel-staging areas (plastic bags, oil and grease) can be toxic. Pollution levels hinge on how big the staging area is, and on how long vessels stay there. During a journey, all the waste produced onboard is discharged into the river, along with rotting merchandise. Washing oil and pesticide tanks also pollutes the water. Table 14 summarises this.

## *THE NIGER RIVER'S ECOSYSTEM TODAY AND THE TRENDS SHAPING IT*

### **Surface water quantities**

Surface water levels hinge more drastically on the weather – and on extreme rainfall-figure swings – than anywhere else in the world, here (cf. "Climatic forcing factors in the Niger river basin" p. 180). The drought in the 1970s and 1980s is greatly responsible, on the one hand, for the sharp seasonal variations we are seeing today (alarming low-water levels) and, on the other, for the sharp year-on-year changes. There is still some

debate as to whether flow rates have embarked on a downward trend compared to rainfall (i.e. as to whether the same amount of rain as in previous years produces a weaker flow today).

Some of the surface water, especially in the north and northeast of the Niger River's inland delta, is in lakes that only fill when swells rise beyond certain thresholds. In these cases, the connection between rainfall and surface-water resources is less straightforward. These lakes are downhill from the river, and quite a way away from it. They fill up when the river water reaches a certain threshold and spills over into the channels that carry it downhill (Orange *et al.*, 2002). When the swell recedes, the water that spilled into the lakes stays there (it does not pour back into the river). As these lakes are bowl-shaped, they can hold water for as long as two or three years once they fill up. Evaporation takes its toll, these lakes keep the bulk of their surface water. In other words, provided swells reach necessary thresholds once every two or three years, these lakes will provide water resources. Or, otherwise put, the occasional poor flood will not affect them. Conversely, whether a swell is poor or very poor makes no difference, as the water level will not reach the threshold either way (as was the case throughout 1981-93). Historical figures of water levels in these lakes will help us determine the high-water threshold that river waters need to reach in order to fill them.

### **Ground-water levels**

Mali has generous amounts of underground water. The annual renewal rate stands at 55 billion m<sup>3</sup>, but only 105 million m<sup>3</sup> (a scant 0.2%) are actually used.

Water reserves fall into one of two large categories, depending on where the water comes from. There are extensive aquifers and more local fractured aquifers.

The extensive aquifers are associated with poorly-consolidated or non-consolidated detrital deposits, essentially of continental origin, which gathered in sedimentary basins during the Mesozoic and Cainozoic. They generally comprise several layers, feature inter-granular porosity, and span a little more than half this country's territory. The ancient waters they enclose are generally not renewed due to the scant rainfall and to the fact that they lie too deep for new water to reach them on a regular basis. More than half

the wells cut into these aquifers can provide over 10 m<sup>3</sup>/h, and some of them can produce more than 50 m<sup>3</sup>/h.

Fractured aquifers are associated with crystalline deposits (the base) or Precambrian and Palaeozoic sedimentary deposits. They have continuous or semi-continuous tables, depending on the density of the fracture networks in them. There are discontinuous aquifers, semi-continuous aquifers (which receive considerable amounts of rainfall due to their geographic position), and surface aquifers.

## **Water quality**

### **Surface water quality**

Research on the quality of the Niger's waters (Iwaco, 1996; Equanis, 1997; Gihrex, 2000; Ghenis, 2001) suggests that chemical contamination is as yet only slight, not unlike other African rivers (Picouet *et al.*, 2002). This river's waters are by and large – and generally across Mali – free from metal pollution, nitrate and ammonium pollution, phosphate pollution and biological pollution due to the large amount of water and its dilutive effect. This is logical, as there are few industrial complexes on the Niger River's tributary basin, farmers do not use large amounts of fertilisers and pesticides, and the area's population density is low.

However, as regards this last aspect, weekly monitoring of the quality of well and drilling waters and of surface water in the cotton-growing area (CMDT in south Mali) showed isolated but noteworthy pesticide-pollution spikes (DDT, especially), associated with fertiliser storage issues or unsuitable use (Bonnetoy, 1998).

Moreover, if the Niger River can by-and-large boast healthy physical and chemical properties – other than in specific points near industrial sewers between Bamako and Koulikoro (Palangié, 1998) – there are isolated bacterial-pollution phenomena in most dwelling areas. There, the high concentration of colon-type bacillus and faecal streptococcus make the surface water unsuitable for drinking by WHO standards. Dwellers, however, drink this water. So there is a considerable health hazard.

Moreover, the stretch between Bamako and Koulikoro warrants special attention given the high concentration of housing as well as industrial and

farming operations its banks harbour. Work monitoring eighteen risk points (Palangié, 1998) on that stretch showed that water in every effluent-inflow area was unfit by WHO standards on at least three scores. The top-priority issues are BOD<sup>3</sup>, COD<sup>4</sup>, suspended matter and heavy metals. However, in every case, BOD, COD and suspended-matter content is at the same level or below that of wastewater in first-world countries, with the exception of wastewater from the Dar-Salam power plant (which is, by far, the most polluted). Our measurements moreover show that a considerable amount of the polluting load is linked to suspended matter measuring more than 0.7 µm. So simply decanting Bamako's wastewater in suitable facilities (yet to be built) should allow authorities to eliminate a substantial amount of pollutants.

To conclude, all surveys point to the fact that the quality of the river's surface water is still generally good outside specific areas or stretches. But it is under threat: large-scale industrial projects, agricultural development in the Niger River valley, and the fact that riverside towns systematically discharge untreated effluents, suggest that pollution may well become a serious issue in the future.

### **Ground-water quality**

There are two problems with ground-water quality, and they are both in the district of Bamako: one is Bamako's surface water table, and the other involves the deep aquifers beneath it (Palangié, 1998).

Bamako's surface water table is completely polluted: it is very near the surface, hence near the many individual sources of pollution in that district. There are practically no pollution-curbing measures in place and the soil is highly permeable in certain areas (on the right bank, especially). There, many unprotected wells and poorly-designed private sanitation facilities (Zallé and Maiga, 2002) open up direct links between the surface and underground waters. Several studies (Alpha *et al.*, 1991; Iwaco, 1996; Palangié, 1998) have characterised the pollution and found a high concentration of nitrates, nitrites, phosphates and chlorides, possibly from a variety of sources (detergents, fertilisers or decomposing organic matter). The water may also contain pesticides, and certainly contains very high amounts of bacterial pollution (colon-type bacillus and faecal streptococcus, total germs) from diffusing wells that are either too deep or too small, from pervious pit toilets, or from

<sup>3</sup> Biological Oxygen Demand, an indicator of biological pollution.

<sup>4</sup> Chemical Oxygen Demand, an indicator of chemical pollution.

faecal matter carried by surface water through wells (which generally lack proper rims). The water in this surface table, in other words, is unsuitable for human consumption by WHO standards. The rampant pollution that has been recorded in recent years, compounded with the mushrooming population and Bamako's urban sprawl, will soon deprive most of the population of its main water resource (66% in 1998) if nothing is done.

Bamako's deep aquifer (fractured sandstone aquifer) is all the more worrying as it is regarded as a source of drinking water for the near future. This aquifer connects to the surface table through fractures and major accidents which open as far as 100 m deep. Thus far, analyses have shown that the quality of the water in this fractured aquifer is very good. But drilling into the deep water table is likely to change that. Opening up tunnels to the surface will not only open the door to the pollution lying there (if suitable measures to protect the system are not implemented). Most particularly, it will ease the pressure that has thus far stopped some of the surface water from seeping into the deeper table. If pollution levels in the surface table worsen, serious pollution in the fractured sandstone aquifer will become a real possibility.

Pollution, it seems, is not a major issue in Mali's other surface and deep aquifers, given the overall quality of its surface water. Only pinpointed areas such as water tables under large cities, can provide the odd exception.

### **Geomorphological stability: erosion/sedimentation/sanding**

#### ***Erosion***

The rainfall, landscape, basin lithology and resulting soil quality explain the bulk of the Niger River's erosion rates. Studies into the geographic variation of suspended-matter flows by DNH with Orstom then IRD from the 1970s until the 1990s show that erosion is higher on the stretch between Koulikoro and Ke Massina due to changes in lithological conditions (Picouet *et al.*, 2002). Exportation of matter from the Niger River's upstream basin, as an aside, is remarkably lower than other large basins around the world. It is also worth pointing out that, towards the desert, soil vulnerability to wind erosion increases substantially and that flow of matter (sand in that case) increases in the river after the inland delta. This gradient suggests that human or farming activities which are much more significant in the south (upstream from the basin) do not generate considerable erosion as yet.

### **Sedimentation**

Given the low concentration of solid matter in suspension in the flow, there is little overall sedimentation in the Niger River valley. However, research has shown a certain sedimentation phenomenon in the Niger's inland delta. The loss of total suspended matter between the stretches entering this area (Ke Massina and Douna) and the stretch emerging from it (Diré) shows that this delta retains between 0.15 million t of sediments (during "dry" years, when the flood covers a comparatively small area) and 1.3 million tonnes of sediments (during heavy flooding). In fact, the loss of sediment across the delta is practically directly proportional to the suspended matter that enters it. But a closer look shows a difference in sedimentation patterns in the upstream delta and downstream delta: sediments invariably build up in the upstream delta, but the downstream delta's inflow and outflow are relatively balanced.

The upstream delta is a vast, classic flooding plain. Its numerous meanders feeding countless ponds and generous vegetation provide perfect sediment traps. In this part of the delta, the amount of matter that settles hinges directly on the swell's flow coefficient. However, the actual amount of sediment settling here is very low compared to the amount on the surface of the delta. There is no risk of the delta filling up, as it were. The sediment, to the contrary, contributes generously to this area's fertility.

By the time the water reaches the downstream delta, it has been through the upstream plain and central lakes. Its sediment content is therefore scant and the amount of sediment that settles practically negligible. The remaining swell in the smaller beds and probable versant erosion at the beginning of the high-water stage, then the remobilisation when the flood starts receding paired with wind erosion after the high-water stage at the beginning of the dry season are no doubt the key processes shaping this downstream delta's sedimentation patterns.

Lastly, Gihrex research showed a specific threat on the Debo, a large lake in the centre of the inland delta. Decades of droughts have allowed the *bourgou* to thrive on the banks (farmers even planted it). This fodder plant traps terrigenous sediments brought by the river, and blends them into organic matter year after year. However, despite the fact that flow rates have been on an upswing for the last ten years or so, a silt plug at this lake's exit has formed. This plug could jeopardise the lake's ecology, navigation and, eventually, the Niger River's life (Orange *et al.*, 2002).

### ***River "sand silting"***

Sand silting is a common term that can encompass different phenomena (sand-stock growth, sand-bank shifts, and factors such as receding beaches and bank destabilisation which can contract the river bed in given areas).

Scientific findings concur that the Niger River bed's sand stock is not swelling in Mali. Sand banks, however, are shifting. This is an issue for river users and stems from the fact that no fairways are dredged (fairways are otherwise systematically dredged in rivers with sand beds).

Beach depletion and some bank instability stem from exploitation of riverbed sand near urban areas. Sandbanks appearing (so to speak) when water levels drop can give the impression that the river is sanding up, especially during particularly dry spells (June 1999, for instance).

Lastly, in the Niger River's oxbow, wind-borne sand wipes out crop areas and locally clogs channels and other watercourses feeding into ponds or basins. This chokes meanders in the river's secondary branches: the Koli-Koli, for instance, has become unfit for navigation.

The reverse, sand depletion, is also a noteworthy phenomenon – and caused exclusively by human activity. As the extracted sand is used for building, this phenomenon is predictably acute around large cities, especially Bamako and Koulikoro. This stretch has seen its sandbanks recede about 100 km in 10 years! This is altering the river's ecosystems: river plants have disappeared taking spawning beds with them. It is also altering flow patterns and increasing the risk of flash flooding. Sand extraction is the key environmental issue for this river.

### **Soil fertility**

In Mali, on the whole, declining soil fertility is one of the single most important factors inhibiting crop production. Generally speaking, demographic pressure (entailing shorter fallow spells), as well as water and wind erosion, are the causes. However, erosion phenomena, when they occur, often only shift soil fertility without much consequence otherwise.

In the Niger River's inland delta in particular, an *in situ* combination of the ecosystem's natural processes and of related traditional production systems (livestock farming in particular) support soil fertility. However, the sed-

iments that the river brings from its upstream basin (in moderate, yet not negligible, quantities) supplement this fertility (all the more so as its generous swells bring considerable flooding).

In large irrigated areas (such as *Office du Niger* areas), soil fertility is not only affected by an increase in alkalinity, but also by a drop in organic and mineral fertility (potassium), which is starting to have a perceptible impact, especially in the area of Massina. Soil salinisation is also an issue in these areas, but an in-depth understanding of this phenomenon and its associated risk factors enables authorities to contain it more efficiently. Some risk factors, however, are intensifying. These follow:

- extending crop areas and shrinking water availability curb leaching;
- ongoing irrigation-canal use to feed off-season crops helps refill and raise water tables, which in turn promotes salt concentration on the surface;
- a proliferation of cursory schemes (poor sloping and drainage).

## **Plant communities and resources**

### **Overview**

Observers agree that Mali's forests are in danger. How fast these forests are shrinking, however, is unclear. Woody vegetation, it seems, has been shrivelling a fairly limited 0.05% a year over the past fifteen years (87 km<sup>2</sup> a year, 1,000 km<sup>2</sup> in total), essentially making space for farms and due to the fact that several forests in the region of Mopti have disappeared. Deforestation, in other words, seems contained – contrary to what villagers feel. This may be because the natural forest reformation is doing its work.

By and large, the drought has not led species to extinction or seriously affected biodiversity in Mali's flora. Some species, however, are showing signs of depletion.

### ***Plant communities in the Niger River's inland delta***

ILCA scientists found 189 species (137 herbaceous species and 52 woody ones) in the delta. This is relatively poor compared to the 350 species in neighbouring Gurma – but akin to most flooding plains. This poor flora, however, contrasts with vigorous seasonal biomass production, which is 15 to 20 times higher than in the neighbouring Sahel areas.

### The delta's forests

According to the Wood Resource Inventory Project (or Pirl, for *Projet inventaire des ressources ligneuses*), forest stands cover 4.5 million ha across Mopti, and plantations and fallow land span 1.8 million ha. Sparse shrub savannas and a variety of palm stands make up the bulk of those areas. Different thicket varieties are part of the landscape as well.

The inland delta and north-western Farimaké plains count three different stand families. Their sizes differ considerably. The early-1980 figures follow:

- flooded *Acacia kirkii* forests withstanding 4-metre-deep water. These forests span 5,000 ha and play a critical role in water-bird reproduction;
- *Acacia nilotica* and *Acacia seyal* forests, mainly watered by percolation, but sometimes secondarily watered by swells (water levels do not exceed 0.6 m). These forests span 115,000 ha;
- dry woodlands growing on mounds or skirting the delta, spanning 425,000 ha.

South of this area, we can also find park-type stands made up mainly of *Faidherbia albida*, a tree that also grows on the sandy savannah benches along with *Andropogon gayanus* and surrounding rice paddies.

There have been no surveys into changes in the inland delta's vegetation in general or into its forests in particular. Observers agree that the forests have been facing serious threats for the last three decades, due to the compounded effects of the drought, scant flooding since the late 1970s, and anthropogenic pressure on resources. Arguably, land-development laws and authority malfunction before 1991 – which replaced the handed-down land-administration rules that local breeder, fisher and farmer communities had applied thereunto – explain a lot of this destruction (Marie, 1989; Moorehead, 1997).

The Pirl survey suggests that forests in the Mopti region could produce 1.8 million tonnes of energy wood a year (i.e. that forests could export that much wood a year without damaging their “capital”). The Mopti region's total energy-wood stock, estimates suggest, totals 40 million m<sup>3</sup> (including 3.5 million of deadwood).

Based on Pirl research (1988), the Domestic Energy Strategy (or SED for *Stratégie énergie domestique*) recalculated the annual production of areas covered by the delta's various forest stands (table 15).

**Table 15 – Wood potential across five circles in the Niger River’s inland delta**

Circle	Forest surface (ha)	Energy-wood volume (m <sup>3</sup> )*	Deadwood volume (m <sup>3</sup> )*
Youwarou	204,400	1,628,695	423,571
Tenenkou	262,550	2,773,040	Nd
Mopti	178,800	1,465,825	60,000
Macina	240,750	2,429,896	201,457
Djenne	118,200	939,590	40,000
<b>Total</b>	<b>1,004,700</b>	<b>9,297,046</b>	<b>725,028</b>

\*1m<sup>3</sup> = 2.3 stère et 1 stère = 330 kg

Source: SED project, 1999

There seems to be abundant standing deadwood, especially in the north of the delta. This stock could supply 70% of the firewood needed in the Niger River valley.

### The delta’s grasslands

Most of the inland delta’s plant formations are grasslands, encompassing grassland savannahs and aquatic prairies proving exceptionally rich pastures. Varieties include the following:

- *bourgoutières* (floating grass). This grass grows on plains withstanding 4 to 5 m of water a year, but only survive the deep-water submersion if the water levels rise slowly. These are the delta’s most productive courses (20 t/ha) and span about 160 000 ha;

- *vétiveraies* cover about 30% of the delta (640,000 ha). Their average production varies from 10 to 12 t/ha, depending on environmental conditions;

- *wild rice paddies* cover 15.4% of the delta (about 340,000 ha) and produce between 6 and 8 t/ha;

- *eragrostaiies* cover 190,000 ha. Their grazing value varies between 5 and 8 t/ha;

- very low-flooding varieties (*andropogoneae*, *panicaie*, etc.) covering about 200,000 ha and producing around 5 t/ha.

There is not much information about how the inland delta's grasslands have developed in relation to poor flooding in the 1980s and 1990's, due to the lack of time-sensitive studies. But research has shown that flooded grasslands in this area reach their ecological balance when flood rates in Mopti average out at 6.60 m.

Based on this benchmark, we have to distinguish passing developments caused by a temporary decline in flood rates (meaning reversible trends and the assumption that plant formations will regain their balance when healthy floods return) and irreversible environmental developments (which would usher in a new balance between high-water rates and plant formations that swells of under 6.60 m can support).

Concerning the first hypothesis (that the dwindling flood rates are temporary), a 1986 Hiernaux and Diarra study conducted after the very poor 1984 high-water stage (the century's lowest) showed the following:

- deep formations (*bourgoutières*, deep *vétiveraies*, etc.) are relatively unaffected by poor swelling. Neither indeed are higher ones (*panicaies*, *andropogonaies*...), which depend more on rainfall than on swelling rates;
- intermediary formations (*orizaies*, *eragrostaiies*, high *vétiveraies*, etc.), conversely, can see their production and structure severely affected. The dominant species is decimated and replaced by very irregular populations, dominated by Sahel annual varieties.

So it seems that this delta's deep formations as well as its least-flooded ones are somewhat resilient to hydrological vagaries. Their production does not stop when high waters fail to reach them, meaning that they can absorb some of the water-level's swings. This, however, only applies as long as the crisis is temporary and does not entail irreversible changes in the ecosystem.

The consequences of the second hypothesis (a lasting change in hydrology entailing a permanent drop in water levels) are unknown. A simulation was run on the basis of a 1-metre-lower swell (high-water levels at 5.60 m instead of 6.60 m, the previous balance). This, as an aside, could occur as a result of climate change or of large facilities upstream.

This simulation showed the following:

- the dry grasslands growing on the delta's outskirts and unwatered mounds could cover three times as much surface (more than 900,000 ha);

■ deep-water grass (in 150 cm to 400 cm deep water) would shrink considerably. Formations growing under 150 cm and 280 cm of water would shrivel to one-tenth of the surface they cover today.

The deeper formations (the ones growing under 280 cm to 400 cm of water) could disappear altogether and be replaced by varieties growing in shallower water. This would hurt fodder production (these formations respectively supply 20,000 kg and 15,000 kg of dry matter per hectare, i.e. considerably more than the delta-wide 6,000 kg average). But it would also cripple biodiversity, obliterating the *Acacia kirkii* forests where many palearctic migratory bird species breed.

The drop in fodder production would be considerable: swells at 6.60 m support 15 million t, swells at 5.60 m would cut production back to 6 or 7 million tonnes a year. This area's grazing capacity would drop 55 to 60%: the delta can support 1.5 million head a year today, but could only support 600,000 to 700,000 if this scenario materialises. Quality would drop as well as quantity: the *bourgoutières*, the delta's best pastures, would shrivel. Livestock farming as we know it today, under these conditions, would not plausibly withstand this change.

### **The case of the water hyacinth**

Water hyacinths appeared in Mali in 1990 around Bamako and could grow all the way up the Niger River from the inland delta. In reality, however, they only thrive in certain clear-cut areas, in irrigation canals and in certain river branches near cities (i.e. where the water is "polluted" or at least contains very high amounts of nutrients). Water hyacinths are something of a hazard and can indeed cause serious concern in specific spots (dam intakes, mainly). There are biological and mechanical methods to control these plants. The *Office du Niger* is currently using the latter.

### **Fish resources and population**

From a biogeographical point of view, the Niger River's fish fauna belongs to the Nile-Sudan province (Lévêque and Paugy, 1999). This vast province encompasses three large basins (Nile, Chad and Niger) as well as a number of smaller ones (Senegal, Volta and other). It has kept a remarkably homogeneous fauna, due to exchanges with other basins. The sheer size of this biogeographical province explains the wealth of fish varieties it harbours

– and, in particular, the abundance of varieties in the Niger River. Daget (1954) argues that there are between 130 and 140 species in the Upper Niger and its inland delta.

However, half of those species are relatively unknown (or at least small enough to slip through fishing equipment most of the time). These species are only caught incidentally or accidentally, not deliberately. So, as they can not really count as the fish resources, describing their current condition or any associated trends would be pointless. Only researchers specialising in taxonomy, studying fish stocks by poisoning small areas of the river or its branches, can supply information about the presence of these species – and can obviously only do so from a very local perspective.

The information below, therefore, only includes the species that fishers catch (or caught). There are about 60 of them. In other words, if the question is whether biodiversity is dwindling, we cannot provide a conclusive, unbiased answer. If the question is whether some of the species caught 30 or even 60 years ago have grown rarer or disappeared, however, we can.

Available information shows that the specific structure of the Niger River's fish resources has indeed changed slightly since the 1950s and even since the late 1960s, in the delta and across Mali (Quensièrè *et al.*, 1994; Wetlands, 1999). Very few species have disappeared (and the ones that have, no doubt, have only disappeared in specific areas). But a number of species have grown considerably rarer, and a number of other ones have gained in predominance. More specifically, we can see that one or two of the species that have disappeared or practically disappeared in the delta region (*Epsetus odoe* and possibly *Arius gigas*) did so a relatively long time ago, between the early 20<sup>th</sup> century and the 1960s. However, four species or groups of species (*Gymnarchus niloticus*, *Parachanna obscura*, *Heterotis niloticus* and three *Polypterus* varieties) have seen their ranks dwindle sharply since the 1960s, apparently in step with disappearing environments (the tall wild grass and marsh belts skirting permanent lakes). Fishers, conversely, have been seeing more *Clarias* and *Chrysichthys* in their catches. In volume terms, cichlids (tilapia, broadly speaking) predominate in fishers' nets (alongside *Clarias* and *Labeo*). *Lates niloticus* are also found, if less abundantly.

The demographic structure of these populations has changed as well. They are all younger: three in every four of the fish in an average catch are "0 +"

(less than one year old) and relatively small (Laë, 1995). Bigger fish (over 3 years old and more than 50 cm long) have become very rare in most parts of the river, especially in the inland delta. However, there are still large fish in areas where fishing pressure is less intense (in the upper basin's water courses, for instance).

The loss of certain types of natural environments explains the changes in population makeup. But demographic changes arguably impact fishing pressure as well.

However, these different structural changes are not, at least for the time being, affecting this resource's yield (i.e. its ability to produce as much biomass as it loses in a year). Fish production (in tonnes a year) dropped considerably during the long drought (1973-1993) but rose again once the average or good swells returned. Production invariably moves in step with the size of a swell and ensuing flooding (see fig. 8 and 9, "Fishing" p. 200-204). Statistics allow scientists to forecast a fishing campaign's yield based on the size of the flooded area or on the river's flow at a given point upstream. Laë (1992b) found a link between catch sizes and an index based on the two previous floods ( $y_1$ , here, is the current year,  $y_0$  the previous year and  $y_2$  the coming year):

$$\text{Annual catch from July}_{y_1} \text{ to June}_{y_2} = 780.95 (\text{flooding index})_{y_1} + 770.71 (\text{flooding index})_{y_0} + 32,304$$

The periodically-announced "resource drops" are indeed only transitory phenomena due to a particularly bad swell (and generally belied the following year). They may also be associated with the assessment methods: scientists, for example, may focus most of their attention on catch per unit of efforts (a ratio-type indicator which naturally drops when the effort increases).

The developments we have discussed, however, do have negative consequences:

- from an ethical standpoint, the fact that original bio-ecological varieties are dwindling or disappearing is regrettable;
- there are also economic losses linked to excess fishing capacity (the amount of fish caught in a given year is inexorably pegged to the swell and ensuing flood whereas fishing capacity is inflexible) and to the drop in average fish size (i.e. their specific value per kg).

Lastly, it is important to remember that healthy fish yields hinge on healthy river and plain ecosystems and, in particular, on generous annual flooding in the plains.

### **Wildlife populations and resources**

This component is especially interesting in the Niger River's inland delta, a large area which encompasses an original and rich array of natural water and marshland environments. Wildlife elsewhere in Niger River's valley in Mali is less exciting: it is akin to that in the neighbouring Sudan-Sahel (barring the fish, of course). This wildlife, however, is relatively poor. Pervasive farming, clearing and hunting and the last long drought have taken a toll.

The Niger River's inland delta harbours a wide variety of wetland habitats (marshes, lakes, ponds, flooding plains and flooding forests). Fish, reptile, mammal and water-bird colonies find food and suitable breeding conditions in these habitats. Some colonies live here throughout the year, others only stay for a season. There are other wetlands in the Sudan-Sahel area, including the Senegal delta (Djoudj), the Hadjia-Nguru floodplain in Nigeria, the Logon River's, Chari River's and Lake Chad's floodplains, and the Sudd swamp in Sudan. But the Niger River's inland delta is West Africa's largest. Only the Okavango marsh in Botswana (in Southern Africa) and Sudd, compare.

However, this delta's biodiversity is far from intact. The last thirty years have seen dwindling flow rates compounded with human activities put growing pressure on the natural environment and hitting large wildlife species.

In particular, the large carnivores that roamed parts of the upper delta and shores have disappeared. Panthers and lions are two examples (even though there may still be a few lions in neighbouring Gurma). Large reptiles (Nile crocodiles, pythons and monitors) have become very rare as well, as have large herbivorous mammals (manatees and, to a lesser extent, hippopotami).

The Niger River's inland delta, however, is still one of West Africa's vital water-bird havens. Water birds nest there, rest there during their migration, or settle there for the rainy season. These birds are of afrotropical or paleoartic varieties. The comparative size of water-bird colonies varies from one season to the next and from one year to the next, depending on the size of the swell.

Different programmes have shown different pictures of developments in the delta. But some trends are nonetheless clear. And possibly worrying. No fewer than 125 water-bird species would alight in the delta in the early 1980s. The Wetlands project, however, only counted 103 in the late 1990s. The large varieties (giant herons, jabiru, white storks and black-crowned cranes), in particular, seem to be dwindling in numbers or presence. This

**Table 16 – Reproducing population (the number of nesting pairs), nesting water birds in the delta’s flooding**

Species	1986/1987	1994/1996	1999/2001*	Tendency
Black egret	200 - 250	150	130	Declining
Little white egret	900 - 1,000	500 - 1,000	500 - 1,000	Stable
Black little egret	80 - 110	+	80	Declining/Stable
Intermediary egret	800 - 875	> 200	1,700	Increasing
African darter	40 - 45	15 - 30	250 - 300	Increasing
African openbill	30 - 40	0 - 1	-	Declining
Black crowned night heron	1 - 10	100 - 300	1 - 10	Irregular
Long-tailed cormorant	17,000 - 17,500	16,000 - 17,000	18,000 - 20,000	Increasing
Squacco heron	550 - 650	+	500	Stable?
Great egrets	2,800 - 3,100	500 - 1,000	1,500 - 1,800	Declining
Gray heron	10 - 15	30 - 50	-	Irregular
Cattle egret	63,000 - 65,000	65,000 - 90,000	50,000 - 60,000	Declining
Black-headed heron	10	1 - 5	2	Declining/Stable
Purple heron	-	2 - 10	-	Irregular
Glossy ibis	-	150	-	Irregular
Sacred ibis	30 - 40	50	200 - 250	Increasing
African spoonbill	300 - 350	50	100 - 150	Increasing

\*Annual average based on observation over a two-year period

Source: Wimenga et al., 2002

trend is not as clear-cut in the case of smaller species. The *Plegadis falcinellus* population, for example, may well have halved over the last 20 years, whereas other species have seen their ranks remain stable.

The presence of large water-bird colonies seems linked to the integrity of flooded *Acacia kirkii* forests. Forest-clearing and poor swelling in the 1980’s and 1990s, however, were a threat to those forests. Healthier flooding after 1994, paired with efficient protection measures (Dentaka and Akkagoun forests) may have reversed this trend.

Birds play a sizeable ecological and economic role. They protect plantations by eating locusts, grasshoppers and other insects, and thereby balance the delta's ecosystem and bolster its production. There are no doubts about the connection between rice production, locust attacks and bird-population size.

There are more birds during good years (the ecological niche is bigger and food more abundant). When this happens, these birds provide an added source of proteins for the population: thousands of them (teals, especially) are caught and then sold in different markets every year. Lastly, water birds are part of the delta's appeal – and what make this and the Dogon area Mali's leading tourist destination.

Like Africa's other large wetlands, the Niger River's inland delta has been included in an international Ramsar convention. This 1975 agreement defines and organises the natural area preservation terms.

### **Conclusions on the Niger River's delta and its ecosystems**

The Niger River and its valley have not harboured virgin ecosystems – or indeed any ecosystem sheltered from humankind's hand and its effects – for a long time. A number of weather-related and anthropogenic factors over the last century have taken a toll on biodiversity in these riverside ecosystems. Neither the Niger River in general nor the delta in particular can any longer be considered as large wild, unspoilt areas. Scattered pollution phenomena have furthermore appeared, and may become threats in the future.

However, despite these developments, the basic ecological mechanisms underlying this river's productivity and its ecosystems (in terms of their ability to generate adequate biomass quality unaided) are intact. They are also as remarkable (from a quantitative standpoint) as ever, compared with other natural environments elsewhere in Africa and around the world. These mechanisms start working effortlessly as soon as enough water feeds them.

### ***THE INSTITUTIONAL FRAMEWORK AND EXISTING MANAGEMENT INSTRUMENTS***

Community rules and customs have shaped the way in which societies living in the Niger River valley have administrated this area and its resources for a long time. A grasslands (*leydi*) code established in the 19<sup>th</sup> century by

the Peul Empire of Massina formalised the rules by which Peul clans administered land. Unwritten rules enforced by “water masters” have dictated the way in which fish resources have been used for a long time as well. These traditional rules have been studied and explained by several authors after J. Daget and A. H. Ba (1955), and Gallais (1967). Political, economic and environmental developments in the second half of the 20<sup>th</sup> century have considerably altered and destabilised these systems. But they are still solidly rooted in people’s minds and behaviour.

This chapter reviews the “modern” institutions and codes. The first such codes date back to the early days of independence (and replaced traditional systems). The second ones stem from the more recent decentralisation drive and its attempt to reconcile modern management rules and traditional local authorities.

The institutional reform that has been unfurling in Mali since 1991 has now grown to encompass a new approach to water-resource management. This new approach can only be understood in the international realm, as the Niger River basin spans several countries.

## **The international framework**

### ***IWRM or a “shared vision”***

A series of international initiatives on water management and governance – born in the 1998 Paris Conference and reasserted in the 2002 Johannesburg Earth Summit – have been steering water policy at both national and regional levels.

This new water policy, IWRM (Integrated water resources management), defines itself as a process to promote coordinated water, land and associated-resource development and management. This policy aims to maximise economic and social wellbeing and to share its benefits fairly without compromising the future of the vital ecosystems.

IWRM also defines itself as a “shared vision” and maintains that integrated tributary-basin management is a *sine qua non* for proper water governance. International organisations, funding agencies and member states have agreed to focus on large trans-boundary river basins. The Mekong River basin is one such example in Asia. Examples in Africa include the Lake Chad and Lake Victoria basins, and the Orange, Volta and Niger

river basins. Mali's authorities have enshrined IWRM as official policy. Implementing it, however, will entail deep-reaching legal and institutional reform. Doing so should involve moving water management from technical and sector-specific segmentation into an integrated programme covering each distinct basin and sub-basin.

Efforts to implement IWRM in Mali can also lean on recent (and radical) developments in legislation pertaining to water management, in the agencies in charge of administering water, in the relationships between these agencies, and in their relationships with society as a whole.

***An international institution: the Niger Basin Authority (NBA)***

This is the main international organisation. It counts nine countries skirting the Niger River (Cameroon, Côte d'Ivoire, Benin, Guinea, Burkina Faso, Mali, Niger, Nigeria and Chad) and was founded by an agreement signed on 21 November 1980 in Faranah, Guinea. It is headquartered in Niamey and aims to promote member States' cooperation and to integrate power-generating, hydraulic, farming, livestock-farming, fishing, fish-farming, forestry, logging, transport, communication and industrial operations across this basin.

The NBA's specific goals follow:

- harmonise and coordinate national policies for the development of the water resources in the basin;
- promote and participate in development plans, by preparing and implementing an integrated basin development plan;
- promote and participate in efforts to create and operate shared facilities and projects;
- control and regulate all forms of navigation on the river, its tributaries and its sub-tributaries;
- take part in applying for funding and in directing funding to studies and other work required to develop this basin's resources.

The NBA stays abreast of country-specific development plans. Member countries are required to inform the NBA's Executive Secretariat of all plans touching on the basins (and in particular of schemes that might alter water availability). Member countries have also agreed not to build, on their territory, schemes that might pollute water or damage fauna and flora biology anywhere along the river, its tributaries or its sub-tributaries.

## **The legal and institutional framework in Mali**

### ***Codes in Mali***

#### **The *Code domanial et foncier* (Domains and Land code)**

Water, in this code, falls into one of two domains:

- natural public domains, mainly encompassing navigable or floatable watercourses and their banks (25-metre thoroughfares), non-navigable and non-floatable sources and watercourses, lakes, ponds, etc.;
- manmade infrastructure, encompassing inland ports, navigation canals, irrigation and drainage canals, aqueducts and associated buildings directed to the public benefit.

#### **The *Code de l'eau* (Water Code) codified by Law n° 2-006 passed 31 January 2002**

This law lays down the rules for using, preserving, protecting and administering water resources. It applies to all the water under the hydraulic domain, i.e. to the State's public hydraulic domain and the territorial-community public hydraulic domain under the *Code Domanial et Foncier*. The State is in charge of overall water management. It is responsible for administering this resource in a sustainable and equitable manner, and for protecting it. The State may, however, transfer some hydraulic resources to decentralised communities. The ministry in charge of water has drawn up a master plan to govern water management and schemes for a 20-year period. This master plan sets qualitative and quantitative usage, development and protection targets for water resources and aquatic ecosystems. This code, in turn, lays the foundations for new water-management regulation and endorses the agencies in charge of administering water resources. It recommends setting up a development trust within the public-sector's water-management organisation and established a national council, regional councils, local councils and basin committees to share view and proposals regarding water-resource management and development projects. These councils and committees share their views on resource management, schemes, conflicts if and as they arise, and other issues, at their specific level.

#### **The *Charte pastorale* (Grasslands Charter) codified in Law n°004 passed 27 February 2001**

The *Charte pastorale* lays down the basic principles governing grasslands and herding. It lays down basic herder rights (herd mobility and access to resources) and responsibilities (protecting the environment and other people's property, in essence). Grasslands (pastures and bushes), community

*bourgoutières*, salty land, watering spots and shelters come under State or territorial-community domains. Users are free to access these areas and facilities, but rules pertaining to how and when herds may do so apply (and are based on local customs and rights). Territorial communities administrate grassland resources in their area. They are in charge of herd trails and may regulate access to resources and charge herders for using them.

### **The 1995 Code des collectivités territoriales (Territorial Community Code) and related laws**

This *Code des collectivités territoriales* acknowledged that communities have the legal status, financial autonomy and authority to settle environmental-protection, domain-related and land-related issues (after deliberation). Territorial communities can, in particular, build and run rural or city water-management facilities, organise rural endeavours and agro-sylvo-pastoral production. If public and private domains overlap in a given community, the State may, in the public interest, transfer management rights over part of said natural or manmade domain to that decentralised community, entrusting it with its preservation.

### **Law n°96-050 on the principles for instituting and managing territorial-community domains**

A territorial community's natural public domain comprises the appurtenances of the State's public domain which are on the community's land (and provided the State has transferred conservation and management responsibility as appropriate). These domains can include water courses, marshes, lakes, ponds, protected areas, and natural sites that have been included in the public domain by law.

The manmade public domain encompasses buildings and other constructions erected in the interest of regions, circles or communes.

Territorial communities are responsible for managing and furnishing their domain, and for protecting its ecological balance. They prepare land-management plans mapping out farming, grassland, fish-farming, wildlife, mining, housing and other areas. They review and – if and as required in the light of national plans – amend their schemes periodically.

Community farming domains encompass dry-crop or rain-fed areas, irrigated areas and the associated hydraulic schemes, receding-flood areas, market-gardening areas, land that has been fallow for less than ten years, etc. Territorial communities set the levy for irrigated areas after consulting the *Chambre régionale d'agriculture* (regional chamber of agriculture).

The grassland domain encompasses pastures, land that has been fallow for over ten years, herd trails and water points. Appropriate community organisations work with professional organisations and technical agencies to regulate these endeavours, and set the levies for accessing pastures after consulting the *Chambre régionale d'agriculture*.

The fish-farming domain encompasses hydraulic and fish-farming facilities that communities build on their territories, and the public water areas entrusted to those communities by the State. Here, again, authorities consult professional organisations and charge levies for fishing permits.

***The political institutions, administrative authorities and associations***

Mali's *Ministère des Mines et de l'Eau* (Ministry of Mines and Water) is the main authority governing the Niger River in Mali. It has statutory and inherent rights over the entire water sector. It works through the DNH (*Direction nationale de l'hydraulique*/national hydraulics authority). The DNH is in charge of taking stock of and assessing hydraulic resources across Mali. It reviews every project that involves the water sector and supervises it directly. Ghenis (for *Gestion hydro-écologique du Niger supérieur*/upper Niger hydro-ecological management) is one example.

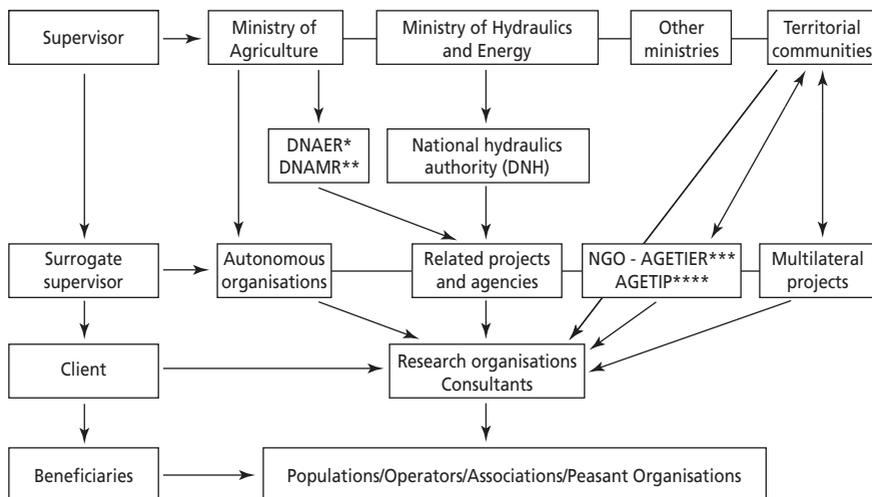
DRHEs (*Directions régionales et sous-régionales de l'hydraulique et de l'eau*/regional and sub-regional hydraulics and water authorities) are DNH-run decentralised agencies. They support and lend advice to territorial communities, serving concurrently in supervisory and regulatory capacities.

The *Ministère des Mines et de l'Eau* also has advisory committees. These committees are responsible for consultation-based basin and sub-basin management. In that capacity, they can voice proposals on the management of the hydrographical resources and aquifer systems. They can also suggest that authorities review water-management and facilities in hydrographical basins, sub-basins or aquifer systems.

The *Comité du bassin du Niger supérieur* (Upper Niger Basin committee), for example, covers the regions of Sikasso, Koulikoro, Segou and Mopti. Users, government representatives and territorial-community representatives sit on this committee, which is responsible for giving its opinion on how the basin's water resources are used. Officially, this committee has ample consulting powers. But, in practice, wields little authority as yet.

Conversely, the *Commission de gestion des eaux de Sélingué* (Selingue water management commission), the agency in charge of the Selingue dam, is functional. This commission is chaired by a DNH representative. Projects can not move ahead without consulting it, and its members convene once a month. Its responsibilities encompass the following:

- review the various water-management programmes drawn up by national organisations using the dam's water, to ensure they are suitable;
- decide on dam water-management programmes (filling and discharging);
- brief decision-makers on how water-management decisions will impact the associated technical aspects (power generation, migration, fishing, health, industry, tourism and the environment);
- keep the dam in good working condition.



\* DNAER : *Direction nationale de l'aménagement et de l'équipement rural*

\*\* DNAMR : *Direction nationale de l'appui au monde rural*

\*\*\*AGETIER: *Agence d'exécution des travaux d'infrastructures et d'équipements ruraux*, the agency in charge of rural infrastructure and equipment

\*\*\*\*AGETIP: *Agence pour l'exécution de travaux d'intérêt public contre le sous-emploi*, the agency in charge of public-interest projects and of eradicating underemployment

**Figure 10**

The organisations involved in water management

The *Ministère de l'Environnement* (Ministry of the Environment) works mainly through the ABFN (*Agence du bassin du fleuve Niger*/Niger River basin agency) founded by a 2002 ruling. This agency is in charge of protecting the Niger River, its tributaries and their tributary basins. Doing so, in particular, involves the following:

- bolstering river, tributary and tributary-basin management resources;
- improving and streamlining water-resource management for the various users;
- helping to prevent natural hazards, counteracting pollution and nuisances, and keeping the river navigable;
- liaising and cooperating with counterpart technical organisations in other countries skirting the Niger river and basins;
- devising and implementing a levy system for organisations diverting or polluting water, and administrating that system's proceeds.

Other ministries are involved in water management as well:

- the *Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche* (Ministry of Agriculture, Livestock and Fishing) is in charge of hydro-agricultural schemes and fishing, and takes an interest in water quality;

- the *Ministère de l'Administration territoriale et des Collectivités locales* (the Ministry of Local and Territorial Government) is in charge, inter-alia, of emergency measures, and of liaising with ministries in charge of foreign relations and civil defence in the event of natural catastrophes and floods. Three types of territorial organisations can have authority over water-management policy. These follow:

- communal councils are in charge of water- and sanitation-related policies on a local level. They have councils dealing with different areas (fishing, livestock farming, etc.);
- circle councils work with technical authorities to review community projects for approval;
- regional assemblies make sure projects tally with national-level programmes.

Territorial communities take part in the meetings of basin committees and councils founded by the new *Code de l'Eau* (Water Code).

Lastly, associations have grown into prominent roles since the 1991-1992 regime change. Society as a whole, in other words, is playing an active

part through decentralised elected organisations (territorial communities and their councils) and through organisations representing the various trades using the Niger River (fishing, farming and livestock farming, mainly). These associations are very involved, and consulted on a regular basis. Examples include Apram (*Association des pêcheurs résidents au Mali*/Mali resident fisher association), APPM (*Association des pêcheurs et pisciculteurs du Mali*/Mali fisher and fish-farmer association) and the *Association pour le développement intégré à base communautaire* (an association for integrated community-based development).

### Examples of the operations-based approach

Mali's Constitution has enshrined consultation as a *sine qua non* for management decisions or policy. Consultation unfurls in three spheres:

- the *Assemblée nationale* (National assembly), through its *Commission du développement rural et de l'environnement* (rural development and environment commission), which instigates environmental legislation alongside the *Haut Conseil des collectivités* (community high council);
- the *Haut conseil des collectivités* is responsible for reviewing and sharing its views on all local and regional development policies (the government is required to ask for this council's views on these issues);
- the *Conseil économique, social et culturel* (economic, social and cultural council) has authority over all aspects of economic, social and cultural development. This encompasses issues such as protecting the environment and promoting quality of life.

As far as water management is concerned – and more practically speaking – consultation will be possible through the basin commissions, committees and water-management bodies that have been established or are already operational at different levels in the Government (cf. “The legal and institutional framework in Mali” p. 227).

The *Commission nationale de gestion des eaux* (national water-management Commission) is a good example. Since its inception, this agency has been working to strengthen ties between the thereunto remote organisations running Selingue and Markala. These efforts, in particular, have allowed Markala (and hence the *Office du Niger*) to tap regulation at Selingue more efficiently. This organisation has also set the low-water floor downstream from Markala at 40 m<sup>3</sup>/s, in the interest of users in that section of the river.

Planning is in the hands of the various relevant ministries and of the national agencies reporting to them. Planning, here, involves defining sector-specific policies in the form of master plans. All sector-specific policies are now coherent from a theoretical standpoint and in line with CSLP (*Cadre stratégique de lutte contre la pauvreté/poverty reduction strategy*), the country's political beacon directing all sector-specific policy. The SDDR (*Schéma directeur du secteur développement rural/master plan for rural development*), has been and will be shaping rural endeavours from 2000 to 2010. Its strategy stems from an analysis of developments in the area and from across-the-board consensus (encompassing the State, territorial communities, users, associations and partner development organisations. That strategy maps out areas of responsibility and lays the foundations for development programmes in the area. Developing irrigation is a top priority. Efforts in this direction have spawned the SNDI (*Stratégie nationale de développement de l'irrigation/national irrigation-development strategy*). This scheme focuses principally on developing total-water-control operations and pursues six main goals, namely:

- streamlining irrigation-infrastructure design and cutting costs;
- involving NGOs, helping them to access financing;
- improving irrigated-area management;
- increasing irrigated-area production and yield;
- reforming the sub-sector's institutional and legal environment;
- minimising the negative environmental and social impact of irrigation.

Generally speaking, the SNDI's choices aim to increase irrigated areas and to enhance production-system yields.

### **Monitoring and circulating information**

State agencies in charge of each environmental sectors or subsector gather, monitor, circulate and compile information – mainly by collecting data and publishing statistic reports on a regular basis – separately. Combined, they could provide a fairly good picture of the various aspects of Mali's environment and rural sector – and in particular of those around the Niger River. The DNH gathers the bulk of the hydraulic information and stores it in Hydrom, a database that is currently being upgraded (Hydraccess). Table 17 (p. 234 to p. 239) shows the systems used to gather and monitor information about the Niger River.

Table 17 – Systems and organisations gathering, monitoring and circulating information

Field	System	Institutional branch	Information it collects
Surface water	Radio, Telephone, HF transceiver, PCD (data-collection platform), hydrometric network terminal	MMEE DNI	Watercourse height and flow
Groundwater	Piezometer network	MMEE DNI	Standing water levels
Hydraulic schemes	Watercourse improvement projects	MMEE DNI	* Flow * Rainfall * Geotechnical surveys * Topographic surveys * Topographic data
Rural hydraulics	Drills and wells	MMEE DNI	* Number of projects * New drilling * New wells * Pump equipment * Refurbishing projects
Water quality	Water quality	MMEE DNI LQE ( <i>Laboratoire de la qualité de l'eau</i> Water-quality Laboratory)	Physical, chemical and bacteriological parameters
Meteorology	GTPA (Meteorological Assistance Pluridisciplinary Working Group) (Radio, TV, Newspapers, BLU)	DNI ( <i>Direction nationale de la météorologie du Mali</i> , Mali's national meteorological department)	* Rainfall * Water levels * State of plantations * Pastures * Plant health * Animal health * Fishing

Table 17 –			
Information it produces	Frequency	Geographic scope	Software
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Monthly, ten-day and weekly reports</li> <li>* Notes on swell</li> <li>* Hydrological directories</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Weekly</li> <li>* Ten-day</li> <li>* Half-yearly</li> <li>* Yearly</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* National</li> <li>* 100 hydrometric stations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* In-house software (Gestra, Ghenis)</li> <li>* Specialist software (Hydrom, SAFARHY, IDRISSE and Hydraccess)</li> <li>* Common software, electronic messaging</li> </ul>
Piezometer directories	Biannual	National	* Common software
Technical reports (sand levels in navigable canals, buoy placing, pier repairs, bank protection)	Continuous	National	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Common software</li> <li>* Specialist software</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Charts sent to directors on a weekly basis</li> <li>* Quarterly reports</li> <li>* Monthly reports</li> <li>* Yearly reports</li> </ul>	Continuous	National	* Common software
Water analysis certificates	Daily	National	* Common software
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Ten-day reports</li> <li>* Monthly reports</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Rainy season</li> <li>* Dry season</li> </ul>	National	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Specialist software (CLIMBASE)</li> <li>* Common software</li> </ul>

Table 17 – Systems and organisations gathering, monitoring and circulating information

Field	System	Institutional branch	Information it collects
Meteorology	Farming weather	DNM ( <i>Direction nationale de la météorologie du Mali</i> , Mali's national meteorological department)	Number of monitored peasants
Meteorology	Information system for users	DNM	* Rainfall * Temperature (maximum, minimum and average) * Wind (direction, speed) * Sun * Evaporation, evapo-transpiration (ETP)
Environment	Information about the forest	* MEA * <i>Direction nationale de la conservation de la nature</i> (National nature conservation agency)	* Logging figures for listed forests) * Woody-resource potential * Forest flora
	Information about the fauna	* MEA * <i>Direction nationale de la conservation de la nature</i> (National nature conservation agency)	Number and variety of existing species
Navigation	RAC (autonomous radio system)	Ministry of Equipment and Transport	* Goods and passenger transport * Position of units
Drains	* Sanitation * Pollution and nuisance control	MEA	Nuisance caused by: - household wastewater - cottage-industry wastewater - factory wastewater - water hyacinths

Table 17 –			
Information it produces	Frequency	Geographic scope	Software
* Monitored fields * Non-monitored fields	Rainy season		
* Weather directories * Seasonal forecasts	* Annual * July, August, September	* National	100%
* Quarterly reports * Annual reports * Sahel Vert (Green Sahel) reports	Continuous	National	
	Continuous	National	
* Weight of goods and number of passengers * Schedule of units	6-month campaigns	Koulikoro to Gao	Ticketing, freight and passenger transport, secretarial
* Information * Awareness raising * Education	Monthly, quarterly, half-yearly and yearly reports	District of Bamako	Internet connections

Table 17 – Systems and organisations gathering, monitoring and circulating information

Field	System	Institutional branch	Information it collects
Rural development	Current documentation library	* <i>Direction nationale d'appui au monde rural</i> (national rural-support agency) * Ministry of Agriculture	Figures for Mali's crop year: - Sown areas - Harvested areas - Production - Input quantities - Yield
CMDT ( <i>Compagnie malienne de développement textile</i> /Malian Company for Textile Development)		MA (Ministry of Agriculture)	* Results report * Sales report * Purchasing report
Agricultural studies and research	IER (Institute of Rural Economics)	* Ministry of Agriculture * Ministry of Livestock Farming and Fishing	Agricultural production studies and research
			Fish-production studies, research and monitoring
			Developments in agrarian systems
			Agricultural policy analysis
Animal health	RAC (Autonomous radio System), fax	Ministry of Livestock Farming and Fishing	Infectious diseases (OIE lists A and B)
Fisheries harvests	Landing statistics in Mopti (Opération Pêche Mopti)	Ministry of Livestock Farming and Fishing	* Fished quantities by variety * Quantity of fish sold

Table 17 –			
Information it produces	Frequency	Geographic scope	Software
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Activity reports, radio and television programs</li> <li>* Production</li> <li>* Previous-year comparison</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Library and ongoing production</li> <li>* Monthly report</li> <li>* Ten-day report</li> <li>* Yearly report</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Computerised document directory</li> <li>* Zone, regional and national</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Electronic messaging</li> <li>* Common data-processing software</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Surfaces</li> <li>* Operations</li> <li>* Production</li> <li>* Sales</li> <li>* Cotton disposal</li> <li>* Ginning</li> <li>* Population</li> </ul>	Records kept all the way up the hierarchical ladder, provided the management system lasts	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Entire Sikasso region.</li> <li>* Part of the Kayes region</li> <li>* Part of the Segou region</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* All senior management</li> <li>* Regional authorities (store accounts and general treasury)</li> </ul>
Agrarian system development	Multi-year and yearly	Zone, national and regional	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Web site</li> <li>* Common software</li> <li>* Specialist software</li> <li>* Data-processing software</li> <li>* Geographic information system</li> <li>* Spreadsheets</li> </ul>
Resource status, production indexes	Multi-year	Niger River inland delta, mainly	
New agricultural-policy guidelines	Multi-year and yearly	Zone, national and regional	
Trends in agricultural branches	Multi-year and yearly	Zone, national and regional	
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Bill of mortality</li> <li>* Available vaccine quantities</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Monthly reports</li> <li>* Annual reports</li> </ul>	National	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Electronic messaging</li> <li>* Data-processing software</li> </ul>
Quantities of fresh, smoked, burned and dried fish	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Monthly report</li> <li>* Annual report</li> </ul>	National	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Electronic messaging</li> <li>* Data-processing software</li> </ul>



# The problems: how they are addressed today

In this section, we will focus on problems – i.e. the particularly complex issues that authorities have to tackle. In most cases, these problems arise where forcing-factor dynamics (the weather, for example), living-resource dynamics, user dynamics, social dynamics and institutional dynamics cross paths. These are the factors we reviewed separately in the previous chapter.

We suggest classifying these problems in four categories. First of all, we will look at hazards. Hazards are sometimes sudden, do not last long, and are triggered by random factors. People have little or no control over hazards. Second, there are tensions. Tensions include ongoing friction and overt or concealed affliction due, to a large extent, to human activities or institutions. Third, there are threats. Threats are not yet news, but they will jeopardise the future – especially if the organisations in charge of them do nothing to thwart them. Environmental dynamics – by themselves or compounded in a negative or unforeseen manner with human behaviour, play an important role in these first three categories.

Lastly, there are what we will call “institutional difficulties” in reference to the thorny issue of improving governance systems. We expect institutions to find a way of sheltering people from environmental threats and nurturing consensus on how to share wealth.

But, before reviewing the problems associated with the categories listed above, it is important to take a quick look at another problem: health (and river diseases in particular). It is a known fact that a number of human-pathogen viruses, bacteria and other agents (worms and protozoa), and a number of animals (insects and molluscs) that carry those agents, live or indeed thrive in tropical water environments. The people in the Niger River valley – not unlike people in the other damp Sudan-Sahel areas – thus face heavy morbidity and mortality rates. Malaria, schistosomiasis, cholera (with endemic seasonal outbreaks in the region of Mopti), leishmaniasis and

carbuncle are the main causes (even though carbuncle affects cattle, mainly). Other infectious diseases, more linked to poverty and behaviour patterns than to the natural environment, take heavy tolls as well. These include trachoma, meningitis, amebiasis and hepatitis varieties, tuberculosis, and AIDS. These diseases, along with the fact that healthcare facilities are scarce in rural areas and that transporting the sick is difficult, explain the notoriously sombre health statistics. The region of Mopti, on the Niger River's inland delta, stands out with an infant mortality rate of 325/1000 between 0 and 4 years of age against a 237/1000 national average (Coulibaly *et al.*, 1996). A number of studies have shown that irrigation schemes can help river diseases spread in tropical regions (Samé-Ekobo *et al.*, 2001).

## *RISKS ASSOCIATED WITH HAZARDS*

### **Bad-weather years**

#### ***The phenomenon and circumstances***

This is the biggest risk for rural populations. A lack of rainfall compounded with a poor swell is a real and practically unpredictable possibility every year. Bad years hit farming and fishing campaigns (as well as livestock farming). They are also frequent: since the 1970s, observers agree, rainfall and swells have been "fairly bad" or "very bad" at least one year in three. This weather hazard often blankets the Niger River basin across Mali. Rainfall is also poor in neighbouring Sudan and Sahel those years. Poor flow figures in the Niger River's upstream and middle stretches correlate to poor rainfall upstream (logically) but also hinge on rainfall in the Niger River's stretch through the Sahel (which could be otherwise, as rain in the Sahel does not "make or break" the Niger River's swell). The result is that there are not many chances of compensating generally unfavourable conditions (poor swells and problems with flood-fed crops) with isolated favourable conditions (rain and rain-fed crops) which could, in specific places, be more favourable.

The reverse does not apply: a given year may bring generous rainfall and a healthy swell, but the conditions for certain crops may be bad in certain places. Here, finer weather hazards are at work: how well or otherwise rainfall and swells synchronise, for instance, will make or break production in traditional rice-growing schemes.

### **The impact**

Bad-weather years (such as 2004) have a huge social and economic impact. The rural populations can face food shortages during the following year's gap phase: cereal can indeed run out in May or June, when the following harvest is not due until October or November. The country's economy as a whole suffers as well: the balance of trade weakens (Mali has to import rice and frozen sea fish) and growth sputters (or the economy goes into recession).

### **The management approaches**

Bad-weather years are one of the harshest chronic woes that authorities in Sudan-Sahel countries such as Mali have to cope with. They have a number of options:

- sending food aid to help affected rural populations (and targeting it not to shake the agro-product market's balance). This is what the World Food Programme does at the SAP's (*Système d'alerte précoce/Advance Warning System*) request;
- building large irrigation schemes to shelter parts of the farming population from these hazards (provided, of course, that these schemes can stock up enough water upstream);
- trying to contain the impact by circulating information that will help people avert hazards a few weeks before they occur, and handle them more efficiently once they do (for example altering their annual crop strategy or investments in fishing; the Agrhymet regional system).

## **Exceptional swelling and flooding**

### **The phenomenon and circumstances**

As we have said, one of the Niger River's hallmarks is its ample swell. Swells usually build up gradually over several weeks and crest as soon as the rainy season ends. Crests then move downstream between Bamako (in early or mid-September) and Gao (in late December or January). They abate (or flatten out) as they move downstream.

Flooding, it follows, is a routine phenomenon that comes around every year when the swell reaches each area in its turn. It includes all the banks and adjacent plains. In the delta region, this flood stretches several thousand square kilometres and lasts seven to ten weeks centred in September to November.

Generally speaking, the livestock and people are familiar with and expect these flow and water-level cycles. They work around and move around the river's cycles, and know how to harness them to improve their production.

So, before looking into how floods can threaten human lives and endeavours, we have to distinguish what, within this annual regime, can be considered a threat. There are two such events:

- swells may rise at a normal pace (gradually) but build into exceptionally high crests;
- swells may rise faster than usual (over 5 cm a day) at a given point or on a given reach.

Then we can analyse the circumstances that promote these events. Here, two or three fairly different events are worth pointing out. These follow:

- type A events are actually the opposite of poor-weather years: they are years that bring excessive rainfall. DNH frequency analyses have linked swell levels to recurrence patterns. There are decade swells (one, on average, every ten years), century swells and so on. This gives a fairly good idea of the chances of such a hazard occurring. However, definitions such as these are incomplete without another factor: generation perception. The 1994 swell hit the 6.44 m mark in Mopti. That was perfectly normal by the century's statistical average. But people remember it as exceptional because it followed 20 years of very poor floods. Young people had never seen swells reach those heights, and their elders no doubt had some trouble remembering the ones that had. Comparable floods in 1999 and 2003, of course, were not perceived that way;

- type B events can be linked to particular meteorological circumstances. Very abundant rainfall in the Niger River's upper basin at the end of the rainy season builds up a 15 to 40 cm "swell peak". This peak can last a few hours or several days. It rides the river's seasonal swell wave which is also at its crest. If Selingue is already full (at maximum security level), it can not absorb the water from Sankarani, so that swell merges into the Niger as well. These swells travel very fast down the river to Bamako or Koulikoro, and cause some damage on the banks. But the crests do not go very far: they dwindle as soon as they reach the low banks and flooding plains that spread them out sideways. These phenomena probably occur between 10 September and mid-October (as in 2001). Deforestation along tributaries exposes soil to stripping, accelerates flow rates, and exacerbates this phenomenon.

Different circumstances (Type B<sup>2</sup> events) can also cause water levels to rise very fast: incidents or accidents in hydraulic facilities (the worst-case scenario, of course, is a dam failure). In these cases, swell crests can occur any time of year. They may not be high, but they are sudden. That is why they can damage facilities or wreck human endeavours. If Markala spillway gates open too fast during the low-water stage, they can cause flooding as well. Again, these swells only rise about 10 to 20 cm, but their effects are noticeable quite a way downstream (as far as the delta). This is because, during this season, the river is in its narrow bed (which concentrates and propagates waves).

### **The impact**

Type A events do not carry much of a risk for rural populations and endeavours: people there have always known better than to settle in the lower parts of the valley and delta. Traditionally, they have only built light-duty dwellings using plants and trees, in what are called *campements* (camps). These *campements* usually only stand for a season, as dwellers desert them when the swelling comes round again. Some, however, can become permanent *banco* (dry-sludge) houses when poor flooding stretches over a number of years. They would still be fairly easy to evacuate should the need to do so arise: the people living in them (fishers and rice farmers) usually have pirogues. Other people living in rural areas are less prepared, but lead sedentary lives in villages on high mounds (*toguerie*) which never flood.

This is not the case with urban and – especially – suburban populations: people leaving their villages and moving to city outskirts may not have a chance to get to know the area before unknowingly or unwillingly settling in flood-prone dips or *bas-fonds* (the name of a neighbourhood in Mopti, and the French term for a dip and for a shanty town). Unusually high swells can hit these people hard: they could take their belongings, contaminate their wells and flood their neighbourhoods, turning the area into health hazards and allowing diseases to spread. Such floods could also hit industrial or storage facilities, damaging them and possibly releasing noxious chemicals into the river.

In Mali's stretch of the Niger River, type B and type B<sup>2</sup> events (sudden natural or artificially-caused water-level surges) have not, as yet, reached catastrophic proportions. Indeed, in the upstream reaches, around Bamako, a fast (relatively speaking) rise in water levels can wash away fishing boats

and tackle (about 100 were lost in September 2001), surprise riverside-warehouse caretakers (who might not be able to move the merchandise into a safe place on time) or surprise staff running takeouts in small irrigated areas (meaning the plots might flood too fast). But, at the end of the day, the effects are limited and have not, apparently, caused the loss of human life. These phenomena are not particularly frequent, either (they occur once every five to ten years). The biggest risk, again, would be that the flood poured large amounts of poorly-stored pesticides or hydrocarbons into the river. If this occurred on a large scale (if a large dam wall broke, for instance), it would obviously be much more serious and could threaten human life.

In any case, the risk of flooding (i.e. the chances of a flood occurring and its breadth if and when it did) has not changed at all over the years. What have risen sharply are the associated risks: more people are settling right by the river. Fast population increases in cities and Mali's economic development of course explain much of this trend.

### ***Management approaches***

There are three aspects: prevention (involving zonation, counteracting erosion and regulating swells), fast warning capabilities, and the ability to deal with a catastrophe when one occurs.

The best way to prevent all flood-related risks (whatever the type) is to limit human dwellings in flood-prone areas. This involves splitting an area into zones and mapping risk levels in each zone. Mapping out the chances of flooding in each zone, however, would not be enough. It is important to map out how floods might occur in each zone (whether they might strike suddenly or build up over a period of time, when they might occur, etc.), in particular in reference to A, B and B<sup>2</sup> events. In some high-risk areas, factories or warehouses should not be allowed, under any circumstances, to use or store products that could pollute the river. This involves enforcing zone-specific rules once they are written down. It will be especially difficult to do so in towns, where pressure on land is high. As an aside, mapping out rural zones should not entail banning fishers, rice farmers and breeders from setting up seasonal camps in low areas (they build these camps to be near their work at that time of year).

Counteracting erosion in the upper basin by limiting flow speeds could reduce the chances of Type B events.

Preventing and regulating floods is difficult – or perhaps indeed impossible – in Mali at this point in time. Selingue is responsible for keeping the river's level under 370 cm in Bamako to avert catastrophes. It should also be able to absorb sudden swells from exceptionally copious rainfall in the upper basin until the beginning of September (i.e. as long as the lake level does not get near its maximum security level, 349.00 m). But, in practice, the river's seasonal crest reaches Bamako on 10 or 15 September. At that point, Selingue is full (or almost full), and can not absorb the swell. That is when a high-water crest could be dangerous for the city. So Selingue's role mitigating unexpected swells is very limited. The September 2001 flood (which Selingue was unable to contain) proves this point. And this dam, it is worth adding, is on one of the Niger River's tributaries.

Early-warning systems are important mainly inasmuch as they take the surprise element out of sudden flooding (Type B events), by giving people and businesses time to prepare. They would also, of course, play a critical role in the case of a serious event (caused by a broken dam). Using government and military radio stations as well as national and local radio stations could save lives.

Containing a catastrophe once it hits involves limiting the human, economic and environmental consequences. Current plans involve the following:

- providing for the populations' needs. This includes providing emergency accommodation (in classrooms), securing water supplies (protecting wells to avert health hazards), moving people to safe areas, providing temporary living quarters there (and providing light, water supplies, etc.), providing food for at least three months, and providing medical care for victims;
- draining or pumping stagnant water out of flooded homes, villages, towns and plots;
- assessing the impact of the floods on production and providing for the population's subsistence accordingly (deferring loan repayments, supplying 900 kg of grain for each hectare of forgone harvests, preventing epidemics that might affect livestock).

## **Water pollution**

### ***The phenomenon and circumstances***

Other circumstances – most often involving human activity – can also trigger serious pollution. Examples follow.

■ Wastewater-treatment incidents in the Huicoma plant in Koulikoro. This plant usually only treats about 40 to 60% of its wastewater and pours the rest into the river. When its system fails (as is often the case), it pours all its wastewater into the river.

■ Wastewater-treatment incidents in the Siribala plant. If the backflow pump breaks down, water pours into the *Office du Niger's* arterial drainage, momentarily polluting the water there.

There is also a risk of massive hydrocarbon spillage causing exceptional pollution (incidents while handling storage tanks or accidents involving fuel tankers are the biggest risks).

Massive rainfall can hit intensive-farming areas (cf. "Agricultural pollution in the river" p. 199) and also cause severe pollution. Such phenomena seem to occur in the upper basin during the rainy season, causing isolated fish mortality in the Selingue impoundment. In 1993, 1997 and 1998, heavy rain caused DDT pollution in the river by Bamako (whether the DDT came from farms is not yet entirely clear). This episode only lasted a few days but was serious enough to disrupt life in that city.

Lastly, certain hydro-geological configurations can promote pollutant migration to extremely sensitive areas. Bamako's deep groundwater table, for instance, is fed by the river through a fault. It could, therefore, be exposed in the case of severe pollution.

### ***The impact***

All in all, severe pollution episodes to date have been fairly small in size and mainly only hit fish. In Koulikoro, for example, waste-related incidents have killed fish several kilometres down the river. In Siribala, fishers have seen that high pollution concentration can cause instant fish asphyxiation. This deadly effect is noticeable about 20 km beyond the pollution source. How long it lasts is not yet clear but, according to fishers, it can last about one month.

### ***Management approaches***

Handling these incidents involves prevention (through regulation and by improving treatment systems, essentially), and detection and warning capabilities (reaching the populations that consume the water). When DDT pollution was found in the river's waters in 1993, 1997 and 1998, the population and EDM (*Énergie du Mali*/Mali's power utility) network users were warned through the press.

## **Pest proliferation**

### ***The phenomenon and circumstances***

Insects (locusts and grasshoppers), rodents and small birds proliferate often in the Sahel region, and assail the Niger River valley and inland delta (as well as other regions). The causes triggering this phenomenon are varied and complex: they hinge on ecological processes and on climatic factors. Locust proliferation has been studied in depth, and ranks among the most spectacular such phenomena. The last locust proliferation stretched from August to October 2004. One of this phenomenon's hallmarks is that it generally occurs after a string of good-weather years, i.e. years bringing adequate rainfall in the Sahel and in other areas skirting the Sahara (in the Maghreb). Proliferation of harvest-devastating small birds, conversely, tends to be more regular from one year to the next.

### ***The impact***

The impact of these proliferation phenomena is akin to that of a bad-weather year. Pest proliferation usually occurs on a smaller scale but nonetheless takes a toll on harvests and can cause a food shortage the following year.

### ***Management approaches***

Several organisations and several national and international programmes (Agrhymet, PICDCS, FAO) play an active role trying to forecast, forestall and thwart predator proliferation. An agreement that will involve coordinating and running a sub-regional scheme to counter grasshoppers (Cosrela) was recently drawn up.

In the case of a confirmed catastrophe, food aid (WFP) can promptly be made available for the targeted populations in the hardest-hit areas, through the advance-warning system (SAP).

## ***TENSIONS AND HOW THEY ARE HANDLED TODAY***

Two of the tensions that can degenerate into open conflict or, conversely, that appear as persistent but only barely perceptible or indeed silenced friction, stem directly from sharing water (cf. "The impact of hydraulic schemes on flooding and flood-dependent production systems"

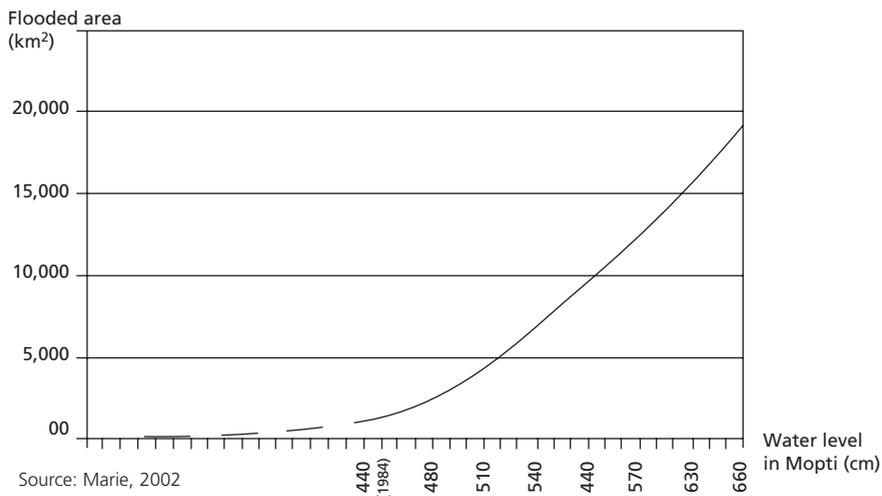
p. 250), wetlands and other areas near the water (cf. "Tensions between farming and transhumant livestock farming over sharing land during the flood recession and dry season" p. 255).

### **The impact of hydraulic schemes on flooding and flood-dependent production systems**

The size of flooded areas (and therefore the height of the swell wave), as we have seen, has a strong impact on production systems and users (cf. "River-usage characterisation and performance, water requirements and relative impacts" p. 184). This is principally the case in traditional (unaided) rice-farming areas, rice farming in controlled-flooding areas, fishing, and itinerant livestock farming. None of these systems are very productive (and three of them can be fittingly described as "extensive"). However, they can share the same area, using it in turn as seasons go by. Typically, a hectare of flooding plains can produce 100 kg of traditional rice (because crop areas only account for 10 or 15% of the flooding plains), 50 to 100 kg of fish and 7 to 10 kg of meat a year. That hectare of flooding plains does not produce that amount of meat alone (herds spend part of the year on Sahel pastures). But it is fair to say that, without the flooding plain and the fodder it produces from December to June, meat production would almost or entirely disappear. Fish production is similar: fish are often caught on river beds, but grow up in the plains. Without those flooding plains, the river would not, strictly speaking, produce much. In some cases (fish, for example) the productivity ratios provided above can be confirmed by statistical links between changes in regional production and changes in the size of the flood covering these plains. All this goes to say that flooding plains are environments that produce generous and measurable amounts of food. These environments supply most of Mali's fish.

It is also important to remember that these traditional flood-dependent production systems provide livelihoods for a large population. If we assume that three-quarters of the people living between Ke Massina-Djenne and Timbuktu live off one or more of these endeavours or off processing or selling the produce, it is plausible to say that 900,000 people live off these activities.

How upstream hydraulic schemes might impact flood levels has to be understood in this light. As we have seen, existing schemes may only have a modest impact. But they are not inconsequential. The gradient linking swell levels and flooded delta areas is well known, at least for the area south



**Figure 11**

Flooded areas in the delta (up to lake Debo) paired with swell levels in Mopti

of Lake Debo (fig. 11): in common swell brackets (between 5.60 m and 6.40 m in Mopti), a 10-cm rise in water levels (again, in Mopti) floods about 980 km<sup>2</sup> of land. A 10-cm drop in water levels, it follows, will have a sizeable impact on

production systems in the plains.

Some authors have gone further and suggested ways of calculating production losses in the delta. One (Laë, 1992a) has attempted to peg fish-production losses to water-level drops due to upstream swell diversion. Speculative mathematics aside, the data provided here seems to be enough to contend that river management and schemes have to take the needs of production systems in flooding plains into account.

To date, these requirements – mainly expressed in terms of swell levels and flooded areas – have not been properly factored into scheme-opportunity surveys or into scheme-management guidelines. Moreover, figures supplied by official hydrological agencies (which focus on water quantity and flow rates, never on water levels or flooded areas) only provide total annual diversion or instantaneous discharge rates during low-water stages. That information is irrelevant to swell management.

Lastly, ample natural flood variation (from one year to the next and from one decade to the next) makes it difficult for delta populations to make out exactly how much water they lose to diversion and storage upstream. Society as a whole has not broached this question in enough detail. However, some communities (fishers, especially) have long accused the large dams (Selingue in particular) of wronging them.

All this explains why the issue of how to distribute the Niger River's swell water in Mali is not addressed at the right level today. But new schemes in the upper basin (Fomi in Guinea, for example) and possible *Office du Niger* extension plans should provide an opportunity for experts and for Mali's society as a whole to broach this question.

### **User friction over low-water flows**

A look at requirements associated with different endeavours and uses (cf. "River-usage characterisation and performance, water requirements and relative impacts" p. 184) shows that low-water stages (February-June) spark fierce competition for the scant available water. This competition, broadly speaking, can be described as follows:

- on the one hand, diversion into large gravity-governed areas during the low-water stage (*Office du Niger* mainly, and Selingue and Sotuba far behind) to irrigate off-season crops (market gardening and a little rice, from February to May) and to start watering rice beds for the coming plantation during the rainy season and swell;

- on the other, the needs of users downstream. These needs span the whole spectrum: pump-irrigated village plantations, smack navigation, household consumption (for riverside population all the way down to Niamey), maintaining at least minimum water levels for fish-resource survival, and drinking water for cattle.

The water released from Selingue upstream eases some of this tension with a 70 to 120 m<sup>3</sup>/s boost to natural flow rates during this season. This typically keeps rates at or above 40 m<sup>3</sup>/s after Markala (on *Commission nationale des eaux* instructions).

This management approach works fairly well inasmuch as it keeps flow rates at more or less the same levels as stations in Mopti recorded in the same season in the 1950s and 1960s. These minimum flow rates seem to

be enough for the ecosystem (for fish, especially). However, some users downstream – water consumers in the city of Niamey, especially – feel that the shortage is worsening – either because the number of consumers is increasing or because the small amounts of water diverted here and there up the delta (and pumped into small village irrigation plots) have finally started making a noticeable dent in the flow. Whatever the case, historically, the Niger River has always had severe low-water years in Niamey.

To minimise water diversion during low-water stages, *Office du Niger* would like to cut back off-season rice production (or stop it altogether) and plant crops that use less water instead.

### Poor scheme water efficiency

As we have said (“Agriculture”, p. 190) large hydrologic schemes (such as the ones that *Office du Niger* runs) do not use water efficiently enough. Firstly, the networks waste a lot of water.

First of all, there are huge differences between flow rates in Markala and flow rates entering the primary canals: data collected in the 1995-1996 campaign show that nearly 40% of the 36 000 m<sup>3</sup>/ha that enter the scheme are wasted. Large pipes and *falas* (infiltration, evaporation and discharges to regulate water levels) explain some of the loss. Off-bed plantations explain another portion (water supply, in this case, can not always be controlled). But efficiency in second-tier and third-tier networks is also a problem: some divisors and irrigators supply less water than an area theoretically needs, and others supply twice as much water as necessary.

Based on PSI (*Pôle système irrigué/irrigated system unit*) research, we can summarise the situation as follows.

- Water loss in hydraulic systems upstream of the *Office du Niger* (Sahel canal, Molodo *fala*, etc.) account for 40% of the total volume delivered by Markala. In other words, 60% of the water reaches the irrigation canals and beds.

- Of the 60% that reaches irrigation channels:
  - 20 to 25% (i.e. 12 to 15% of the total delivered by Markala) is lost to infiltration in the irrigation canals themselves, especially off season;
  - 35% (i.e. 20% of the total delivered by Markala) is lost to bed drainage during the rice-farming season;

– 40% (i.e. 25% of the total delivered by Markaka) is actually used by plantations.

During the rice-farming season, water consumption using Retail dispenser valves stands at 14,700 m<sup>3</sup>/ha (in line with the *Office du Niger's* 15,000 m<sup>3</sup>/ha target). Factoring in drainage loss and rainfall, each hectare receives about 12,000 m<sup>3</sup> on average. This is enough for rice plantations (Beau, 1981).

The results, however, mask the sharp differences between regulation systems and how easy or otherwise they are to run. Regulating divisors equipped with facings (Grüber beds) seems to be the most efficient option (in spite of the fact that they have control valves in the irrigating nozzles, meaning that they supply less volume at a more regular pace). Irrigator regulation with mask dispenser valves (Retail) is not efficient inasmuch as the instruction levels are fulfilled in the divisor. Regulating divisors using flat valves and irrigators with part modules (Kouya beds) is the least efficient option. This variability increases at the divisor and at the sprinkler level.

Out of season, the 5,850 m<sup>3</sup>/ha of water that enter the scheme are far higher than plantation requirements, which only represent about 20% of the area using Retail divisors. Watering the network entails losing an estimated 1.5 mm per day to infiltration. This water builds up in groundwater tables and rises back to the surface by capillarity. When it does so, it brings salt with it. This damages paddy fertility.

Another way of assessing water efficiency in a given area is looking at the way in which costs are distributed and at whether they could give users a greater sense of responsibility. At this point, the levy that farmers pay only covers primary and secondary network maintenance and water-management services: it does not cover the amount of water they actually use. One way of improving efficiency could involve new management schemes that include – in particular – pegging levies to water consumption.

Generally speaking, improving water efficiency in these areas is a top-priority *Office du Niger* goal and part of SNDI's broad agenda. This is also one of the goals of international development projects such as Appia (*Amélioration des performances des périmètres irrigués en Afrique*/improvement of performances on irrigation schemes in Africa).

To a certain extent, we can hope that extending irrigated areas will in itself spur greater efficiency. Stretching irrigated areas will involve stretching water resources, and therefore entail administrating it more efficiently, even if doing so involves improving network and paddy upkeep, improving infrastructure, and improving work-organisation and planning.

Whatever the case, implementing the various technical and management instruments to improve efficiency seems to be a *sine qua non* in efforts to extend irrigated systems with equanimity (which, in turn, is a political goal). The impact that these systems have on high-water and low-water flow levels has to accommodate users downstream. Diverting substantially more water into irrigation schemes will necessarily involve building a new storage and discharging dam upstream to support low-water flows and to keep them at the prescribed 40 m<sup>3</sup>/s downstream from Markala – which, at the end of the day, would be tantamount to diverting more swell water.

The *Office du Niger's* new plan to increase water efficiency involves cutting back (or even banning) off-season rice plantations and using areas now operated out-of-bed for extensions first.

### **Tensions between farming and transhumant livestock farming over sharing land during the flood recession and dry season**

In 1989, flood-fed rice plantations spanned 160,000 ha in the delta (“Agriculture” p. 190). These plantations were nomadic: farmers moved their paddies according to where they believed the swell would benefit them. The last 50 years have seen these crop areas grow in tandem with the population. Poor flooding in the 1970s and 1980s drove rice farmers to deeper basins, where they cleared the inland delta’s best pastures (the *bourgoutières*, in particular).

Back in 1952, *bourgoutières* were only rarely cleared. By 1989, however, 51,252 ha had been cleared and turned into rice paddies, sparking friction between farmers and herders. The hardest-hit areas are around Mopti and Tenenkou, Yongari-Mangari to the south, and along an imaginary line from Mourra to Sorme through Togoro Kotia. At that point, in other words, a quarter of the *bourgoutières* had been cleared. This phenomenon has not hit every area homogeneously. Clearance rates, by the yardstick used in today’s rural communes, can swing from 0% in one area to 82% in another.

The most worrying cases are in communes around Tenenkou, south of Kewa, and in communes around Mopti (Socoura and Sio mainly). This is worrying for two reasons: first, it means herders are losing substantial amounts of grassland; second, it generates conflicts.

Herding "infrastructure" (trails and shelters) is also under serious threat. In 1989, herders could not access 242 of the delta's 1,014 shelters because of plantations. In other words, about 24% of the delta's shelters were planted over. That, incidentally, was about how much *bourgoutière* had been cleared.

A little later in the season, when the low-water stage came around (in the hot season), other issues surfaced emerged. Small village irrigation areas were "on" or "near" the paths that herds followed to water (which, of course meant that cattle trod on intensive crops).

Settling these problems is a constant worry for territorial authorities and, today, for communal councils.

## *THREATS FOR THE FUTURE*

### **Farming schemes could jeopardise fish production on the plains**

Controlled-submersion rice plantations (ORM-type) and, to a lesser extent, village irrigation areas, are at issue here.

Fish need unobstructed access (or at least unobstructed paths) to different areas in the water environment they dwell in (at least during the swell) to breed (Benech, 2002). Almost all fish species need to access the plains to breed, feed and grow. The proliferation of facilities (small dams and gate structures) by the river (to postpone paddy and bed flooding) obstruct access and end up denaturing the flooding-plain environment. Many species are scared of venturing into the narrow whirling courses created by the valves and spillways, and end up deserting these areas. Only a few species such as the *Tilapia zillii* can thrive on those plains. However, as they can damage crops, rice farmers build barriers along the small internal canals to block them (understandably, after all).

Unchecked, these efforts to turn plains into controlled-submersion rice paddies could well hamper fish production across the delta. But there are

schemes that allow rice and fish production to coexist (and indeed create synergies). These schemes are used extensively in Asia, but have not yet attracted enough attention in Africa's rice-growing areas (especially in the Sahel region) in spite of their self-evident potential (Cofad, 2002).

### Threats to nation-wide food security

The population increase will also spell considerable changes in population structure (cf. "Large hydraulic schemes" p. 184). In 30 years' time, about 50% of the population will live in cities. This means that the 50% of the population living in rural areas will have to produce enough food for themselves and for the other half. As unpredictable weather patterns hamper rain-fed crop yields in general and cereal production (millet) in particular, this is an issue.

That is why the government has focused on boosting rice production (which "took off" in the late 1980s). To do so, authorities have put water management at the core of its agricultural-development agenda (MDRE, 1999). This strategy, SNDI (for *Stratégie nationale de développement de l'irrigation*/national irrigation-development strategy) involves building controlled-irrigation schemes for an extra 50,000 ha by 2007, plus shallow-water and controlled-submersion schemes for another 14,000 ha. By 2025, the goal is to extend the *Office du Niger's* irrigated land area by 120,000 ha, to a total 200,000 ha.

Even if these gravity-governed schemes were radically more efficient, irrigating the new areas would still involve diverting more water from the river during high-water and low-water stages alike. This would take us back to the critical scenario outlined above, involving the need to build a new storage/discharge dam upstream to support low-water flow. This would take an extra toll on the swell (especially when it reaches the delta) and therefore shrink flooded areas further. The risk, in other words, is that boosting rice production could tax meat and fish production (and fish production only barely covers the population's needs today).

Lastly, developments in the world rice market are a factor that warrants consideration in farming-development policies, especially when arbitrating between the various options. As a reminder, one of this market's features today is the slight surplus coming from Asia. But this could change in coming years: Asia's population will continue to increase, available farmland continue

to shrink (from 0.15 to 0.09 ha per person), and the green revolution should wane (Trebuil and Hossain, 2004). Paradoxically, this scenario would be good news for Mali, as it would help its rice trade develop.

### *INSTITUTIONAL ISSUES HAMPERING EFFICIENT ENVIRONMENTAL AND NATURAL-RESOURCE MANAGEMENT*

#### **NBA issues**

Using the Niger River's water more efficiently involves arbitrating between its various users and, first of all, between the countries skirting it. These decisions can only be made through *ad hoc* institutions. The idea of establishing a public organisation to improve and develop the Niger River basin is not new: it dates back to the early 1950s (the end of the colonial period), when MEAN (*Mission d'étude et d'aménagement du Niger*/Niger River research and improvement agency) was founded. This organisation controlled the river from its sources in Guinea to the Nigerian border. The agency that replaced MEAN, the CFN (*Commission du fleuve Niger*/Niger River commission) was founded by the 1964 Act of Niamey (an agreement on navigation and economic cooperation between countries on the basin). This agreement showed that the Niger Basin's new countries ranked river infrastructure and water management high on their agendas. Results, however, did not live up to expectations. Besides a 1970 study on the river's navigability, the CFN achieved little. Its human and material resources never matched the mandates and colossal hopes that had been invested in it. In 1980, 17 years after its foundation, the CFN was replaced by the agency that is regarded as the basin authority today.

NBA has had a difficult time. High hopes surrounded its inception, but its financial situation had become nothing short of catastrophic by 1986 (most member states had stopped paying their dues). But financial problems are only part of the NBA's long crisis. Institutional issues explain the rest. The ties that shaped cooperation between the member states and dictated this international organisation's mandates have been through several changes. Recurring shifts in cooperation patterns or strategic visions, in other words, have deprived the NBA of clear guidelines. It is also conceivable that the very notion of an international organisation in charge of harmonising water rights across the basin clashed with reticence on the part of States concerned about

relinquishing their sovereignty. Funding agencies lost interest when they realised that member-state support was wilting. Geographically speaking, this basin is marginal in certain countries, explaining why some countries feel more involved than others.

The NBA's lasting difficulties also explain some of the mushrooming organisations and bilateral projects that ensued. The Ghenis project (Mali and Guinea) or the mixed Mali-Niger commission (a forum to harmonise the interests of these States and, in particular, to iron out the issues associated with low-water stages) are two examples.

When they met in Abuja in October 1998, heads of State and funding agencies agreed to give the NBA a clean slate and a fresh start. They agreed on a three-year plan (spanning 2000 to 2002) to cement its organisation and bolster its human potential, and on a five-year action plan (starting in 2003) involving a number of new projects. These new projects include reviving the documentation centre, updating the hydrological databases (Niger-Hycos), and upgrading or creating a new river-flow model spanning the entire basin and a model to simulate water requirements.

It is true that efficient NBA operation is a *sine qua non* for solving the geopolitical problems associated with using the basin's waters. The Niger River's upper and middle reaches are still relatively undeveloped. So the issues that might spark conflict between countries alongside those stretches are not yet manifest. But plans to build dams in Fomi (Guinea), Taoussa (Mali) and Kandadji (Niger), to list only the largest, will change this soon. If these three dams are built, it will be impossible to operate them independently. Moreover, funding-agency decisions seem tied to preliminary surveys ascertaining the impact that each of these dams will have on the river's flow and ecosystems, and on the complex interactions between them.

Consultation, it follows, hinges on efficient NBA operation and on strong ties with relevant national organisations. It also involves clarifying prerogatives and national-organisation powers.

### **A complex national institutional framework**

The fact that the philosophy underlying Mali's water-management policies recently evolved possibly explains why the institutional framework is complex. Mali indeed recently switched from sector-based and technocratic

management to integrated tributary-basin management (through IWRM). So it is fair to say that it is in a transition phase at this point. In particular, this process involves setting up new institutions without replacing existing ones (which is not necessarily desirable in all cases).

To mention only one example, the recently-established *Agence du Bassin du fleuve Niger* (Niger River Basin agency) is run by the Ministry of the Environment. Water management, however, is still in the hands of the Ministry of Mines and Water, via the DNH (which runs the basin committees). Meaning that different authorities manage the Niger River's basin (and sub-basins) in Mali.

IWRM implementation (with decentralisation in the background) has opened the door to involving society in water management. Committees have mushroomed as a result. These committees often only have scant resources and their views generally only carry advisory weight. It is also fair to wonder about the rapport between communities with little human and material resources and "heavyweight" State organisations with limited but nonetheless real wherewithal, power over resources and technical expertise.

### **The difficulties for some groups to adjust to the new decentralisation-related "rules of the game"**

Farmland, grassland and fishing-area management has been handed over to territorial communities by law. But traditional authorities still hold dominant *de facto* authority. This can cause conflict between municipal and village authorities. Resource-management matters are referred, as appropriate, to the *Dugukolotigi* (master of land), *Jitigi* (master of water), *Kungotigi* (master of the bush), *Baba Aougal* (master of fishing) or *Jowro* (master of pasture).

This decentralisation process, it is also worth pointing out, benefits sedentary communities (primarily farmers, in other words). This is because of the following:

- decentralisation grants more power to communes, therefore to mayors. Mayors are often members of a commune's sedentary community and therefore, by tradition, often farmers or members of the commune's farmer community. Herders, for example, are only marginally represented, either because they are itinerant or because old political and territorial structures

(the inland delta's *leyde*) have made them reluctant to take part in communal electoral processes;

- farming only takes up limited amounts of space. Livestock farming and fishing, conversely, cover vast areas (because of the itinerant element). The way in which decentralisation has distributed authority benefits sedentary farming more than itinerant livestock farming and fishing;

- it is also fair to raise the question of the decentralisation drive's grassland management in the Niger River's inland delta. This policy involves charging a herders a levy for using grassland whereas herders themselves – or at least their representatives (the *jowros*) – charged (and may still charge) their foreign peers a similar tax. The fact that, in the inland delta, herders and, to a lesser extent, fishers (migrating fishers, in particular) are noticeably underrepresented in democratically-elected bodies, can cause problems in these communities. And force them to take an in-depth look at their social and economic attitudes.

The case of migrating fishers (Kassibo, 2000) proves this point. Fishing, as we have said, necessarily involves a sizeable itinerant element (in the case of its more professional component). Fishers have to fish a lot and all the time to cover the costs of their equipment and to make a profit. That means that they have to be where the fish is. But, as opposed to herders, fishers do not follow ancestral migratory patterns: they move less methodically, if nothing else because certain water ecosystems dry up and other appear (as in the case of Selingue). That is why fisher migrations do not necessarily involve return trips: fishers often settle in the areas they migrate to. However, fishers retain their "migrant" status and live as foreigners for a long time, even though they spend ten months out of twelve in their new place of abode. From an administrative standpoint, they would rather keep their ties to the area they come from instead of registering to vote or paying taxes in their host commune. As the decentralisation drive is moving natural resources, tax collection and public service into the hands of the smallest subdivisions of territorial communities (circles and communes), migrant fishers will soon be up against a wall. They will have to choose between becoming relegated, "second-class" citizens where they live (i.e. pay taxes and live by rules set by the "autochthons" without being able to access public services) or register in their host communities to achieve the same status as autochthons (Morand and Breuil, 2002). If they choose the second option, they will be able to take part in democratically-elected

bodies (fishing councils, especially) in their host circles and communes, but will have to see their business as a source of income for the community. In return, they will be more encouraged to use the community's public schools and maternity hospitals. Their economic and social ties to the village they came from (which they cling to today) will obviously suffer. As will their chances of moving on later (once they have invested themselves in the host community's social and economic life). In other words, migrant fisher communities will have to alter their lifestyle social culture considerably.

# Proposals, conclusions and recommendations

## SETTING UP OR CONSOLIDATING MANAGEMENT TOOLS

### Simulation models

Scientific knowledge needs to be more integrated and more available for decision-makers. One of the options would involve using models to generate simulations to support strategic decisions. We believe that three such models will prove particularly useful. They follow:

- a hydraulic model simulating the river's flow and, in particular, allowing researchers to assess the impact of schemes currently on the plans. There is one already, but it does not cover the whole river and has never been used since it was developed in 1988. NBA is sponsoring plans to upgrade this model and stretch it to encompass the whole river (Guinea and Nigeria included). We hope this plan reaches implementation – and that it reaches the relevant agencies thereafter;

- a water-use model, to list and integrate every river-water usage, should also prove useful. This model should generate scenarios to optimise development strategies. It should interface with the hydraulic model and use the information in it. It should also include hypotheses covering major climatic and demographic forcing factors to generate long-term scenarios. There are two of these models on the plans or underway: an NBA-hosted project for the entire basin, and an IRD-backed plan in Mali involving local and international partner scientific organisations (Kuper *et al.*, 2003). Connecting these two projects seems highly desirable;

- local models tailored around specific issues, and interfacing with the models above to support decisions, should be included in this scheme. Examples include projects underway at the *Office du Niger* and desirable projects such as an environmental information system for the Niger River's inland delta or an information system covering flood hazards in urban areas (Bamako).

### **An information system to bolster monitoring capabilities and support decisions**

A comprehensive and sustainable approach to administrating the environment and renewable resources necessarily involves acquiring, harnessing, storing and circulating generous amounts of high-quality data, information and knowledge. So it involves setting up and maintaining more than one environmental information system. An information system is a structured set of data, processing procedures and communication protocols. It involves a series of technical requirements (the IT system, strictly speaking). But it also involves a series of documents and reprographic and communication equipment to generate, store, process, transfer and use the information to meet defined goals.

#### ***Tallying goals and needs***

There are a number of goals that will plausibly meet across-the-broad consent – and are necessary. They follow:

- strengthen/develop environmental-information collection and storage capabilities;
- increase the availability of processed information that can be directly used in the fields in which it is lacking (i.e., in particular, using more efficient processing systems);
- facilitate public-sector access to environmental information (public-sector, that is, more or less broadly speaking, encompassing national decision-makers, research organisations, and other State-run agencies producing and administrating information). Eventually, allow other stakeholders and audiences to access this information.

Some decisions on this issue are still pending. In particular, what river-related information should be accessible at which levels in the territorial-community hierarchy is an open-ended question. This also applies outside governmental circles (meaning NGOs, associations and unions), in business circles (entrepreneurs and merchants) and in operations (fishers, farmers, etc.). Efforts to define the information products generated by the information systems will have to take into account the fact that the list of target users might grow.

The final decision on the information system's architecture and technology will have to wait until these questions are answered. At this point in

time, the architecture we suggest below is based on the assumption that the information system or systems will chiefly target high-level public-sector decision-makers. The suggestions also involve drawing a line between information that is relevant in national and international spheres (decisions on river improvement and management, for example) and information that is relevant in regional and local spheres (office management, for instance) which involve decisions over a much more contained area.

Requirements also hinge on the time factor (i.e. on whether decisions enlightened by the information system require longer or shorter forecasts). From this angle, we can talk about short-term or tactical timeframes (organising annual campaigns) and more long-term or strategic timeframes (river improvement and investment). Long-term forecasts, in turn, can cover large national or international areas or smaller regional or local ones. It seems clear that the information system that the Niger River needs should address the first as much as the second, even if doing so involves packaging information in different ways.

### ***Building on the considerable resources that already exist***

Broadly speaking, the Niger River already counts a considerable number of environmental-information systems. A number of organisations already gather a wide variety of information, and package it and circulate in a variety of formats, usually on a regular basis (daily, monthly or annually). The “information actors”, however, vary considerably. Their institutional status and level of investment in information varies. They use the information in different ways and their grasp of information technology varies.

#### **International**

Agrhymet, a Niamey-based CILSS offshoot specialising in agricultural weather monitoring and forecasts, is worth mentioning. It has robust satellite-information processing capabilities and can generate situation maps within short timeframes.

NBA (which is also based in Niamey) has an information system in the form of a resource and information centre. It stores records and survey documents, and houses an inter-State hydrological-forecast centre (the Hydroniger programme) which gathers, stores and processes hydrological data from the different countries along the basin.

### National and local

The agencies working under national departments (DNH for hydraulics and DNM for the weather, for example) are the core country-level "information actors". But there are also local development offices (*Office de développement rural de Sélingué, Office du riz Mopti, Office du Niger* and *Opération pêche Mopti*), laboratories or research teams such as IER (*Institut d'économie rurale*/Institute of rural economics) and permanent programmes such as SAP (*Système d'alerte précoce*/advance warning system). All these organisations gather, store and publish information on a regular basis. Some of them (*Office du Niger*, for example) are building proper modern information systems.

### ***The different types and levels of information that have to be used and processed***

It is important to pinpoint the different information categories and information levels that an information system needs if it is to produce information that will be relevant to administrating the Niger River's resources. These categories will shape some of the functional architecture. The information categories follow.

- Static facts gathered "once and for all" (topography, for example). Here, gathering information is not an issue in itself. But very accurate information is vital.

- Information that can be gathered once and used for five to ten years (population, land use and cadastres). This information is best gathered in a decentralised scheme and does not even have to be gathered simultaneously (countries or regions in different parts of the basin can gather and pool this information at different points in time).

- Yearly information, typically covering farming, fishing and other campaign results. This information can also be gathered through decentralised channels. At least minimally standardising data presentation and format, however, is vital.

- Very dynamic facts that have to be collected on an ongoing basis (rain-fall, water levels, flow rates, etc.). This information can only be gathered efficiently using sophisticated technology (sensors, transmitters, satellite-image receptors, and databases fed in real time). These systems have to be set up and operated centrally, and require considerable resources and highly-qualified staff.

### **A two-tier architecture**

Choosing an information system's architecture is tantamount to choosing the general geometry that will shape the organisation of the various components. The goal is to interface components in such a way as to achieve overall efficiency. Taking into account, on the one hand, the existing systems, and, on the other, target data-collecting and information-circulating efficiency levels, a realistic architecture could involve two integration levels. These levels follow.

- The first, single and relatively central level would be an information system covering the basin as a whole, focusing on hydraulic variables (flow rates, swell levels and flood spread). This level would use the most efficient resources to process information from numerous sensors and transmitters, and from satellites. It would interface with a hydraulic model generating short-term forecasts as well as simulations.

- The second level of integration would involve regional or local information systems. This level would monitor environmental variables, support environmental-management decisions, support production systems, and address risks in clearly-identified, high-stake areas (the *Office du Niger*, Bamako-Koulikoro stretch and Niger River inland delta, for example). This is where the hydraulic variables (flow rates, water levels and flooded areas) recorded or forecast mainly by the first-level information system would interface with the information about usage systems. As these second-level information systems would serve different goals (they may be designed to provide advance warning, forecast floods, administrate land and monitor environmental impacts, for example), their architecture could vary.

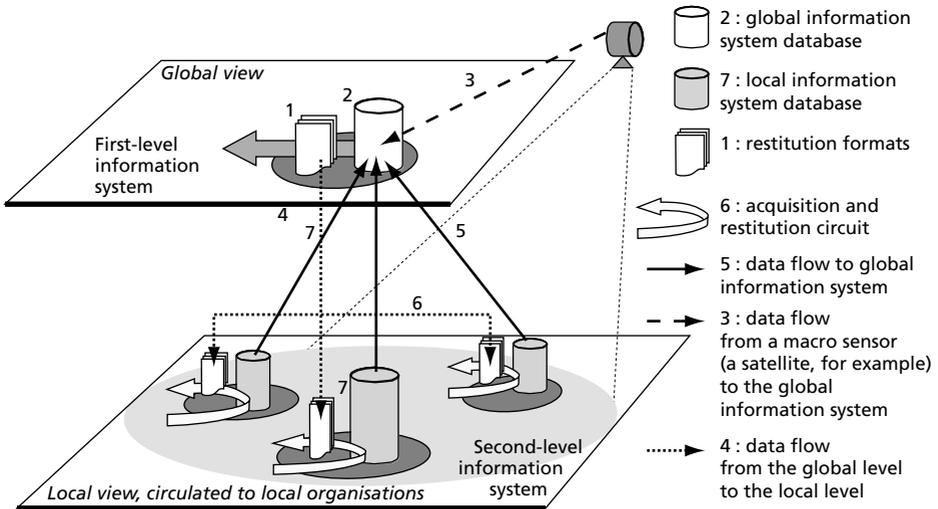
How these two tiers interface warrants special attention, especially as regards using shared repositories (rating systems and geographic systems).

Technically speaking, the first tier's level- and flow-monitoring systems and its mathematical modelling capabilities tally fairly well with the system that NBA is trying to build through its various projects.

Second-tier regional and local information systems are still embryonic at this point (with the exception of the *Office du Niger's* system, which is already at an advanced stage). To nurture information systems at this level, decentralised State agencies working in the areas under review should be encouraged to work closer together collecting, processing and interpreting information. Doing so could involve streamlining tools, methods and repositories and go as far as pooling information and resources. Shared informa-

tion products could then be developed. To back these integration efforts, information-system units (local observatories) could be created and put under local development or management organisations when these exist.

These regional or local information systems should also belong to peer federations or "clubs" across the country and, if possible, across the basin. They could meet regularly and be backed in their efforts to streamline information collection and restitution, and to bolster their ability to interface their information with first-tier information.



**Figure 12**

A example showing cooperation between information systems at different levels

In this case, local (or national) information systems and/or information systems dealing with more restricted areas can operate practically autonomously, i.e. run their own acquisition and restitution loop (6) through their own databases (7) and generate their own presentation formats (1) tailored to specific target needs. But these systems also feed some information (5) into the first-level information system (2) which, in turn, is also fed (3) by specific globally-relevant sensors. The first-level information system, here, has its own restitution formats (again, tailored to specific targets) and feeds some of the information it produces (4) back to specific local and regional information systems, completing the information that the latter generates (1).

***The two conditions***

Two issues come up every time an organisation decides to develop an information system. First, the different parties have to agree on the rules for circulating and using information. Second, the organisation needs to make sure it will be able to count on sufficient human and non-human resources over the long term.

**Information-sharing rules**

Sharing data, information and models is not the most natural thing in the world. That is why, early on in the process, parties need to decide how they will provide access to, circulate and use raw data and packaged information in the system. The first question is about the sort of information that parties will pool, and when they will do so. They can sign a data policy agreement governing information circulation and usage (and outside support could hinge on them doing so).

**Long-term resources**

It is not so much the total amount of funding that a country's authorities and outside organisations are willing to provide that is important: it is how long they are willing to back the project that will make or break efforts to improve production of and access to information about the Niger River and its environment. The usual project-based approach is an issue: in this case, the usual timeframes are not long enough (projects only last 3 or 4 years in general).

Self-generated funding (for example charging outside users for access to information) is another option. International institutions also have to understand that monitoring the world's large tropical ecosystems is a global concern, and that the burden of doing so can not be on southern-hemisphere countries alone. So they could sign a contract agreeing to buy some of the information that this system generates, on condition that they can monitor the quality of that information on a regular basis.

To conclude, it is not the amount of resources as much as the way in which these resources are obtained and used that will no doubt prove decisive and ensure that the environmental information needed to monitor and administrate the Niger River in a suitable manner becomes increasingly available.

## CONCLUSIONS

The Niger River basin's water is used for a variety of purposes. It is used to generate electricity, for irrigation, for navigation, to feed towns and industrial operations, for fishing, for cattle farming, for flood-fed farming, for receding-water farming, and for ecosystems.

These uses have been clearly identified. But some are better known than others. Some, in particular, are not very well known and poorly quantified (or not quantified at all). Requirements and demands – which we have tried to review in detail in this paper – vary and indeed sometimes conflict. We will not review every one of these areas of friction, but the main ones follow. Generating electricity involves using water all year round (to provide consumers on a regular basis). These requirements, however, peak during the hot and dry season, when the river's flow withers to its lowest. So generating electricity involves storing water in the high-water stage and using it in the low-water stage. Irrigation schemes need water all year round as well, if the goal is to harvest twice. But these schemes are especially exposed in the dry season when the *Office du Niger*, for example, diverts almost 80% of the available flow. Cities need a very steady supply of high-quality water. Navigation involves keeping water levels at guaranteed levels for as long as possible. Conversely, ecosystems (inland-delta ecosystems in particular) as well as fishing, cattle-farming and high-water and receding-flood rice farming operations need healthy swells; their requirements do not hinge as much on flow rates as much as they hinge on water levels (which determine the size of the flooded areas) and on how long flooding lasts. Also, if the inland delta's ecosystems and economic endeavours (fishing, cattle farming, etc.) need healthy, regular annual swells, they also need sharp recession and low-water stages. The ecosystems derive their health and wealth from the river's ample seasonal variations (Gepis, 2000).

In other words, some systems need regular variations and others need wide variations. So it will be difficult to accommodate every river user's needs. Added to that, users need security. And upstream usage impacts downstream users in a number of different ways. This is true on a national scale, but even more so in the international arena enveloping Mali's water-management policy. This river's flow rates in Niger or entering Nigeria depend on the flow rates in Guinea and Mali and, therefore on existing and planned infrastructure.

Finding a suitable compromise is all the harder in the present context. Outside forces are exercising constraining on the Niger River and on its environment. First of all, there are climatic forcing factors and the fact that the trends shaping them are greatly unfathomable. In particular, the river's flow will hinge on rainfall (which is difficult to forecast). But it will also depend on the basin's soil (deforestation, erosion and other developments might alter the link between rainfall and flow). Besides being difficult to characterise, soil conditions also hinge on rainfall and land-use patterns. Which, in turn, depend on the fast-growing population's needs and on that population's desire to enjoy a better lifestyle.

How to generate more electricity or grow more rice without burdening fish production (fish is the Malian population's main source of protein) and without jeopardising the ecosystems that directly keep one million inhabitants and which are indispensable to a fauna of worldwide importance is one open-ended question. How to build river infrastructure in Guinea or Mali without penalising countries downstream is another. These are two of the challenges facing authorities administering water in the Niger River. Addressing those questions will involve bold and creative choices. And the choices will have to lean on specific and valid information.

This paper shows that there is a considerable body of information about the river, but that this information is neither complete nor homogeneous. The river's hydrology is well known. How its ecosystems work is not. The only comprehensive survey of inland-delta vegetation, for example, is more than 20 years old. On another front, the notion of "environmental flows" is a recent concept in IWRM and warrants deeper analysis, bearing in mind that, in the case of the inland delta, it would have to focus more on "environmental water levels" if it is to help the ecosystem enjoy a healthy, stable future.

### **RECOMMENDATIONS**

The conclusions above lead us to make the following recommendations on three key areas.

#### **First recommendation: consolidate scientific knowledge**

Efforts to acquire scientific information about the river basin have to continue. In particular, this involves clearing and updating information about the following:

- developments in the state of the basin surface, as changes could alter the link between rainfall and flow rates;

- the Niger River valley's ecosystems, their structure and the processes underlying them. These ecosystems are evolving constantly, in particular due to pressure from usage. Existing surveys, in some cases, are incomplete or obsolete;

- production systems, which are evolving fast, in step with the ecosystems and Mali's society as a whole. There is considerable information about some of these systems (fishing, irrigated rice farming, etc.), but that information has to continue to evolve. In other cases, currently-available information is inaccurate or obsolete (information about livestock farming in the inland delta or rain-fed rice farming, for example);

- water uses across the basin will have to be listed, analysed and, especially, better quantified (including details on their seasonal variations). There is a fair amount of information about how much water major users such as the *Office du Niger* divert. But there is a lot less information about how much the smaller users (village irrigation areas) peppered across the valley use. Taken in isolation, these small diversions do not seem to have a noticeable effect on the river's flow. But their compounded effect can no longer be neglected;

- lastly, efforts to research and develop information systems and models, and circulate those systems' and models' findings to management organisations, need to move ahead. Information systems should simulate scenarios to support decision-making processes. There should be three distinct models: a hydraulic model covering the entire river (to run current plans though impact assessments) a water-usage model (representing and integrating all requirements and associated impacts), and local models interfacing with the above and tailored around specific issues.

### **Second recommendation: push ahead with developments in the institutional framework**

As most of its neighbours, Mali has embarked on far-reaching institutional reform. On the one hand, decentralisation has reshaped the country's territorial, administrative and political organisation. On the other, IWRM has also changed its approach to water governance. Mali has adapted its institutions, but the changes are arguably still underway or not yet entirely effective. We believe two points warrant special attention:

- clarifying the relationships between organisations in charge of administering water in national and international spheres. On this front, we can hope that reviving NBA will revive cooperation between national organisations (which must not be divested of their roles) and international cooperation (which needs to assume a clear federating and arbitrating role as required);

- we also believe that society as a whole (through elected or association representatives) should have more of a say in decisions about how to use water and in the strategic choices that will shape the country's and its people's future for years to come.

### **Third recommendation: a contribution to balanced strategic choices**

The Niger River's upstream and middle reaches are still relatively undeveloped. Existing infrastructure brings undeniable benefits. But it has also cast light on real issues (even if the consequences are still limited). The river's situation is not yet compromised, and surveys show ample room to manoeuvre and open up a wide variety of strategic options for the future.

To protect the river's major balance, it is no longer possible to consider sector-specific plans independently. Doing so could be tantamount to taking the risk of achieving limited benefits in local areas while compounding disadvantages across the entire basin.

Developing water use and river infrastructure of course seem necessary. But this can only be done in a global and integrated manner, weighing the expected benefits and the possible interaction with other uses and the river's environment as a whole.

This is obvious in the case of river infrastructure on a regional level. So, if we consider the large dams that are currently on the plans (and often have been for many years), we can only understand and gauge their impact properly by studying them together, taking into account all the interactions that might be generated by the different management decisions made when running them. In particular, the effects on the inland delta warrant serious analysis. As indeed does the possibility of guaranteeing an "environmental water level", especially during the high-water stage<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> One possible option would be a downstream dam (Taoussa maybe) to compensate the negative impact of upstream ones, provided it does not, in turn, penalise users further downstream (in Niger and Nigeria, especially).

Such an approach is obviously fairly difficult and complex to implement. It can therefore only be considered in an international context. It could contribute to reviving NBA and dispel the reservations that some funding agencies have voiced since World commission on dams report (WCD, 2000).

On a national scale, the big options need to be fine-tuned. All observers agree on the need to push ahead with efforts to develop power generation and farming production. However, giving rice priority, for example, involves providing for the fact that producing 1 kg of rice on an irrigated paddy will require 5 m<sup>2</sup> of water (in the best of cases). This options seems costly. Rice, however, is only one of the options: other options use water more efficiently when it is scarce. Moreover, within the rice sector, if the extension of the *Office du Niger* (a major water user) seems desirable from certain stand-points, it is not the only option. Further developing other rice-farming systems – from rain-fed rice in the south of the country to flood-fed rice in the inland delta – is also highly desirable.

Strategic decisions will shape the Niger River's long-term future. Often irreversibly. That is why every possible scenario has to be considered and studied beforehand. This makes developing and installing the simulation models discussed above all the more urgent: these models will be able to help decision-makers choose the development options that provide the best possible compromise, with clear and full knowledge of the facts.

# Bibliography

ALPHA A., AIT-SSI L., BANTON O., MARIKO A., TRAORÉ A. Z., VILLENEUVE J.-P., 1991 – *Hydrogéologie et contamination de la nappe phréatique alimentant la ville de Bamako (Mali)*. Bamako, Rapport ENI, INRS-Eau.

BAUMANN E., FAY C., KASSIBO B., 1994 –  
« Systèmes de pêche et stratégies globales ». In Quensière J. (éd.) : 401-406.

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

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

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

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

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

COULIBALY S., DICKO F., TRAORÉ S. M., SIDIBÉ O., SEROUSSI M., BARRÈRE B., 1996 –  
*Enquête démographique et de santé Mali 1995-1996*. Bamako, Direction nationale de la statistique et de l'informatique, 375 p.

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

- DAGET J., BA A. H., 1955 –  
L'empire peul du Macina. *Etudes soudanaises*, 3. Bamako, Ifan 306 p.
- D'AMATO N., LEBEL T., 1998 –  
On the characteristics of the rainfall events in the Sahel with a view to the analysis of climatic variability. *International Journal of Climatology*, 18: 955-974.
- DUCROT R., ZASLAVSKY J., MAGASSA H., 2002 –  
« Dynamismes et contraintes du développement de la petite irrigation : cas du delta intérieur du Niger au Mali ». In Orange D., Arfi R., Kuper M., Morand P., Poncet Y. (éd.) : 621-638.
- ENP (Étude nationale prospective) « Mali 2025 », 2003 –  
Rapport.
- EQUANIS, 1997 –  
*Environnement et qualité des apports du Niger au Sahel*. Programme sur l'environnement de la géosphère intertropicale (Pegi), INSU-CNRS-Orstom, Opération « Grands bassins fluviaux », 1992-1997, IRD, Paris.
- FAOSTAT, 2004 –  
Base de données en ligne (<http://www.fao.org/faostat>)
- FAY C., 1989 –  
Systèmes halieutiques et espaces de pouvoir : transformation des droits et des pratiques de pêche dans le delta central du Niger (Mali), 1920-1980. *Cah. Sci. Hum*, 25 (1-2) : 213-236.
- GALLAIS J., 1967 –  
*Le delta intérieur du Niger*. Dakar, Ifan, 612 p.
- GEPIS (Groupe d'experts des plaines d'inondation sahéliennes), 2000 –  
*Vers une gestion durable des plaines d'inondation sahéliennes*. Gland (Suisse)/Cambridge (Royaume-Uni), UICN, 214 p.
- GHENIS, 2001 – *Gestion hydrologique et environnementale du Niger supérieur*. Direction nationale de l'hydraulique et de l'eau (DNHE), projet Delft Hydraulics, Bamako, 2000-2002.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

NIARÉ T., 1994 –  
« Croissance des poissons ». In Quensièrre J. (éd.) : 229-236.

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

ORANGE D., ARFI R., KUPER M., MORAND P., PONCET Y. (éd.), 2002 –  
*Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*. Séminaire international, 20-23 juin 2000 (Bamako-Mali). Paris, IRD, coll. Colloques et séminaires, 987 p.

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

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

PICOUET C., DUPRÉ B., ORANGE D., VALLADON M., 2002 –  
Major trace element geochemistry in the upper Niger river (Mali): physical and chemical weathering rates and CO<sup>2</sup> consumption. *Chemical Geology*, 185: 93-124.

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

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

QUENSIÈRE J., BÉNECH V., DANSOKO D., 1994 –  
« Évolution de la composition des peuplements de poissons ». In Quensièrre J. (éd.) : 105-122.

SAMÉ-EKOBO A., FONDJO E., EOUZAN J.P. (éd.), 2001 –  
*Grands travaux et maladies à vecteurs au Cameroun*. Paris, IRD coll. Expertise collégiale, 2 volumes, 221 p. et 74 p.

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

TRÉBUIL G., HOSSAIN M., 2004 –  
*Le riz*. Paris, Belin, 265 p.

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

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

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

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

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

WYMENGA E., KONE B., VAN DER KAMP J., ZWARTS L., 2002 –  
*Delta intérieur du fleuve Niger*. Wageningen (Pays-Bas), Wetlands International, 240 p.

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

# Appendices



# Specifications for the expert group review

The six questions below provided this group review's framework. They were drawn up during a November 2002 meeting in Bamako, which was called to identify the needs of public-sector agencies in charge of administering the Niger River in Mali.

**Question 1** – What information, parameters and schemes will help us manage and share water resources in a fair, efficient and sustainable manner in line with the needs of the Niger River's users?

**Question 2** – What variables do we need to take into account to regulate the use of water in agricultural operations?

**Question 3** – What hard facts do we have about the river's flow and about medium-term and long-term environmental changes? What indicators do we need to monitor these changes?

**Question 4** – What can we do to better protect people and property from sharp flow variations? Can we provide measures to contain any possible catastrophes?

**Question 5** – How is the institutional and legal framework of the river's activity management evolving? Can we extract elements of diagnosis about the operation of this framework and its adaptation to development of local community responsibility?

**Question 6** – What sort of information system can we develop (taking into account currently-available tools and techniques as well as the information requirements stemming from the questions above)?

## The panel of experts

**JEAN-FRANÇOIS BÉLIÈRES**

Cirad  
BP 1813 – Bamako – Mali

**CHEIK CISSÉ**

Consulting legal expert  
Bamako - Mali

**LASSINE DIARRA**

IER - CRRA  
CRRA Sotuba  
BP 262 – Bamako – Mali

**ALMOUSTAPHA FOFANA**

DNH  
BP 66 – Bamako – Mali

**PIERRICK GIVONE**

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

**HOUSSEINI MAÏGA**

DNH  
BP 66 – Bamako – Mali

**JÉRÔME MARIE**

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

**PIERRE MORAND**

IRD – Dakar – US SIH  
BP 1386, CP 18528  
Dakar – Senegal

**MAMADOU KABIROU N'DIAYE**

IER  
BP 258 – Bamako – Mali

**HAMADY N'DJIM**

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

**DIDIER ORANGE**

IRD – Ambassade de France  
57 Tran Hung  
Dao Hanoi – Vietnam

**OUSMANE SY**

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

**PIERRE SIBIRI TRAORÉ**

Icrisat / IER  
BP 258 – Bamako – Mali



Cet ouvrage est imprimé  
sur papier certifié PEFC (Forêts gérées durablement)

**La collection  
« Expertise collégiale »  
propose des ouvrages  
destinés à aider  
les acteurs du  
développement dans  
leurs choix  
stratégiques. Chaque  
volume est rédigé par  
un groupe de  
chercheurs qui  
rassemble et  
synthétise les analyses  
scientifiques utiles  
pour répondre à des  
questions  
opérationnelles liées  
au développement des  
pays du Sud.  
(partie analytique jointe  
sur CD-ROM)**

Le fleuve Niger constitue un véritable poumon humide pour l'Afrique de l'Ouest et plus spécialement pour la république du Mali. Dans ce pays, la gestion du fleuve constitue un enjeu majeur car on y trouve à la fois de remarquables systèmes de production traditionnels associés au phénomène naturel de crue – sources de moyens d'existence pour des centaines de milliers de personnes — mais aussi de grandes réalisations et promesses en matière d'aménagements modernes, hydroélectriques et hydroagricoles. À l'heure où de nouveaux projets d'équipement arrivent à concrétisation et où d'autres sont annoncés, il est important de faire le point sur l'état de santé de ce fleuve et de peser ce qu'il représente pour ses multiples usagers.

Cette expertise collégiale, conduite par l'IRD et l'IER et réalisée avec le soutien de plusieurs institutions d'aide au développement et de défense de l'environnement, traite de ces différents aspects avec pour objectif, d'une part, la clarification des cadres institutionnels et des options de politiques publiques et, d'autre part, le renforcement des outils de suivi et d'aide à la décision.

*Niger river is truly the main source of life for Western Africa, more specifically for the Republic of Mali. In the country, management of the river is a key topic, as one can find at the same time, remarkable traditional production systems associated to the floods which supply hundreds thousands of people – but also great projects which promise modern installations, hydroelectrical and hydroagricultural systems. As new projects come to their end and others begin, it seems important to make a point regarding the health of the river and to evaluate what it represents for its diverse users, civil society or for the economy of Mali. This is the aim of this expert group review, acknowledged by the IRD and the IER, with the support of different development and nature protection institutes.*

*Complementarities as well as oppositions that appear from the interactions between the river's users are described. For the responsables in charge of those problems, different recommendations are made, aiming on one hand to clarify institutional frames and policy options, and on the other hand to reinforce management and decision making tools.*

**15 €**

ISSN 1633-9924 / ISBN : 978-2-7099-1632-5



Institut  
d'économie rurale  
(Mali)



Fonds européen  
de développement



Coopération  
technique allemande  
pour le développement



Union mondiale  
pour la nature



IRD : 213, rue La Fayette -75480 Paris cedex 10  
editions@paris.ird.fr      www.editions.ird.fr

Diffusion : IRD, 32, avenue Henri-Varagnat - 93143 Bondy cedex  
fax : 01 48 02 79 09      courriel : diffusion@bondy.ird.fr



9 782709 916325