

Le Niger, une artère vitale

Gestion efficace de l'eau dans le Bassin du Haut Niger

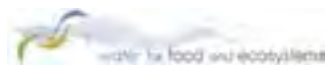
Leo Zwarts (RIZA), Pieter van Beukering (IVM),
Bakary Kone (Wetlands International), Eddy Wymenga (A&W)



Le Niger, une artère vitale

Cette étude multidisciplinaire a été réalisée dans le cadre du projet Interdépartemental des Partenaires Néerlandais du Programme "L'Eau pour l'alimentation et les Ecosystèmes" et le Programme PREM du Ministère Néerlandais de la Coopération Internationale. Ce projet a été exécuté pendant la période 2002-2004 en étroite collaboration avec les Autorités et Institutions Maliennes.

Cette étude a été financée par :



Les Partenaires de l'Eau – L'Eau pour l'alimentation et les Ecosystèmes



PREM – Ministère de la Coopération Internationale

Cette étude a été réalisée par :



RIZA – Rijkswaterstaat



Wetlands International



Altenburg & Wymenga
conseillers écologiques



Danube Delta National Institute (DDNI)



Direction Nationale de l'Hydraulique
(DNH)



Institute for Environmental studies

LE NIGER, UNE ARTÈRE VITALE

Gestion efficace de l'eau dans le Bassin du Haut Niger

Éditeurs:

Leo Zwarts (RIZA)

Pieter van Beukering (IVM)

Bakary Kone (Wetlands International)

Eddy Wymenga (A&W)

- RIZA – Rijkswaterstaat, Lelystad, Pays-Bas
- Wetlands International (WIS), Sévaré, Mali
- Institute for Environmental studies (IVM), Amsterdam, Pays-Bas
- Altenburg & Wymenga conseillers écologiques (A&W), Veenwouden, Pays-Bas

Colofon

Leo ZWARTS
RIZA – Rijkswaterstaat
B.P. 17, 8200 AA, Lelystad, Pays-Bas
l.zwarts@riza.rws.minvenw.nl

Pieter VAN BEUKERING
Hasse GOOSEN
Institute for Environmental studies (IVM)
Boelelaan 1087, 1081 HV, Amsterdam, Pays-Bas
Pieter.van.Beukering@ivm.vu.nl

Bakary KONE
Mori DIALLO
Bouba FOFANA
Wetlands International
B.P. 97, Sévaré, Mali
Malipin@afribone.net.ml

Eddy WYMENGA
Jan VAN DER KAMP
Altenburg & Wymenga ecological consultants (A&W)
B.P. 32, 9269 ZR Veenwouden, Pays-Bas
e.wymenga@altwym.nl

Navon CISSE
Direction Nationale de l'Hydraulique
B.P. 66, Bamako, Mali
dnhe@afribone.net.ml

Ion GRIGORAS
Jenica HANGANU
Danube Delta National Institute
Str. Babadag 165, 8800 Tulcea, Roumanie
grig@indd.tim.ro
hanganu@indd.tim.ro

Cartes, tableaux et figures: Franske Hoekema (A&W) et Leo Zwarts (RIZA)
Photos: Leo Zwarts (RIZA) à l'exception des pages 26, 73, 77 (Albert Beintema), 160 (Daan Bos), 181-209 (Jan van der Kamp), 216, 223 (Eddy Wymenga)
Dessins (oiseaux): Jos Zwarts
Mise en page: Beitske Sikkema
Imprimeur: Tienkamp & Verhey

Ce rapport pourrait être cité de la façon suivante:
Zwarts, L., P. van Beukering, B. Kone & E. Wymenga (eds.) 2005. Le Niger, une artère vitale. Gestion efficace de l'eau dans le Bassin du Haut Niger. RIZA, Lelystad / Wetlands International, Sévaré / Institute for Environmental studies (IVM), Amsterdam / A&W conseillers écologiques, Veenwouden. Mali / Pays-Bas.

Pour chacun des chapitres l'exemple suivant est préféré:
Wymenga, E., J. van der Kamp, B. Fofana & L. Zwarts 2005. Evaluation écologique du barrage et irrigation dans le Haut Niger. Pp. 211-223. In: Zwarts, L., P. van Beukering, B. Kone & E. Wymenga (eds.) 2005. Le Niger, une artère vitale. Gestion efficace de l'eau dans le Bassin du Haut Niger. RIZA, Lelystad / Wetlands International, Sévaré / Institute for Environmental studies (IVM), Amsterdam / A&W conseillers écologiques, Veenwouden. Mali / Pays-Bas.

ISBN 90-807150-7-7
Ce livre a été publié aussi en Anglais et intitulé 'The Niger, a lifeline. Effective water management in the Upper Niger Basin'. ISBN 90-807150-6-9
2005

© RIZA-Rijkswaterstaat / Wetlands International / Institute for Environmental studies (IVM) / A&W conseillers écologiques

TABLEAU DES MATIÈRES

Préface 7

1 Introduction 9

2 Hydrologie du Haut Niger 15

- 2.1 Introduction 15
- 2.2 Le régime hydrologique 16
- 2.3 Barrages, réservoirs et autres utilisateurs d'eau 23
- 2.4 Impact des activités humaines sur le débit du fleuve 32
- 2.5 Scénarios 38
- 2.6 Conclusions 39

3 L'inondation du Delta Intérieur du Niger 43

- 3.1 Introduction 43
- 3.2 Estimations disponibles concernant la superficie de la zone inondable 44
- 3.3 Méthodes de télédétection 46
- 3.4 Cartes hydrographiques 56
- 3.5 Modèle digital d'inondation 61
- 3.6 Impact de l'irrigation et des réservoirs 68
- 3.7 Statistiques annuelles relatives à l'inondation 73
- 3.8 Analyse de scénario relative à la zone inondable 76
- 3.9 Conclusions 77

4 Les populations du Delta Intérieur du Niger 79

- 4.1 Introduction 79
- 4.2 Évolution du système traditionnel 80
- 4.3 Évolutions démographiques dans le Delta Intérieur 81
- 4.4 Conclusions 86

5 Les pêches dans le Delta Intérieur du Niger 89

- 5.1 Introduction 89
- 5.2 Littérature existante sur les pêches dans le Delta 91
- 5.3 Estimation de la production et de la consommation de poisson 92
- 5.4 Estimations révisées 99
- 5.5 Fonction de production pour les captures dans les quatre scénarios 104
- 5.6 Conclusions 107

6 Végétation de la basse zone d'inondation du Delta Intérieur 109

- 6.1 Introduction 109
- 6.2 Quantification de la végétation 110
- 6.3 Résultats et discussions 115
- 6.4 Conclusions 119

7 Le cheptel dans le Delta Intérieur du Niger 121

- 7.1 Introduction 121
- 7.2 Le cheptel dans le Delta Intérieur du Niger 122
- 7.3 Facteurs expliquant les variations du cheptel 123
- 7.4 Cheptel et inondations 129
- 7.5 L'élevage selon quatre scénarios 132
- 7.6 Conclusions 135

8 Production rizicole dans le Delta Intérieur du Niger 137

- 8.1 Introduction 137
- 8.2 Production céréalière annuelle et précipitations 138
- 8.3 Contraintes à la production rizicole 140
- 8.4 Production annuelle de riz 145
- 8.5 Scénarios 150
- 8.6 Conclusions 152

9 Valeurs écologique du Delta Intérieur du Niger	155
9.1 Introduction	155
9.2 Les espèces et populations d'oiseaux d'eau et leur répartition	159
9.3 Facteurs déterminants de la taille des populations d'oiseaux d'eau	171
9.4 Autre valeurs écologiques importantes	175
9.5 Conclusions	177
10 Réservoir de Sélingué	179
10.1 Introduction	179
10.2 La zone	180
10.3 Production	182
10.4 Valeurs écologiques	184
10.5 Conclusions	187
11 Le périmètre irrigué de l'Office du Niger	189
11.1 Introduction	189
11.2 La zone	190
11.3 Production	196
11.4 Valeurs écologiques	199
11.5 Expansion future: perspectives et contraintes	203
11.6 Conclusions	208
12 Evaluation écologique des barrages et d'irrigation du Haut Niger	211
12.1 Introduction	211
12.2 Habitats humides naturels et artificiels	212
12.3 Impact sur les niveaux de populations	218
12.4 Conclusions	222
13 Analyse économique des barrages et d'irrigation du Haut Niger	225
13.1 Introduction	225
13.2 Méthodologie	226
13.3 Coûts et avantages directs des scénarios	231
13.4 Coûts et avantages indirects des scénarios	234
13.5 Analyse coûts-avantages	240
13.6 Conclusions	247

14 Résumé et conclusions	249
14.1 Introduction	249
14.2 Hydrologie	250
14.3 Écologie	253
14.4 Secteurs économique	255
14.5 Économie	258
14.6 Conclusions et recommandations	261

Références 263

Appendices 271

I Précipitations et débits dans les bassins versants de cinq affluents du Haut Niger	271
II Sélingué: Niveau d'eau, courant de déversement, courant de débordement et production d'électricité	273
III Consommation d'eau mensuelle de l'Office du Niger et débit fluvial pour les mêmes mois à Koulikoro	278
IV Débit et superficie en fonction du niveau d'eau dans huit zones de Delta Intérieur du Niger	279
V Delta Intérieur (niveau d'eau, zone d'inondation), débit fluvial (Niger et Bani) et l'utilisation de l'eau (Sélingué et Office du Niger)	281
VI Production halieutique	286
VII Le bétail dans les régions de Ségou, Mopti et Tombouctou	288
VIII Estimation de la densité et de la population totale des oiseaux d'eau dans le Delta Intérieur du Niger	289
IX Analyse coûts-avantages des barrages africains	300
X Valeur actualisée nette	302
XI Contexte de l'évaluation des zones humides	303
XII Liste des abréviations	304

Préface

L'eau, source de vie, est aussi une ressource unique pour plusieurs usages concurrents.

Ce faisant, la complexité de la gestion des bassins apparaît comme un défi au vu duquel la pertinence des décisions tant des Gouvernements que des Communautés concernées, constitue le meilleur gage de stabilité et de développement harmonieux.

Le Bassin du Fleuve Niger qui recouvre presque toutes les régions administratives et économiques, est pour le Mali ce qu'est le système du vaisseau sanguin pour le corps humain.

A cet effet, toute étude aidant à la compréhension d'un phénomène économique, social ou culturel dans cette aire géographique est considérée par le Gouvernement du Mali comme une contribution à l'édification nationale.

Dans ce contexte, le présent ouvrage qui décrit de façon détaillée la vie de certaines communautés du bassin intervient comme l'apport d'un Fils du Mali, à la gestion concertée de cette importante ressource.

Aussi, en ma qualité en charge de la gestion de l'eau, nous apprécions, cet apport de qualité comme une contribution à l'atteinte des objectifs et à l'examen des interactions entre l'écosystème et les activités socio-économiques dans le bassin du Fleuve du Niger.



1

INTRODUCTION



Leo Zwarts
Pieter van Beukering
Bakary Kone
Eddy Wymenga

La pénurie d'eau a été identifiée par le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNEU) comme l'un des problèmes les plus graves du nouveau millénaire. Cependant pour plusieurs décennies elle a été déjà un problème extrême à des millions de personnes vivant le long de la lisière méridionale du désert du Sahara. Pour les communautés qui vivent dans la zone semi-aride du Sahel occidental, les fleuves Sénégal et Niger constituent des sources de vie. En effet, le Mali constitue un cas concret dont l'économie est tributaire des fleuves. Ces derniers sont sujets à d'importantes variations saisonnières liées aux précipitations et aux débits du fleuve. Une solution populaire à cette dépendance du climat dans la zone du Sahel occidental a été la mise en œuvre de projets hydroélectriques et d'aménagement hydroagricole (Fig. 1.1).

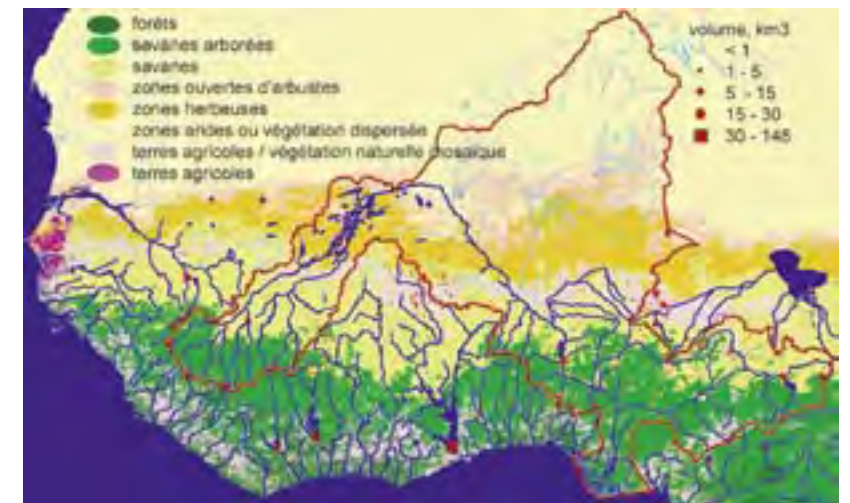


Fig. 1.1. Le bassin du Niger (trait rouge) et les barrages en Afrique de l'ouest (points rouges).

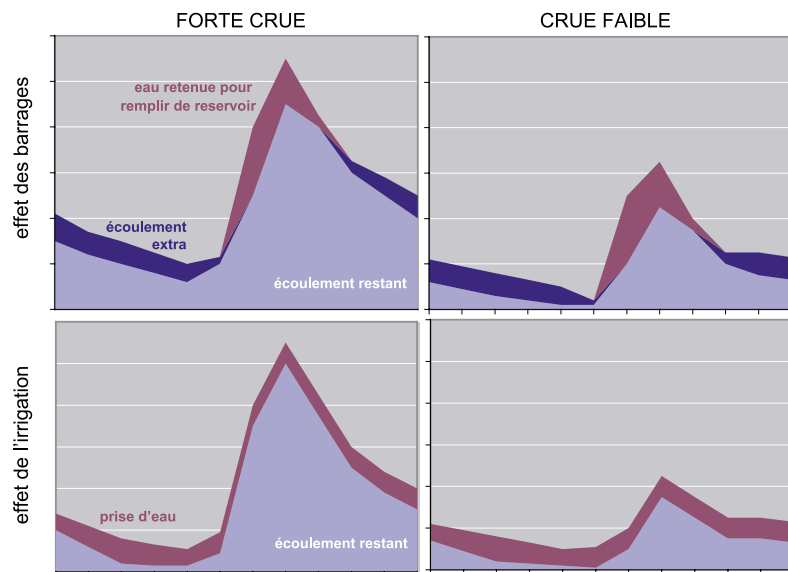


Fig. 1.2. Conséquences hydrologiques schématiques des barrages et du prélèvement d'eau aux fins d'irrigation pendant le cycle des crues au cours des années à fortes et faibles crues. La phase des crues dans la zone du Sahel Occidental couvre la période de juin à décembre. Les niveaux de crue les plus faibles interviennent de mars à mai.

Document du Cadre stratégique de lutte contre la pauvreté

Le Document du « Cadre Stratégie de Lutte contre la Pauvreté » (CSLP) du Mali constitue l'unique cadre pour les politiques de développement et les stratégies de réduction de la pauvreté du Mali (GoM 2002). Ce précieux document met en exergue la nécessité de mettre en valeur le potentiel hydroélectrique du pays, qui est estimé à environ 5 000 GWh/an. À ce jour, les coûts élevés tant des équipements énergétiques que des réseaux de distribution ont empêché le pays de mettre pleinement à profit ce potentiel. Le potentiel hydroagricole du Mali est également considérable – il est estimé à 2 millions d'hectares. Une revue du CSLP faite par l'Association pour le Développement International (IDA) et le Fonds Monétaire International (FMI), corrobore le constat, en indiquant que « la mise en valeur du potentiel hydrologique non exploité à des fins agricoles et pour l'eau potable constitue un besoin impérieux, dans la mesure où celle-ci permettrait de pallier directement les principales vulnérabilités du Mali, notamment la variabilité dans le temps et dans l'espace de la pluviométrie, ainsi que l'incertitude des conditions climatiques (IDA & FMI, 2003).

Bien que le potentiel hydroélectrique et hydroagricole du Mali soit encore sous-exploité, on se demande

d'une manière générale si les coûts et avantages de tels méga-investissements ont été dûment évalués. Outre la faisabilité économique (c'est-à-dire les coûts et avantages directs) de la construction de nouveaux barrages, est difficile de prédire quelles seront les conséquences indirectes des projets hydroélectriques et hydroagricoles sur les bénéficiaires des fleuves en aval. Au nombre de ceux-ci figurent les pêcheurs, les éleveurs, les sociétés de navigation et les agriculteurs, ainsi que la biodiversité du fleuve et des plaines inondables connexes.

Equilibre d'intérêts

Les interventions hydrologiques (c'est-à-dire les barrages et les systèmes d'irrigation) visent à renforcer l'indépendance économique et la sécurité alimentaire dans l'environnement instable du Sahel. L'exploitation du débit du Niger n'est, cependant, pas sans conséquences. La Fig. 1.2 montre comment l'irrigation absorbe une quantité fixe d'eau pendant l'année, tandis que les ouvrages hydroélectriques permettent de stocker l'eau lorsque l'inondation atteint son niveau de pointe et de la libérer par la suite. Les conséquences hydrologiques de ces deux facteurs sont ressenties plus durement en saison sèche et au cours des années de faibles crues. Cette situation s'explique en partie par le fait qu'un débit fluvial naturel situé dans la fourchette de 10 à 20

km³ varie d'une année à une autre selon un facteur de 2. Lorsqu'on déduit 5 km³, le débit en aval oscille entre 5 et 15 km³, en d'autres termes selon un facteur de 3. Cette instabilité croissante en aval entraîne-t-elle également une détérioration de la situation de la sécurité alimentaire?

Il convient d'assurer un équilibre entre les avantages et les inconvénients des ouvrages hydrologiques onéreux existants. Notre analyse, dans la présente étude, prend en compte les intérêts en aval. Les résultats en aval sont très difficiles à quantifier et partant souvent omis dans d'autres études similaires. La présente étude vise à mettre au point un outil d'aide à la prise de décision pour une gestion efficace du Haut Niger, au titre duquel les impacts et avantages écologiques et socioéconomiques des barrages et des systèmes d'irrigation pourraient être examinés à la lumière de différents scénarii de gestion de l'eau. Cette étude, qui a un caractère pluridisciplinaire, couvre les domaines de l'hydrologie, de l'écologie et de l'environnement. Les résultats provisoires de l'étude sont décrits dans le résumé analytique.



Fig. 1.3. Le bassin du Haut Niger avec trois barrages existants (Sélingué, Sotuba, Markala), et quatre à l'étude (Talo, Fomi, Djenné et Tossaye).



Portée de l'étude

Il convient de comparer minutieusement les avantages et inconvénients des ouvrages hydrologiques coûteux. Dans la présente étude, nous avons pris en compte les intérêts en aval dans notre analyse. Les effets en aval sont fondamentalement difficiles à quantifier et sont, par conséquent, omis souvent dans de telles études.

La présente étude vise à mettre au point un système d'aide à la décision pour une gestion efficace du Haut Niger, au titre duquel les impacts et avantages écologiques et socioéconomiques des barrages et des systèmes d'irrigation pourraient être examinés à la lumière de différents scénarios de gestion de l'eau. Cette étude, qui a un caractère pluridisciplinaire, couvre les domaines de l'hydrologie, de l'écologie et de l'environnement. Les résultats provisoires de l'étude ont été décrits dans le résumé analytique.

Afin d'évaluer l'impact des trois ouvrages artificiels dans la région du Haut Niger, quatre scénarii hypothétiques ont été simulés et analysés. Ils sont utilisés comme points de référence essentiels à travers la présente étude :

- Scénario 0 : Sans l'Office du Niger & Sélingué – Dans ce scénario, ni Sélingué ni l'Office du Niger n'existent dans le Haut Niger. Cette situation hypothétique sert de «référence», illustrant la situation hydrologique naturelle qui prévalait il y a plus de 50 ans ;

- Scénario 1 : Sans l'Office du Niger & avec Sélingué – Dans ce scénario, Sélingué existe toujours, mais l'Office du Niger n'existe pas ;
- Scénario 2 : Avec l'Office du Niger & Sélingué – Ce scénario reflète la situation actuelle où Sélingué et l'Office du Niger sont pleinement opérationnels dans le Haut Niger ;
- Scénario 3 : Avec l'Office du Niger, Sélingué et Fomi – Ce scénario reflète également la situation actuelle, mais prend en compte l'existence du futur barrage Fomi. Le principal objectif est d'évaluer l'impact de ce barrage dont la construction est prévue.

A ce stade, l'étude ne prend pas en compte trois autres barrages : Talo, Djenné et Tossaye (Fig. 1.3).

Approche du Cheminement de l'Impact

Afin de déterminer les coûts et avantages, un large éventail d'informations s'avère nécessaire. Une méthode systématique permettant d'organiser ces informations consiste à suivre la séquence des processus sous-jacents, depuis la cause d'un impact donné jusqu'aux conséquences sociales, économiques et écologiques, en passant par l'incidence physique. Ce qu'il est convenu d'appeler «l'Approche du Cheminement de l'Impact» est une méthodologie qui progresse de façon séquentielle à travers le cheminement, établissant un lien entre les causes et les effets, puis évaluant ces effets. Le cadre du cheminement de l'impact représente les processus physiques et socioéconomiques découlant de la gestion de l'eau dans le Haut Niger.

L'évaluation des conséquences physiques des barrages est possible, dans la mesure où la variation quotidienne du niveau d'eau et du débit fluvial ont été enregistrés dans différentes stations le long du Haut Niger pendant plusieurs décennies. En combinaison avec les données de la télédétection, ceci permet d'effectuer des analyses statistiques afin de révéler l'impact en aval des barrages et de l'irrigation. Ces mêmes données sont également prises en compte dans un modèle de l'équilibre hydrologique. Ces résultats permettent de faire des approximations des principales conséquences de chaque scénario sur les différentes catégories d'avantages et d'évaluer les changements pour de nombreuses parties prenantes (à savoir les agents aux niveaux local, national et international) et les organismes concernés (c'est-à-dire en amont et en aval).

Après avoir établi et calculé toute la gamme et l'importance des conséquences, les changements

sont évalués en termes monétaires. Les principaux cheminements de l'impact qui ont été étudiés concernent l'agriculture, la pêche, l'élevage, la biodiversité, l'approvisionnement en énergie et le transport.

Points saillants du rapport

L'Approche du Cheminement de l'Impact nécessite la collecte de nombreuses données relatives à plusieurs disciplines. A cet égard, l'étude peut être considérée comme véritablement pluridisciplinaire, comme en témoignent les points saillants du rapport (Fig. 1.3)

Le Chapitre 2 résume les informations hydrologiques disponibles sur les variations saisonnières et annuelles du débit fluvial et des précipitations. Il comprend un modèle qui simule le comportement du bassin du fleuve dans différentes conditions hydrologiques et avec différentes infrastructures, permettant ainsi d'évaluer un train de mesures concernant l'infrastructure. Les informations du Chapitre 2 ont été utilisées au Chapitre 3 afin de décrire l'impact des infrastructures sur les crues dans le Delta Intérieur du Niger. Les crues elles-mêmes sont décrites de façon détaillée à l'aide des techniques de télédétection.

Les six chapitres suivants décrivent la corrélation qui existe entre, d'une part, les crues du Delta Intérieur du Niger et, d'autre part, les populations (Chapitre 4), la pêche (Chapitre 5), la végétation (Chapitre 6), l'élevage (Chapitre 7), l'agriculture (Chapitre 8) et les valeurs écologiques (Chapitre 9). Les données recueillies permettent de mettre en évidence l'impact des infrastructures en amont.

Les deux chapitres suivants traitent des infrastructures existantes en amont. Ils décrivent l'importance économique et écologique du réservoir de Sélingué (Chapitre 10) et du périmètre irrigué de l'Office du Niger (Chapitre 11).

Toutes les informations contenues dans les Chapitres 9 à 11 sont mises en commun pour l'évaluation écologique de l'impact direct et indirect des infrastructures construites par l'homme (Chapitre 12). L'un des effets secondaires du réservoir d'hydroélectricité et des rizières irriguées concerne la création de zones humides artificielles. Dans le Chapitre 12, nous étudions le point de savoir si cet avantage suffit à compenser les pertes écologiques évidentes en aval.

Le Chapitre 13 analyse l'impact des infrastructures sur le transport et intègre toutes les informations contenues dans les chapitres précédents. Les valeurs monétaires

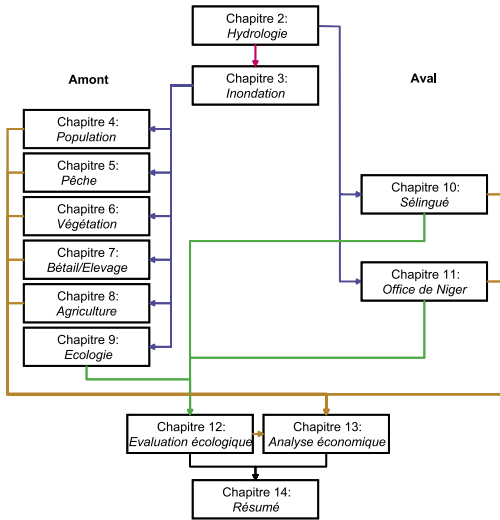


Fig. 1.4. Points saillants de l'étude

sont calculées et les valeurs économiques des barrages existants et prévus évaluées à l'aide d'informations financières, notamment l'investissement initial et les coûts d'entretien.

Le Chapitre 14 présente le résumé, les principales conclusions et un certain nombre de recommandations stratégiques.

Remerciements

Le programme Water & Ecosystems, financé par le programme interdépartemental Partners for Water des Pays-Bas a offert à RIZA l'opportunité d'exécuter une étude sur les possibilités qu'offre une gestion intégrée de l'eau du Haut Niger et de commanditer auprès de la DNH et de WL|Delft Hydraulics la mise au point d'un modèle de l'équilibre hydrologique du Haut Niger, et de Wetlands International et Altenburg & Wymenga l'analyse des avantages et pertes écologiques des infrastructures construites par l'homme.

Food for Water, un autre programme de Partners for Water, a permis à Wetlands International d'étudier le problème de la sécurité alimentaire dans le bassin du Haut Niger, de concert avec différentes organisations maliennes. La valeur ajoutée du programme PREM du Ministère Néerlandais de la Coopération Internationale a été l'examen plus détaillé de ces aspects socioécono-

miques par IVM. Depuis le départ, nous avons travaillé en étroite collaboration, et il est apparu très rapidement que nous serions appelés à publier un rapport final conjoint.

Vincent van de Berk (LNV) est l'initiateur des deux projets de Partners for Water et a été, dès le départ, notre source de stimulation. Nous sommes également reconnaissants à Andrea Almasi (LNV), Albert Beintema (Alterra), Hans Drost, Bart Fokkens et Willem Oosterberg de RIZA, Nicoline van den Heuvel et Gerard van der Kolff de Partners for Water. Nous nous félicitons également de l'assistance apportée par l'Ambassade des Pays-Bas à Bamako et le Direction Nationale de la Conservation (DNCN) et Direction Régionale de la Conservation de la Nature de Mopti (DRCN). Par ailleurs, nous remercions Annemiek Roeling (RIZA) et trois étudiants en Maîtrise en gestion des ressources environnementales (ERM), Ernst Eisma, Kim van der Leeuw et Elena Sultanian, de leur assistance pendant les recherches et les analyses des données. Nous sommes très reconnaissant aux personnes suivantes: Anabelle Aish (Chapitre 1, 14), Luke Brander (Chapitre 13), Daan Bos (Chapitre 12) et Rob Bijlsma (Chapitres 2-10, appendix 8) pour la lecture et édition de ces différents chapitres du livre.

Pendant l'étude, nous avons travaillé étroitement avec la Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH), l'Opération Pêche Mopti (OPM), l'Office du Niger (ON) et l'Office de développement rural de Sélingué (ODRS). Cette étude repose essentiellement sur les données fournies par ces institutions. De nombreuses données ont été tirées également des rapports annuels et des autres jeux de données des autorités maliennes suivantes: CPS-MDR, DGE, DRAMR, EDM, IER, ORM, ORS; voir Appendice 12 pour leurs noms complets. Nous les remercions de leur assistance et espérons que cette étude sera le début d'une fructueuse coopération à l'avenir.

2

HYDROLOGIE DU HAUT NIGER

Leo Zwarts
Navon Cissé
Mori Diallo

2.1

Introduction

La Grande Sécheresse du début des années 80 a été une grande catastrophe pour les populations du Sahel. La pluviométrie était faible, mais la baisse du débit du fleuve était plus marquée. Beaucoup de Maliens étaient convaincus que le barrage de Sélingué, qui a été construit au cours de la même période, était à l'origine de la baisse drastique du débit du fleuve Niger. Les écologistes ont utilisé le même argument dans les débats internationaux sur les barrages. En revanche, les hydrologues ont estimé qu'il était impossible qu'un réservoir de taille relativement modeste puisse avoir un impact aussi significatif. La question demeure de savoir qui avait raison.

Le débit du fleuve Niger au Mali varie considérablement. Les causes de ces fluctuations sont à la fois naturelles et humaines. Le but du présent chapitre consiste à mettre au point un modèle de simulation de l'hydrologie du Haut Niger afin de mesurer les variations naturelles, ainsi que l'impact des ouvrages construits par l'homme. Le modèle hydrologique constitue le premier outil permettant d'expliquer l'impact écologique et économique global des barrages et réservoirs d'eau dans le Haut Niger.

Le chapitre est structuré comme suit: après l'introduction (Section 2.1), il explique le régime hydrologique en tenant compte des effets climatiques, du rôle de la nappe phréatique, des variations saisonnières du débit du fleuve et de la présence des réservoirs d'eau et des barrages dans le Haut Niger (Section 2.2). Ensuite, ce dernier aspect est étudié de manière plus approfondie en mettant un accent particulier sur Sélingué, le barrage de Markala, Sotuba et les structures prévues à Fomi, Tossaye, Talo et Djenné (Section 2.3). L'impact de l'homme sur le débit du fleuve est étudié à l'aide de l'approche du bilan hydrique et des analyses statistiques contenues dans la Section 2.4. Des scénarios d'analyse plus approfondie de l'impact des barrages dans le Haut Niger sont présentés et expliqués à la Section 2.5. Enfin, les principales leçons à tirer sont résumées à la Section 2.6.



2.2 Le régime hydrologique

vers le sud-est, traverse l'ouest du Niger et constitue une partie de la frontière internationale entre le Niger et le Bénin. Ensuite, le fleuve Niger entre au Nigeria et coule essentiellement vers le sud avant de se jeter dans l'Océan Atlantique à travers un vaste Delta (Fig. 2.1).

Les informations sur le bassin du Niger fournies par la FAO montrent que la majeure partie du bassin se trouve au Mali (25,5%) et au Niger (24,8%). Le Tableau 2.1 présente des informations générales sur la superficie du bassin et les différents pays qu'il couvre. La superficie du bassin en Guinée et en Côte d'Ivoire ne représente que 5,3% de sa superficie totale. Toutefois, étant donné que le fleuve Niger prend sa source dans ces deux pays, cette zone est vitale pour le bassin du fleuve. La quantité d'eau qui entre au Mali, en pro-

Le bassin du fleuve Niger est l'un des plus vastes du continent africain. Le fleuve a une longueur totale d'environ 4 200 kilomètres. Le bassin du Niger couvre 7,5% du continent et s'étend sur 10 pays. Le fleuve prend sa source en Guinée et entre au Mali par le nord-est de la Guinée. A l'est de Tombouctou, il décrit une courbe

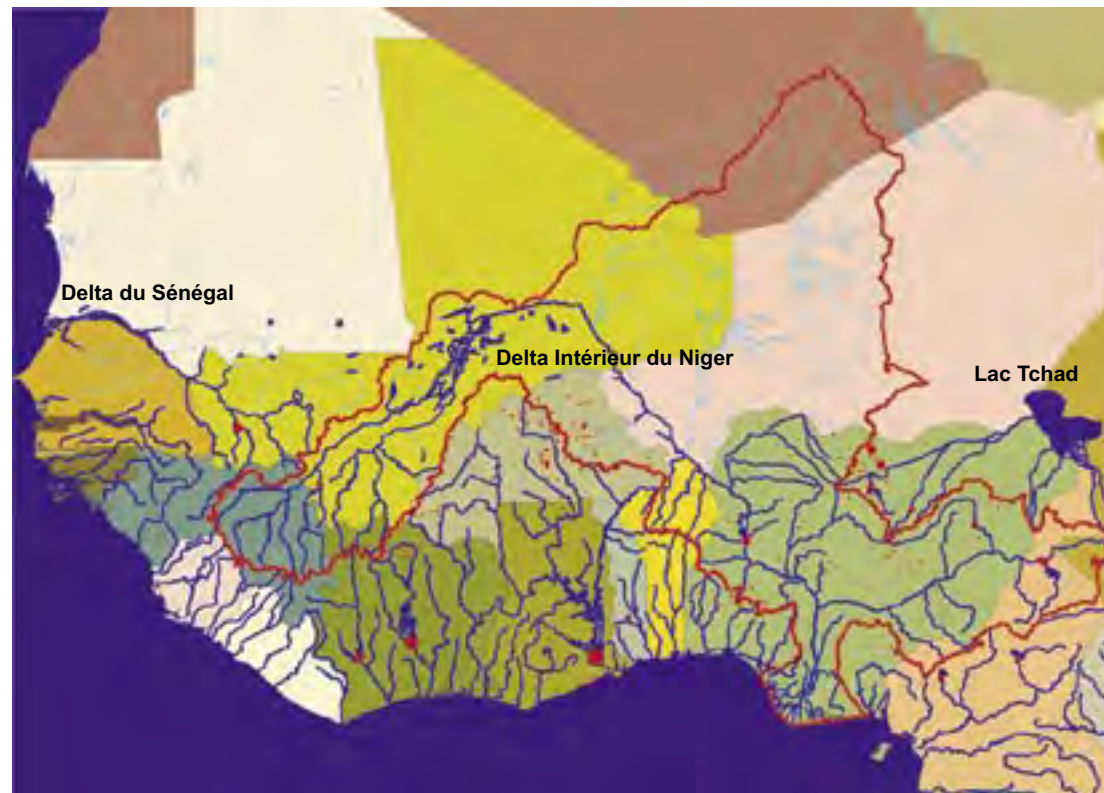


Fig. 2.1. Le bassin du Niger (trait rouge). Le Niger prend sa source en Guinée et en Côte d'Ivoire, traverse le Mali, le Niger et se jette dans l'Océan Atlantique au Nigeria. Le bassin du Niger couvre également l'Algérie, le Burkina Faso, le Bénin, le Chad et le Cameroun.



Tableau 2.1. Répartition de la superficie du bassin du Niger (2 273 946 km²) entre les 10 pays qu'il couvre. Ces chiffres sont comparés à la superficie des pays respectifs. La pluviométrie annuelle moyenne dans la zone du bassin est indiquée afin de donner une idée de la contribution de chaque pays au système fluvial. Source: FAO (site Internet).

Pays	Superficie totale du pays (km ²)	Dont située dans le Bassin du Niger (km ²)	En % du bassin total	En % de la superficie totale du pays	Moyenne de la pluviométrie annuelle dans le bassin (mm)		
					min.	max.	moyen
Guinée	245 857	96 880	4,3	39,4	1240	2180	1635
Côte d'Ivoire	322 462	23 770	1,0	7,4	1316	1615	1466
Mali	1 240 190	578 850	25,5	46,7	45	1500	440
Burkina Faso	274 000	76 621	3,4	28,0	370	1280	655
Algérie	2 381 740	193 449	8,5	8,1	0	140	20
Bénin	112 620	46 384	2,0	41,2	735	1255	1055
Niger	1 267 000	564 211	24,8	44,5	0	880	280
Tchad	1 284 000	20 339	0,9	1,6	865	1195	975
Cameroun	475 440	89 249	3,9	18,8	830	2365	1330
Nigeria	923 770	584 193	25,7	63,2	535	2845	1185
Bassin du Niger		2 273 946	100,0				

venance de la Guinée et de la Côte d'Ivoire (environ 40 km³/an) est, en fait, plus importante que celle qui entre au Nigeria depuis le Niger (36 km³/an), près de 1 800 km plus loin en aval. Cette baisse s'explique, notamment par la réduction importante du niveau de l'écoulement dans le Delta Intérieur au Mali, du fait de l'évaporation liée à l'absence d'écoulement sur la rive gauche au Mali et au Niger (région du Sahara).

Le fleuve Niger entre au Mali par le truchement de plusieurs affluents en provenance de la Guinée. Son principal affluent, le Bani, prend sa source en Côte d'Ivoire et dans le sud-ouest du Mali. Le bassin hydrographique total du Bani (129 000 km²) est presque aussi vaste que le reste du bassin du Haut Niger en amont du Delta Intérieur du Niger (147 000 km²).

La présente étude porte essentiellement sur

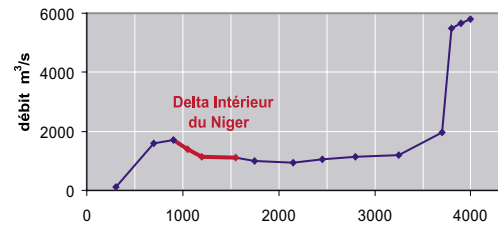


Fig. 2.2. Le débit moyen annuel du Niger en tant que fonction de la distance par rapport à sa source. Le Delta Intérieur (délimité par une ligne rouge) s'étend entre Ségou (900 km) et Tombouctou (1500 km).

l'hydrologie du Haut Niger. Par Haut Niger, on entend toute la zone du bassin, jusqu'au Delta Intérieur, y compris celui-ci. La surface totale inondée par ce Delta Intérieur, qui est constitué d'un ensemble d'affluents, de chenaux, de marécages et de lacs, peut atteindre 30 000 km² en période de crues. Comme l'indique la Fig. 2.2, après une augmentation rapide du débit, pouvant atteindre 1 000 m³/s à Koulikoro, suite à une pluviométrie abondante en Guinée, en Côte d'Ivoire et dans le sud-ouest du Mali, la traversée du Delta Intérieur se traduit par une baisse progressive du débit. Le fleuve

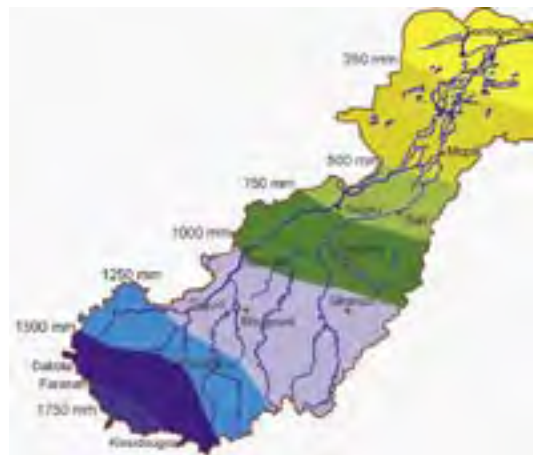


Fig. 2.3. Les précipitations annuelles (mm/an) dans le bassin du Haut Niger dans cinq zones différentes (Source: Quensière *et al.* 1994). Treize stations météorologiques sont indiquées par des points rouges.

perd une partie de son débit potentiel entre Ségou, située à 900 km de sa source, et Tombouctou, située à 1 500 km, en raison de la forte évaporation imputable à la chaleur du climat. L'apport d'eau du Bani, qui se jette dans le fleuve Niger à Mopti, à 1 150 km de sa source, ne compense pas les pertes subies dans le Delta Intérieur. Par la suite, sur un long parcours, aucun apport d'eau n'est pour ainsi dire enregistré et le débit demeure plutôt stable, jusqu'à la traversée d'une autre zone humide dans le cours inférieur du Niger peu avant que le fleuve ne se jette dans l'Océan Atlantique.

Au nombre des facteurs qui sous-tendent les variations considérables du débit du Haut Niger figurent :

- le climat
- la nappe phréatique
- les variations saisonnières
- les barrages et les réservoirs

Ces facteurs seront examinés dans les sous-sections ci-après.

Le climat

La pluviométrie annuelle dans la zone du Haut Niger oscille entre moins de 250 mm au nord-est et plus de 1 750 mm au sud-ouest (voir Fig. 2.3). D'une manière générale, le Mali a un climat semi-aride à aride et connaît une longue saison sèche (de décembre à mai). La saison des pluies dure 3 mois dans la zone semi-aride, 5 à 7 mois dans la zone soudanienne et 8 mois dans la zone guinéenne. Tel qu'indiqué à la Fig. 2.4, dans toutes les zones, la pluviométrie atteint son niveau le plus élevé en août. La Fig. 2.4 présente la pluviométrie mensuelle moyenne sur une période de 30 ans. La variation est importante d'une année à l'autre, en particulier dans la zone semi-aride. En raison de cette variation naturelle, le débit du fleuve est également sujet à des fluctuations importantes.

¹ De nombreuses études sont disponibles sur la variabilité de la pluviométrie au Sahel. Les données de toutes les stations météorologiques au monde sont recueillies par l'Organisation météorologique mondiale (OMM). Il existe plus d'une centaine de ces stations dans la zone du Sahel occidental. Plusieurs d'entre elles mesurent la pluviométrie depuis plus de cent ans. Étant donné que les données manquent de plus en plus dans ces longues séries de pluviométrie annuelle, les indices sont calculés en remplaçant les données manquantes par celles des stations voisines.

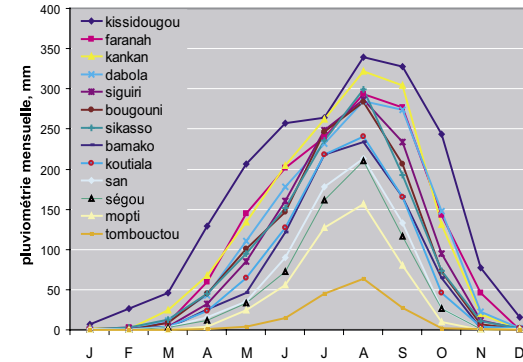


Fig. 2.4. Pluviométrie mensuelle moyenne (mm) pour la période 1961-1990 dans 13 sites, situés tous dans le bassin du Haut Niger (voir Fig. 2.3).

De longues séries de mesures de la pluviométrie sont disponibles pour le Delta Intérieur et ses environs.¹ La série la plus longue concerne Tombouctou où la hauteur de pluie est enregistrée depuis 1897. A comp-

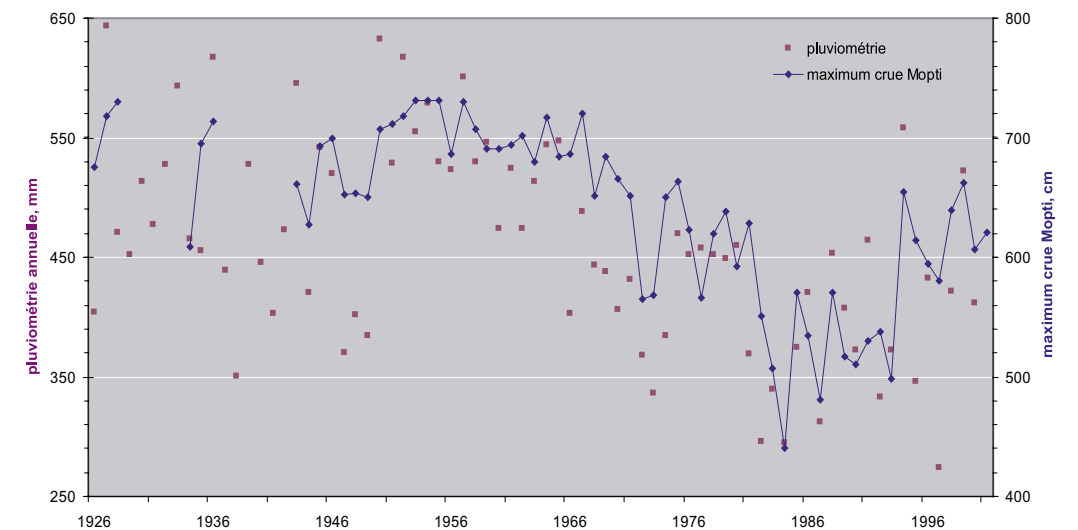


Fig. 2.5. Variations de la pluviométrie annuelle dans le Delta Intérieur et du niveau maximum de l'eau à Mopti (cm). Ces chiffres représentent la moyenne pluviométrique dans 11 stations: Bandiagara, Djenné, Gao, Goundam, Ké-Macina, Markala, Mopti, Niafunke, San, Ségou et Tombouctou.

ter de 1926, il existe des séries presque complètes pour Bandiagara, Djenné, Gao, Goundam, Ké-Macina, Markala, Mopti, Niafunke, San et Ségou. Dans le Delta Intérieur, la pluviométrie est mesurée dans dix-sept autres stations depuis 1981, par l'Institut d'Economie Rurale (IER), l'Opération Riz de Ségou (ORS) et l'Opération Riz de Mopti (ORM).

La Fig. 2.5 présente les variations de la pluviométrie dans onze stations, où la pluviométrie est enregistrée au moins depuis 1926. En outre, elle indique le niveau maximum de l'eau dans le Delta Intérieur, tel que mesuré à Mopti. Il n'existe pas de corrélation de cause à effet entre le niveau des crues dans le Delta Intérieur et la pluviométrie au niveau local, dans la mesure où le niveau des crues du Delta Intérieur est tributaire, dans une large mesure, du débit du Niger et du Bani. Toutefois, il est évident que des niveaux de crues élevés comme ceux enregistrés de 1950 à 1960, coïncident avec des pluies locales abondantes. A contrario, la pluviométrie était limitée au cours des années où le niveau des crues était faible (1980-1990).

La corrélation entre la pluviométrie au niveau local et le niveau des crues est mieux illustrée à la Fig. 2.6. Les deux séries indiquées à la Fig. 2.5 sont comparées sous forme de pointillés. Cette figure montre que le niveau des crues est, par définition, élevé lorsque la pluviométrie annuelle dépasse 500 mm. Quand les pluies ne sont pas assez abondantes, les niveaux de crues sont, en général, beaucoup plus faibles. Toutefois, les hauteurs de crues en saison sèche peuvent atteindre 200 cm.

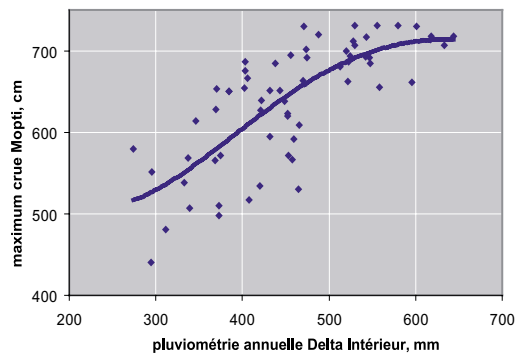


Fig. 2.6. Corrélation entre la pluviométrie au niveau local dans le Delta Intérieur et le niveau maximum de l'eau à Mopti

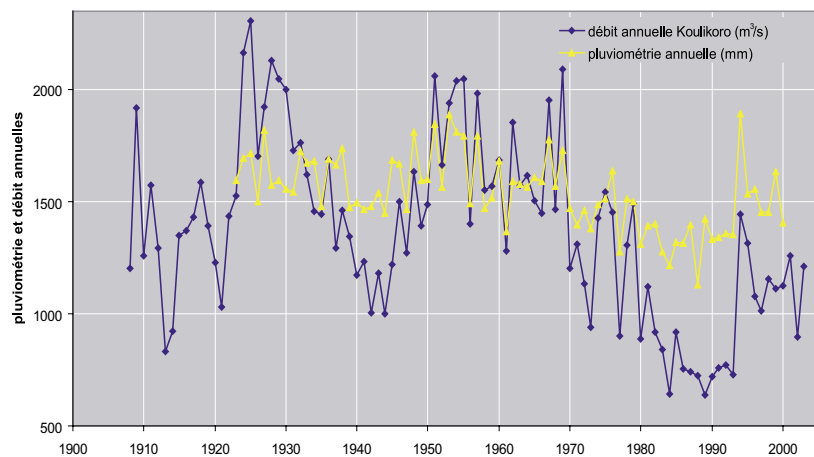


Fig. 2.7. Débit annuel du fleuve à Koulikoro (m^3/s), à 60 km en aval de Bamako et pluviométrie annuelle (mm/an) dans le bassin du Niger en amont de Bamako.

Nappes phréatiques

Outre la pluviométrie, les nappes phréatiques jouent un rôle primordial dans le niveau du débit du fleuve Niger. La Fig. 2.7 présente sur une longue période, le débit du fleuve à Koulikoro et la pluviométrie moyenne de sept stations météorologiques en amont: Dabola, Dinguiraye, Faranah, Kankan, Kouroussa, Kissidougou et Siguiiri (voir Fig. 2.3, pour la localisation de ces stations). Le débit du fleuve Niger est enregistré à Koulikoro depuis 1907. Le débit annuel le plus élevé du fleuve était de $2308 m^3/s$ (1925) et le plus faible de $637 m^3/s$ (1989). Les données pluviométriques sont recueillies dans différentes stations depuis 1922.

Cette figure montre clairement qu'il existe une corrélation entre la pluviométrie et le débit du fleuve à Koulikoro, bien que la variation du débit du fleuve soit plus importante que celle des précipitations. Le débit du fleuve est très faible après une série d'années de sécheresse (les années 40 et, en particulier, depuis 1970) et il est élevé après une période d'années pluvieuses (par exemple, au début des années 50). Selon Mahé et al. (1997), les informations susmentionnées tendent à montrer qu'un déficit pluviométrique se traduit par une baisse du niveau de la nappe souterraine, tel que confirmé par des études plus récentes portant sur le niveau de la nappe phréatique (Mahé et al. 2000).

L'impact du déficit pluviométrique sur la nappe phréatique n'est pas le même dans l'ensemble du Haut Niger. Mahé et al. (1997) ont étudié cette corrélation dans cinq sous-bassins différents du Haut Niger: Bani, Sankarani, Tinkisso, Milo et Niandan. La Fig. 2.8 présente un résumé de leur étude, ainsi que la moyenne annuelle du débit du fleuve et de la pluviométrie sur une période de 39 ans, y compris l'écart type, qui est présenté, du reste, sous forme de pourcentage par rapport à la moyenne. Dans l'ensemble des sous-bassins, l'écart type est plus élevé pour le débit du fleuve que pour la pluviométrie; néanmoins la différence entre le débit du fleuve et la pluviométrie est particulièrement importante pour le Bani. Ceci revient à dire que la réserve d'eau souterraine du bassin du Bani a un impact plus significatif sur le débit du fleuve que celle des autres sous-bassins. Si tel est le cas, on serait tenté de croire que le débit du fleuve est tributaire non seulement de la pluviométrie

des mois précédents, mais également de celle de l'année précédente, des deux années précédentes, etc.

Une analyse de régression multiple a été effectuée afin de savoir dans quelle mesure le débit du fleuve serait tributaire de la pluviométrie des années précédentes. Le débit du Bani est fonction de la pluviométrie des trois dernières années. Pour chaque mm de pluie supplémentaire enregistrée, le débit augmente de $1,1 m^3/s$ la même année. Indépendamment de la pluviométrie de la même année, le débit croît de $0,6 m^3/s$ pour chaque mm de pluie de l'année précédente. L'impact des pluies des deux années précédentes est encore plus significatif, soit une augmentation du débit de $0,4 m^3/s$. A la différence du Bani, la pluviométrie des années précédentes n'a pas d'impact sur le débit du Sankarani. Mahé et al. (1997) avancent que la réserve d'eau souterraine du sous-bassin du Sankarani est moins variable, du fait du barrage sur le Sankarani, pour lequel le réservoir de

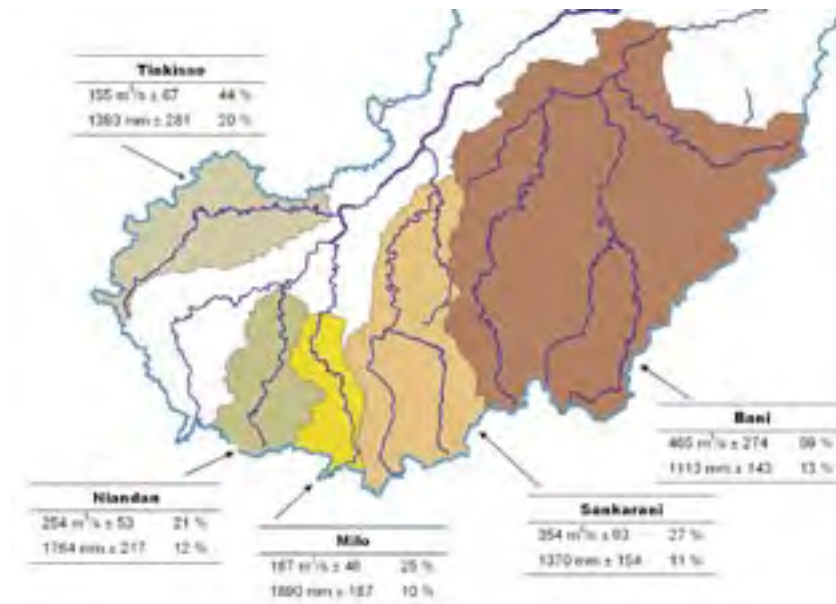


Fig. 2.8. Moyenne \pm écart type de la pluviométrie (mm/an) et débit du fleuve (m^3/s) dans cinq sous-bassins différents du Haut Niger. La colonne de droite indique l'écart type relatif (écart type sous forme de % de la moyenne). Source: Mahé et al. (1997).

Sélingué tient lieu, pour ainsi dire, de réservoir tampon. Les résultats de l'analyse de régression multiple sont présentés de façon plus détaillée à l'Annexe 1.

Variations saisonnières du débit du fleuve

Le débit du fleuve est sujet à d'importantes variations pendant l'année. Ceci s'explique par les variations saisonnières importantes de la pluviométrie (voir Fig. 2.9). En saison sèche, le débit du fleuve Niger ne représente qu'une fraction de son niveau maximum. La pluviométrie dans le Haut Niger atteint son point culminant en août, mais la décrue met du temps à intervenir. Le débit du fleuve à Koulikoro est à son niveau le plus élevé en septembre, tout comme à Douna sur le Bani. Etant donné que les eaux n'arrivent dans le Delta que quelques jours plus tard, la crue s'y produit également en septembre.

Le Delta Intérieur du fleuve Niger a une influence prépondérante sur la forme de la crue provenant du bassin supérieur en Guinée et du fleuve Bani. L'intumescence de crue a une durée initiale de 2 à 3 mois, mais celle-ci diminue en aval et a une durée de base d'environ 7 mois. Le régime hydrologique du Delta Intérieur est déterminé par la superficie de la zone inondable. Etant donné que le Delta Intérieur est très plat, une superficie plus grande est inondée en cas de fortes crues. Mais, plus la surface inondée est importante, plus l'évaporation est intense. Ainsi, la perte d'eau croît proportionnellement au niveau des crues. Une autre conséquence des fortes crues a trait à la durée de la période pendant laquelle l'eau reste dans le Delta Intérieur. La Fig. 2.9 compare le

débit de la crue avant et après son passage dans le Delta Intérieur pendant deux années extrêmes: une année de forte crue (1954/1955) et une année de faible crue (1984/1985).

Réservoirs et barrages

L'écoulement du fleuve Niger est contrôlé en partie par les barrages. C'est certainement le cas pour le Bas Niger, dans la mesure où de nombreux barrages ont été construits au Nigéria. Le barrage le plus important est celui de Kainji, dont le volume du réservoir atteint 15 km³. Par ailleurs, dans le Haut Niger, il existe un certain nombre de barrages qui affectent le débit du fleuve Niger. De plus amples informations sur les barrages existants et prévus sont fournies dans la section suivante.

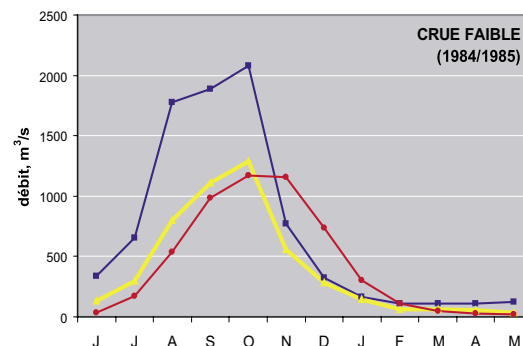
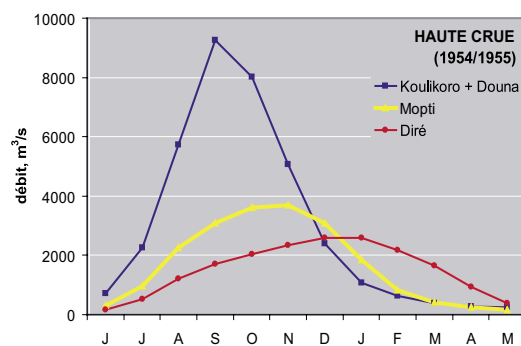


Fig. 2.9. Débit mensuel combiné du fleuve Niger (Koulikoro) et du Bani (Douna) comparé au débit à Mopti dans le sud du Delta Intérieur et à Diré dans le nord-est du Delta Intérieur.

2.3 Barrages, réservoirs et autres utilisateurs d'eau



Le Haut Niger compte actuellement trois barrages, et il est prévu d'en construire quatre autres (Voir Tableau 2.2). Le barrage de Sélingué sur le Sankarani est utilisé à des fins hydroélectriques depuis 1982. Le réservoir a un volume total de 2,2 km³. Le barrage de Sotuba, qui fonctionne depuis 1929, est une autre centrale hydroélectrique de taille modeste, située juste en aval de Bamako. En raison de son volume de stockage limité, le réservoir n'a pas un impact hydrologique majeur sur le bassin du fleuve Niger. Le barrage de Markala, mis en service en 1947, est un barrage de dérivation, juste en aval de Ségou. Il sert à irriguer la zone de l'Office du Niger. Outre les barrages existants, il est prévu de construire plusieurs barrages à Fomi, Talo, Djenné et Tossaye.

Sélingué

Le barrage de Sélingué est situé au Mali sur le Sankarani, un affluent du fleuve Niger, près de la frontière avec la Guinée. Il est utilisé essentiellement pour la production hydroélectrique, mais il permet également d'irriguer potentiellement environ 60 000 ha dans le cadre d'un système de double culture. A ce jour, 1 350 ha ont été irrigués. Quelques caractéristiques essentielles du barrage de Sélingué sont présentées au Tableau 2.2.

Tableau 2.2. Barrages existants et prévus dans le Haut Niger.

Nom du barrage	An	Type	Volume de stockage	Prélèvement et perte d'eau
barrages existants				
barrage de Sélingué	1982	electricité & irrigation	2,2 km ³	0,83 km ³
barrage de Sotuba	1929	electricité & irrigation	-	0,22 km ³
barrage de Markala	1947	irrigation	-	2,69 km ³
barrages prévus				
barrage de Fomi	Prévu	electricité	6,4 km ³	?
barrage de Talo	Prévu	irrigation	0,2 km ³	?
barrage de Djenné	Prévu	irrigation	0,4 km ³	?

Tableau 2.3. Principales caractéristiques du barrage de Sélingué

Caractéristique	Valeur
Superficie du réservoir	34,2 km ²
Longueur crête	2600 m
Hauteur	23 m
Volume total	2,1667 km ³
Volume effectif	1,9287 km ³
Stockage de longue durée	0,238 km ³
Débit théorique	3600 m ³ /s
Niveau minimum opérationnel	340 m
Niveau normal	349,0 m
Niveau bas exceptionnel	339,5 m

Le niveau d'eau du réservoir varie selon la saison (Fig. 2.9). Il est élevé de septembre à janvier, baisse progressivement de février à juin et remonte de juin à août. Le niveau d'eau ne varie pratiquement pas d'une année à une autre. Presque tous les ans, le niveau d'eau baisse d'environ 7 mètres entre février et juin. Deux événements se sont écartés de ce schéma annuel classique. Au cours des deux premières années qui ont suivi la mise en service du barrage, en l'occurrence 1982 et 1983, le niveau d'eau, de septembre à janvier, était inférieur d'un mètre au niveau moyen des années suivantes. En 1999, il avait baissé de 14 mètres, soit quatre mètres en-dessous du niveau le plus bas de la vanne.

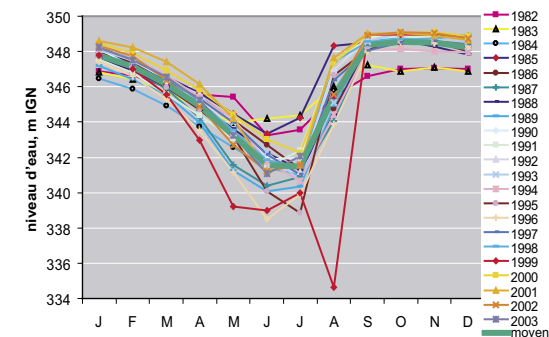


Fig. 2.10. Variations saisonnières du niveau d'eau (m IGN) du réservoir de Sélingué. Source: EDM.

Le Tableau 2.2.4 présente la corrélation entre la superficie et le volume du réservoir. La superficie du réservoir varie en fonction de la variation du niveau d'eau. Il convient de souligner que le réservoir est plein lorsque le niveau d'eau atteint le seuil de 349 mètres. Le niveau du stockage de longue durée, à savoir le niveau de la vanne la plus basse se situe autour de 338,5 mètres. La corrélation entre la superficie de l'eau et le volume est confirmée par des images satellitaires, qui montrent clairement la variation de la forme du Lac Sélingué en fonction de celle du niveau d'eau.

Tableau 2.4. Réservoir de Sélingué: Corrélation entre le niveau d'eau (m IGN), la superficie du réservoir et le volume.

Niveau (m)	Surface (km ²)	Volume (km ³)
338	0	0
341	110	0,08
342	132	0,20
343	165	0,36
344	201	0,58
345	250	0,76
346	300	1,05
347	340	1,38
348	390	1,67
349	450	2,14

Les variations du niveau d'eau du réservoir s'expliquent par la différence entre l'apport d'eau et l'écoulement. L'Annexe 2 présente les chiffres concernant l'apport d'eau et l'écoulement mensuels, à compter de janvier 1982. L'apport d'eau et l'écoulement mensuels moyens sont présentés à la Fig. 2.11. Il est à noter que le reflux et la variation du niveau d'eau sont actuellement mesurés par EDM, mais le flux a été estimé à partir de la variation du niveau d'eau dans le réservoir. Bien que le flux estimé soit faible entre novembre et juillet (Fig. 2.11), il semble probable que les valeurs pour ces mois soient encore très élevées. Des mesures actualisées ont besoin d'être effectuées en vue de la vérification d'une possible surestimation des flux pendant la saison sèche. Pour

l'instant nous utiliserons les données de flux comme enregistrées par EDM.

Il va sans dire qu'une partie de l'eau des crues sert à remplir le réservoir et que cette eau est lâchée en saison sèche. L'apport d'eau diminue en août et septembre de 61% et 36%, respectivement. En revanche, l'écoulement est 2,5 fois plus élevé que l'apport d'eau en février et avril et même 3,3 fois plus importante en mars.

Les données relatives à l'apport d'eau et à l'écoulement permettent de calculer la perte absolue

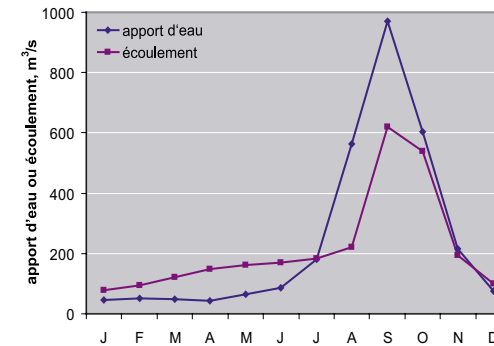


Fig. 2.11. Apport d'eau et écoulement mensuels moyens au niveau du réservoir de Sélingué pour la période 1982-2003. Source: EDM.

en eau du réservoir. La Fig. 2.12 montre à quel point l'apport d'eau est supérieur à l'écoulement, d'août à octobre, car le réservoir est plein. L'apport d'eau net au cours de cette période atteint 2,04 km³. Pendant le reste de l'année, l'écoulement dépasse l'apport d'eau, du fait de la libération progressive de l'eau du réservoir. Ceci se traduit par un écoulement net de 1,21 km³. Sur toute l'année, le réservoir enregistre une perte d'eau de 0,83 km³ (soit 2,04 km³ moins 1,21 km³). L'apport d'eau moyen pour la période 1982-2002 était de 7,76 km³/an et l'écoulement moyen de 6,93 km³. Une perte d'eau moyenne de 0,83 km³ équivaut à 10,7% du débit annuel du Sankarani. Cette perte d'eau s'explique par plusieurs facteurs. Tout d'abord, Hassane et al. (2000) ont estimé que la perte annuelle d'eau due à l'évaporation au niveau du réservoir est de 0,569 km³, ce qui équivaut, à peu près, à un quart de son volume

total. Ensuite, tel que déjà avancé par Mahé et al. (1997), une partie de l'eau servirait à l'alimentation de la nappe phréatique.

La Fig. 2.13 présente les variations saisonnières de l'apport d'eau et de l'écoulement sur la base des moyennes d'une période de 21 ans. Les niveaux de l'apport d'eau et de l'écoulement varient considérablement au fil du temps. L'apport d'eau le plus faible (4,50 km³) a été enregistré en 1988 et le plus élevé en 2001 (12,80 km³). Chaque année, la quantité d'eau qui sort est

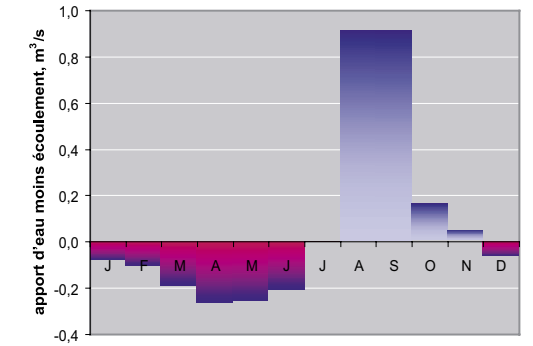


Fig. 2.12. Différence en m³/s entre l'apport et l'écoulement mensuels au niveau du réservoir de Sélingué (moyenne pour la période 1982-2003). Source: EDM.

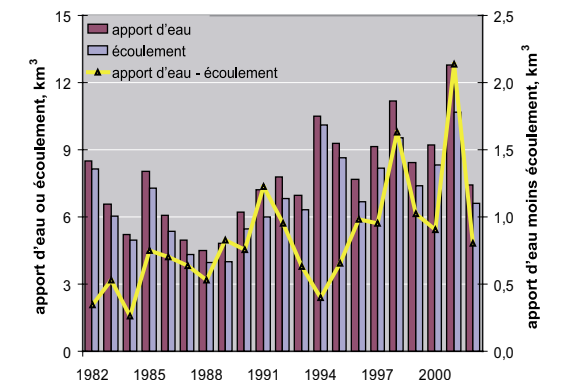


Fig. 2.13. Apport d'eau et écoulement annuels au niveau du réservoir de Sélingué (km³, échelle de gauche) et différence entre les deux: la perte d'eau (km³, échelle de droite). Source: EDM.

moins importante que l'apport d'eau. Cependant, la différence entre l'apport d'eau et l'écoulement, à savoir la perte d'eau, n'a qu'une faible corrélation avec le débit du fleuve. De la Fig. 2.13, il ressort que les pertes d'eau de ces dernières années dépassent celles des années 80. Ceci tient au changement progressif intervenu au niveau de la gestion de l'eau du réservoir, en vertu de laquelle la production d'électricité est, à présent, deux fois plus élevée qu'il y a 20 ans. (Appendice 2).

Une autre explication plausible de l'accroissement des pertes d'eau a trait à la demande croissante d'eau d'irrigation. La zone irriguée proche du barrage de Sélingué reçoit l'eau du réservoir par le truchement d'une vanne. Néanmoins, la superficie irriguée, à ce jour, n'a jamais dépassé 1 350 ha. Par conséquent, l'eau d'irrigation ne représente, en moyenne, que 1,07 m³/s, soit 0,44% seulement du débit total du Sankarani. Toutefois, il est prévu d'étendre la superficie irriguée.

Barrage de Markala

Le barrage de Markala a été construit sur le Niger entre 1937 et 1945, à environ 40 km au nord-nord-est de Ségou. Il est géré par l'Office du Niger. Dans le cadre

Barrage de Markala



de la planification initiale, le barrage devait permettre l'irrigation de 9 600 km², dont 5 100 pour le coton et 4 600 pour le riz. À ce jour, seule une infime partie de cette superficie est irriguée. La superficie affectée à la riziculture irriguée a atteint près de 350 km² au cours de la période 1978-1985. De 1985 à 2003, la superficie des rizières irriguées a augmenté progressivement pour atteindre 567 km². À l'heure actuelle, la superficie totale irriguée est estimée à 740 km². L'Office du Niger nourrit encore l'ambition d'étendre de façon substantielle cette superficie irriguée (Keita et al. 2002).

Le barrage de Markala est un déversoir d'une largeur de 2 450 m. Il permet de créer en quelque sorte un réservoir dans la vallée naturelle du fleuve. L'impact hydrologique du barrage de Markala est limité. Ceci s'explique par la faible variation du niveau d'eau et par l'absence d'un important réservoir de stockage. L'eau est stockée uniquement dans le lit principal du fleuve et canalisée par des digues. Des images satellitaires montrent clairement qu'en amont du barrage, le fleuve est large de plusieurs kilomètres, alors qu'en aval, le lit du fleuve mesure moins d'un kilomètre.

L'impact de la prise d'eau du barrage de Markala varie considérablement au cours de l'année. La Fig. 2.14 présente la variation de la prise d'eau de l'Office du Niger. Les mesures de prise d'eau mensuelles effectuées depuis 1987 figurent à l'Annexe 3. D'août à novembre, près de 100 m³/s sont prélevés sur le fleuve. De décembre à avril, ce prélèvement tombe à environ 60 m³/s. Toutefois, le débit mensuel moyen du fleuve varie naturellement de 3 200 m³/s en septembre à seulement 100 m³/s en mars. Ainsi, la quantité d'eau utilisée par rapport au volume d'eau disponible est relativement faible, d'août à novembre, mais devient extrêmement élevée, de mars à juin. Au cours de cette dernière période, la moitié de l'eau du fleuve est détournée vers les périmètres irrigués.

La Fig. 2.14 montre également qu'il n'existe pas de tendance claire en ce qui concerne la prise d'eau au cours des 15 dernières années. La prise d'eau totale aux fins d'irrigation a oscillé entre 2,50 km³, en 1994, et 2,85 km³, en 1999, la moyenne étant de 2,69 km³ par an. L'extension récente de la superficie irriguée ne s'est pas traduite par aucune utilisation supplémentaire de l'eau. Ceci tient au fait que l'Office du Niger est toujours en mesure de respecter sa norme de 2,4 l/s par ha (Keita et al. 2002).

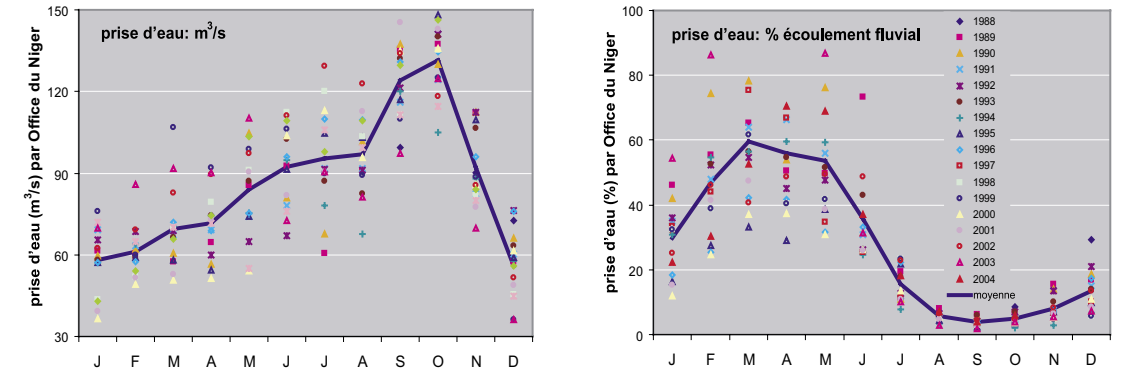


Fig. 2.14. Prise d'eau mensuelle de l'Office du Niger au niveau du barrage de Markala, depuis 1989 (graphique de gauche) et Prise d'eau mensuelle en % du débit du fleuve à Koulikoro pour le même mois (graphique de droite).

Sotuba

En aval de Bamako, une centrale hydroélectrique de très faible capacité est installée sur le fleuve Niger, à Sotuba. Le barrage a été construit en 1929, mais la centrale hydroélectrique située au fil de l'eau est opérationnelle depuis 1960. Elle a une capacité de 5,2 MW. La charge théorique entre la prise d'eau et l'écoulement est estimée à 4 mètres. La centrale peut fonctionner avec un débit maximum de 60 m³/s et continuer à tourner lorsque le fleuve est à un débit minimum de 95 m³/s. L'ouvrage lui-même ne présente aucun intérêt pour la présente étude, car son volume de stockage n'est pas important et n'a, par conséquent, pas d'impact sur l'hydrologie du fleuve Niger. Toutefois, le canal qui alimente la centrale fournit également de l'eau à un canal d'irrigation d'un débit d'environ 10 m³/s avec un niveau minimum du fleuve de 316 mètres IGN. Néanmoins, en raison de la production d'énergie, la quantité maximum d'eau détournée aux fins d'irrigation est de 6,37 m³/s. Cette eau sert à irriguer la zone de Baguinéda (3500 ha). Selon Hassane et al. (2000), la prise d'eau moyenne est de 0,215 km³ par an.

Fomi (prévu)

À l'heure actuelle, on envisage sérieusement de construire le réservoir de Fomi. Il est prévu de construire le réservoir sur l'affluent Niandan, qui arrive de la Guinée (voir Fig. 2.8). L'objectif est de produire de l'énergie hydroélectrique, tout en permettant l'irrigation et le contrôle du débit; il est prévu qu'il retienne près de



Barrage de Sotuba

trois fois plus d'eau que le lac Sélingué (voir Tableau 2.2.5). Le réservoir de Fomi sera 2,5 fois plus profond que ce dernier.

Tableau 2.5. Réservoir de Fomi: corrélation entre le niveau d'eau (m IGN), la superficie du réservoir et le volume. Le réservoir est plein à un niveau de 390,5 m. Le niveau du stockage de longue durée (niveau de la vanne la plus basse) est supérieur à 380 m.

Niveau (m)	Surface (km ²)	Volume (km ³)
351	0	0,00
360	100	1,00
370	200	1,80
380	450	2,46
390,5	507	6,16

Talo et Djenné (prévus)

La construction du barrage de Talo est à l'étude depuis longtemps. Il sera situé sur le Bani, à 40 km en aval de Douna, au nord-est de Bla, à mi-chemin entre Ségou et San. Il sera utilisé essentiellement à des fins d'irrigation. Bien que le réservoir prévu soit de taille plutôt modeste (Tableau 2.2.6), d'intenses discussions se poursuivent au sujet de ce barrage. Les populations riveraines du Bani et celles vivant en aval du barrage redoutent l'impact négatif du détournement de l'eau, d'où l'idée de réaliser le projet de «réservoir de Djenné», dans les régions du cours inférieur de l'affluent Bani, en amont du Delta Intérieur. Toutefois, aucune information officielle n'est disponible sur ces projets. Selon les experts concernés, le volume du «réservoir de Djenné» serait d'environ 0,4 km³, ce qui représenterait plus que le double de la taille du réservoir de Talo.

Tableau 2.6. Réservoir de Talo: Corrélation entre le niveau d'eau (m IGN) et la superficie et le volume du réservoir. Le réservoir est plein à un niveau de 274,5 m. Le niveau du stockage permanent (niveau de la vanne la plus basse) est supérieur à 269 m.

Niveau (m)	Surface (km ²)	Volume (km ³)
268,3	0	0,00
269,3	20	0,02
270,3	30	0,05
271,3	35	0,08
272,3	40	0,11
273,3	45	0,14
274,3	50	0,18

Tossaye (prévu)

La construction du barrage de Tossaye est encore à l'étude également. Selon les prévisions, il sera construit sur le Niger, près de Bourem, à 90 km au nord-nord-ouest de Gao et à 270 km à l'est de Tombouctou (voir Encadré 2.1). On estime que le barrage permettra de créer un réservoir pouvant atteindre 4,5 km³, ce qui revient à dire que ce réservoir sera plus grand que celui de Sélingué, mais plus petit que celui de Fomi. Il sera appelé à jouer plusieurs rôles: (1) la production d'énergie hydroélectrique (150 GWh/an); (2) l'irrigation d'une superficie pouvant atteindre 830 km²; (3) l'alimentation éventuelle du Lac Faguibine, situé à 550 km en amont et dont le volume est de 2,6 km³; (4) l'amélioration de l'étiage en vue d'assurer un débit transfrontalier vers le Niger d'au moins 75 m³/s; et (5) l'amélioration de la navigation. Ce barrage prévu est une coentreprise entre le Mali, le Niger et le Burkina Faso.

En période de crue, le réservoir de Tossaye n'aurait aucun impact sur le Delta Intérieur. Mais en saison sèche, l'impact peut être considérable, en particulier dans la partie Nord, où le Lac Faguibine et les autres lacs des zones Nord et Est du Delta Intérieur pourraient ainsi être de nouveau remplis. Kuper et al. (2002) ont étudié cet impact sur le Delta Intérieur et conclu qu'il peut être à la fois positif et négatif. Il serait plus marqué selon la variation du débit total du fleuve au fil du temps.

Autres utilisateurs d'eau

Par rapport aux utilisateurs d'eau de l'Office du Niger, les autres ne prélèvent, pour ainsi dire, pas d'eau dans le fleuve Niger. Au Mali, il existe de nombreux projets d'irrigation à petite échelle le long du fleuve Niger. Deux d'entre eux ont déjà été mentionnés, en l'occurrence: la prise d'eau annuelle de 0,034 km³ à Sélingué pour l'irrigation de 1 350 ha et celle de 0,215 km³ à Sotuba pour l'irrigation de 3 000 ha près de Baguinéda. La quasi-totalité des autres projets se rencontrent dans le Delta Intérieur (voir Encadré 2.1). Les rapports annuels des Directions Régionales de l'Appui au Monde Rural (DRAMR) de Mopti et de Tombouctou informent sur l'existence de périmètres rizicoles irrigués couvrant des superficies de 93, 96 et 113 km² dans les régions de Tombouctou et de Mopti. Ces rizières sont essentiellement irriguées à l'aide de petites motopompes. Van 't Hof (1998) constitue l'une des rares sources d'informations disponibles sur ces programmes à petite échelle. D'août à septembre, l'évapotranspiration poten-



tielle du riz passe de 9 mm/jour à 5,7 mm/jour. Elle se stabilise, en principe, autour de 5,5 à 7 mm/jour, même lorsque la percolation indique une variation plus importante. Ceci prouve que la demande en eau de l'agriculture irriguée dans la région de Mopti varie de 13 mm/jour à 14,7 mm/jour. Sur la base de la durée quotidienne de 11 à 12 heures de pompage (il n'existe pas de pompage la nuit), le débit par hectare est d'environ 3 à 3,8 l/s. En tenant compte des pertes d'eau au niveau du système, il est raisonnable de supposer que l'irrigation d'un hectare nécessite 4 l/s, soit 40 m³/s pour irriguer 100 km². Sur une période d'irrigation de quatre mois, la quantité d'eau requise correspondrait à une prise d'eau annuelle d'environ 0,21 km³. Ce chiffre peut même être revu à la baisse, dans la mesure où le calcul ne prend pas en compte la pluviométrie du mois d'août.

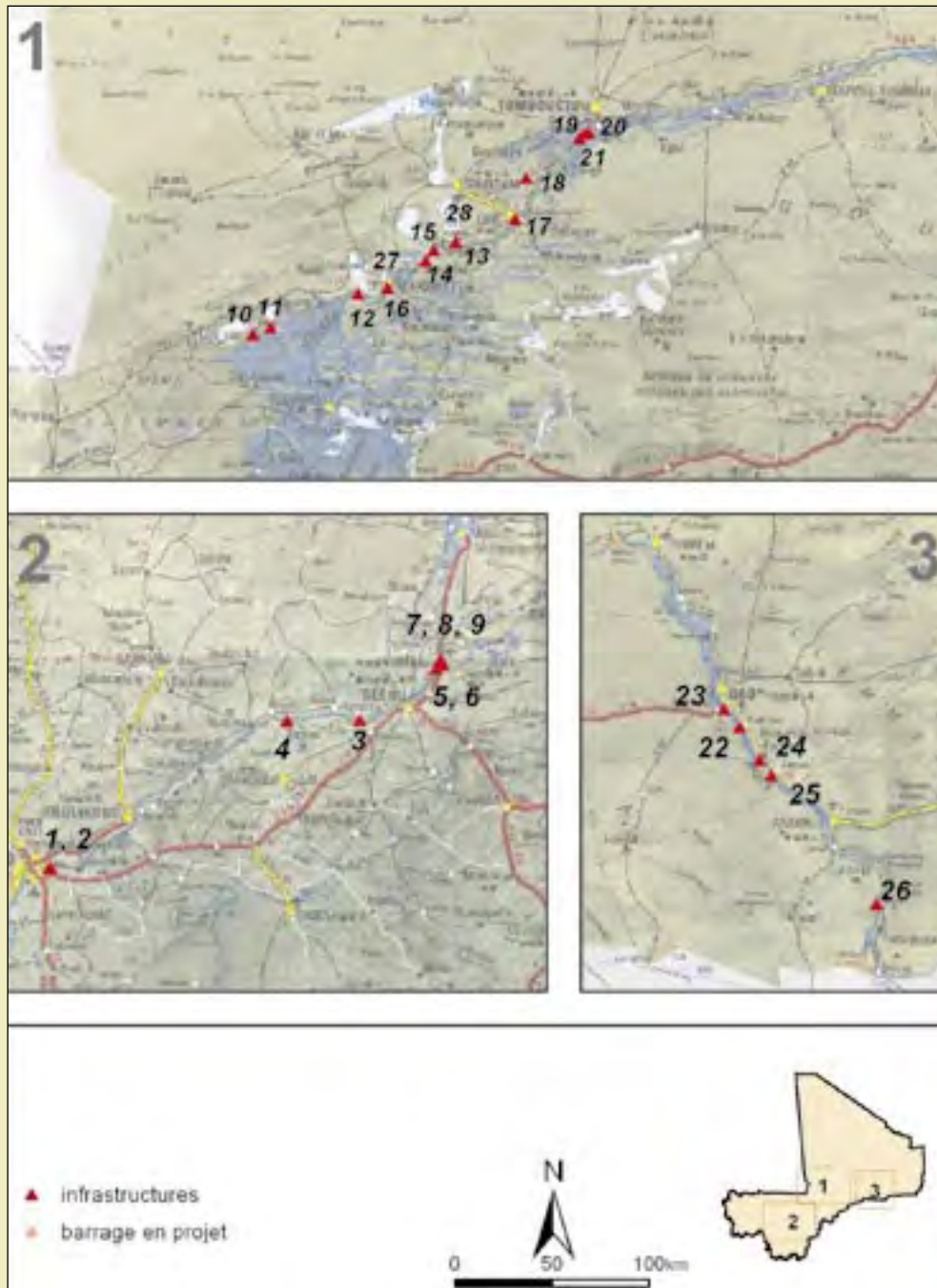
Par ailleurs, de nombreux petits ouvrages influent sur l'entrée de l'eau dans les zones inondées. C'est notamment le cas dans la zone irriguée de l'Opération Riz de Ségou (ORS) et de l'Opération Riz de Mopti (ORM). L'ORS gère, à l'Est de Ségou, 354 km² de superficies irriguées répartis entre trois sites: Markala (53 km²), Dioro (150 km²) et Tamani (152 km²). La superficie totale de l'ORM est estimée à 270 km². L'ORM et l'ORS ne prélèvent pas directement de l'eau du fleuve.

En fait, l'eau est maintenue à un niveau donné après l'inondation, grâce uniquement à des digues et écluses. Lorsque le niveau n'est pas assez élevé, la zone demeure sèche et la riziculture est limitée. Ainsi, en saison sèche, aucune récolte de riz n'est possible. Étant donné que les casiers de l'ORM et de l'ORS ont à peine un effet sur le système d'inondation naturelle, l'impact global sur le régime hydrique du Niger est négligeable.

Les eaux du fleuve Niger alimentent plusieurs lacs qui entourent le Delta Intérieur, du moins, pendant la période où le niveau d'eau est élevé. De petites digues ont été construites afin de réguler le niveau d'eau de plusieurs de ces lacs (Encadré 2.1). Ce volet fera l'objet d'une analyse plus détaillée au Chapitre 3. L'impact de ces ouvrages sur le régime hydrologique doit être, en fait, minime.

Enfin, la demande urbaine d'eau peut, en principe, affecter le régime hydrique du fleuve Niger. Bamako est une grande ville dont la population, qui croît rapidement, dépasse le million d'habitants. La demande publique en eau de la ville a été estimée récemment à 0,036 km³ par an (Palangié 1999). L'impact sur le débit du fleuve Niger est, par conséquent, extrêmement faible.

Encadré 2.1



Vingt-six infrastructures situées le long du fleuve Niger au Mali; en aval de Bamako (tiré de Diarra & Diallo 2003). Par ailleurs; le futur barrage de Tossaye; prévu en amont de Bourem (Carte 3) est mentionné.

INFRASTRUCTURE	GESTIONNAIRE	ANNEE
1. Barrage de Sotuba: hydroélectricité	EDM	1920
2. Baguinéda: irrigation passive de 3.000 ha	OPIB	1920
3. Doni (Farako): irrigation passive	ORS	1982
4. Tamani: irrigation passive	ORS	1982
5. Tien: irrigation passive	ORS	1970
6. Barrage de Markala	ON	1943
7. Canal du Sahel	ON	1943
8. Canal du Macina	ON	1943
9. Canal du Cost – Ongoiba	ON	1980
10. Dianké: rétention d'eau dans le Lac Tanda	DRAMR-Tbt	1987
11. Sambari: rétention d'eau dans le Lac Kabara	DRAMR-Tbt	1987
12. Djiré: station de pompage; irrigation de 200 ha	DRAMR-Tbt	1994
13. Marigot Kondi: rétention d'eau dans le Lac Faguibine/Télé	PSLF	1989
14. Station de pompageaux fins d'irrigation: Korioumé	CdK	1980
15. Station de pompageaux fins d'irrigation: Daye, 400 ha	PAHAPDA	1993
16. Station de pompageaux fins d'irrigation: Hamadja 750 ha	PAHAPDA	1994
17. Rétention d'eau; irrigation à Bagoundié	DRAMR-Gao	1979
18. Rétention d'eau; irrigation à Tacharane	DRAMR-Gao	1979
19. Rétention d'eau; irrigation à Haoussafoulane	DRAMR-Gao	1979
20. Rétention d'eau; irrigation à Gargouna	DRAMR-Gao	1979
21. Rétention d'eau; irrigation à Bara	DRAMR-Gao	1984
22. Rétention d'eau; irrigation à Ansongo (Tobon)	DRAMR-Gao	1984
23. Irrigation active: Forgho 400 ha	DRAMR-Gao	1984
24. Rétention d'eau dans le Lac Takadji (Dabi)	PDZL	1991
25. Rétention d'eau dans le Lac Horo (Tonka)	UNSO	1994
26. Rétention d'eau dans le Lac Danga (Arabédjé)	PDZL	1993
27. Station de pompage; irrigation de 200 ha Niafouké	PDZL	1995
28. Rétention d'eau dans le Lac Fati (Tindirima)	PDZL	1991

EdM	Energie du Mali	CdK	Coopérative de Korioumé
OPIB	Office Périmètre irriguée de Baguinéda	PAHAPDA	Projet d'Aménagement Hydro-agricole des Périmètres de Daye Hamadja
ORS	Operation Riz Ségou	DRAMR-Gao	Direction Régionale de l'Appui au Monde Rural –Gao
ON	Office du Niger	PDZL	Projet de Développement zone Lacustre
DRAMR-Tmt	Direction Régionale de l'Appui au Monde Rural – Tombouctou	Niafouké;	UNSO= Projet UNSO Tonka.
PSLF	Projet Système du Lac Faguibine		

2.4 Impact des activités humaines sur le débit du fleuve

L'étude a adopté deux approches afin de déterminer l'impact des activités humaines susvisées sur le débit du fleuve. La première approche est une analyse statistique relativement directe de l'interaction entre les barrages, les réservoirs et le débit du fleuve dans le Delta Intérieur du Niger. La seconde repose sur l'application d'un

modèle existant, RIBASIM (RIVER BASIN SIMulation) (Passchier et al. 2004), mis au point par WL|Delft Hydraulics et la Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH). Étant donné que ces deux approches portent essentiellement sur différents aspects de l'impact des activités humaines sur le débit du fleuve, elles peuvent être utilisées de manière complémentaire.

L'approche statistique

Il ressort de la description susmentionnée que le régime hydrologique du Haut Niger subit deux effets majeurs, en l'occurrence, celui du réservoir de Sélingué ($0,83 \text{ km}^3/\text{an}$) et celui de la prise d'eau de l'Office du Niger dans le cadre de l'irrigation de la zone du Delta Mort ($2,69 \text{ km}^3/\text{an}$). L'irrigation dans le Delta Intérieur ($0,21 \text{ km}^3/\text{an}$) et à partir du barrage de Sotuba ($0,22$

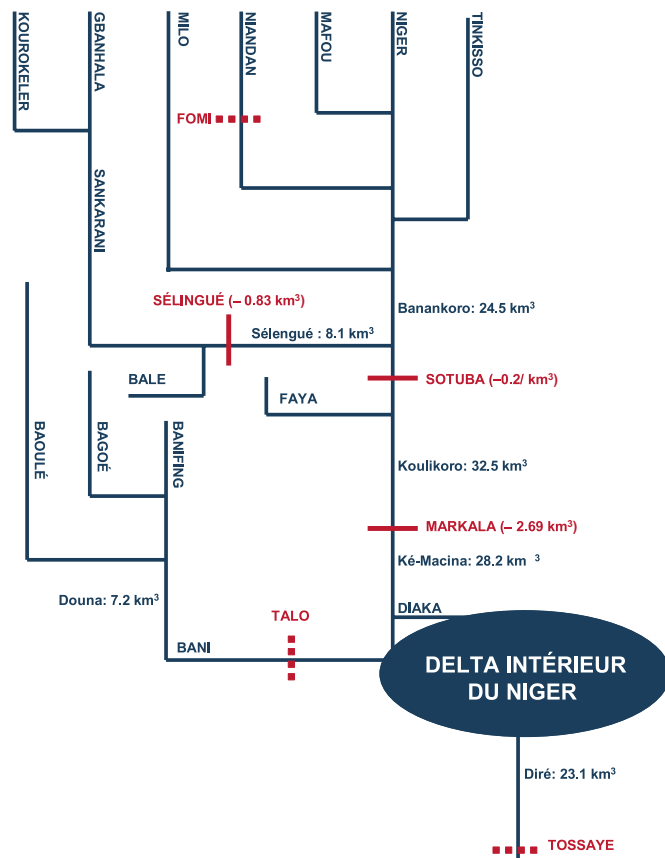


Fig. 2.15. Débit moyen du fleuve (km^3/an) dans le Haut Niger sur une période de 29 ans (1970-1998). Note: Les affluents sont représentés en bleu, les barrages en rouge et le débit du fleuve en noir; Fomi, Talo et Tossaye sont toujours des barrages dont la construction a été prévue récemment. Source: modifiée après Hassane et al. 2000.

km^3/an) ont également un effet modéré, et l'impact de trois autres effets combinés ne représente que $0,07 \text{ km}^3/\text{an}$. La Fig. 2.15 donne un aperçu schématique du débit moyen du Haut Niger, ainsi que des pertes d'eau occasionnées par la production hydroélectrique et l'irrigation. Pour que toutes les données soient comparables, le débit moyen du fleuve a été calculé sur une période similaire (1970-1998). En outre, la Fig. 2.15 indique la position des barrages prévus: Fomi, Talo et Tossaye.

La moyenne annuelle de la quantité d'eau du Sankarani, qui alimente le réservoir de Sélingué, est de $8,9 \text{ km}^3$. L'écoulement de $0,83 \text{ km}^3$ à Sélingué représente $9,3\%$ de l'apport d'eau annuel. L'apport d'eau des autres affluents mesuré à Banankoro est de $24,5 \text{ km}^3/\text{an}$, alors qu'il est de $32,5 \text{ km}^3$ à Koulikoro. Ceci montre que le volume moyen du réservoir de Sélingué représente environ $8,6\%$ du débit moyen annuel à Koulikoro et l'écoulement de Sélingué, $2,6\%$ du débit du fleuve à Koulikoro. L'écoulement à Sotuba (irrigation de Baguinéda) ne représente que $0,6\%$ du débit du fleuve à Koulikoro. Avant l'entrée du fleuve Niger dans le Delta Intérieur, $2,69 \text{ km}^3/\text{an}$ d'eau sont prélevés au niveau du barrage de Markala, soit $8,3\%$ du débit total du Niger. Le débit du Bani représente près du quart de celui du Niger avant son entrée dans le Delta Intérieur. Le débit cumulé moyen d'eau arrivant dans le Delta Intérieur du Niger et du Bani est estimé à $34,5 \text{ km}^3$. Le débit cumulé sortant du Delta à Diré est de $23,1 \text{ km}^3$. Ainsi, la perte d'eau due essentiellement à l'évaporation, représente $11,4 \text{ km}^3$ (soit 33%). La perte d'eau dans le Delta Intérieur varie d'une année à l'autre, en fonction de la superficie inondée (Olivry 1995, Mahé et al. 2002, Orange et al. 2002; voir également Fig. 2.9).

La Fig. 2.15 montre que l'impact combiné moyen des réservoirs et de l'irrigation sur le débit du fleuve est encore relativement limité. Avant que les fleuves Niger et Bani n'entrent dans le Delta Intérieur, $3,7 \text{ km}^3$ d'eau (soit moins de 10%) sont prélevés sur les $39,1 \text{ km}^3$ qui y seraient entrés, n'eussent été les barrages et les activités d'irrigation. L'impact saisonnier des réservoirs et de l'irrigation peut cependant être beaucoup plus marqué. Aussi, accorde-t-on une attention particulière aux variations saisonnières du débit du fleuve à Ké-Macina, ainsi qu'aux fluctuations sur une période plus longue.

L'impact saisonnier de l'Office du Niger et de Sélingué sur le débit à Ké-Macina peut être déterminé aisément. Afin d'évaluer le débit à Ké-Macina sans la

prise d'eau du barrage de Markala, il convient d'ajouter l'eau d'irrigation prélevée par l'Office du Niger (voir Fig. 2.14) aux niveaux du débit actuel. L'effet en aval du barrage de Sélingué est égal à la différence entre l'apport d'eau du Sankarani et l'écoulement (voir Figures 11 et 13). Le débit à Ké-Macina sans irrigation et sans Sélingué est obtenu par le débit actuel + l'eau d'irrigation prélevée par l'Office du Niger + la différence entre l'apport d'eau et l'écoulement de Sélingué.

La Fig. 2.16 présente l'effet de Sélingué et de l'Office du Niger sur le débit mensuel à Ké-Macina sur une période de sept années. A première vue, l'impact semble limité, car le schéma général de l'apport d'eau et de montée des eaux n'a pas changé. A y regarder de plus près, on s'aperçoit que la crue de pointe diminue et que le niveau d'eau est plus élevé en saison sèche. N'eussent été les activités d'irrigation de l'Office du Niger, le niveau d'eau serait beaucoup plus élevé en saison sèche. Le réservoir de Sélingué a un effet contraire en saison sèche, en raison des lâchers d'eau. La prise d'eau de l'Office du Niger est inférieure à la quantité d'eau supplémentaire provenant des lâchers d'eau de Sélingué. Par conséquent, l'effet global est que, dans la situation actuelle, le niveau d'eau en saison sèche est plus élevé que s'il n'y avait pas de barrages et de système d'irrigation. La Fig. 2.16 montre également que l'impact de l'irrigation et du réservoir sur la crue de pointe n'est pas le même tous les ans. L'effet était plus important sur la faible crue de 1993 et à peine perceptible sur la crue de pointe de 1994.

La Fig. 2.18 montre à quel point le débit du fleuve serait beaucoup plus élevé sans l'Office du Niger et Sélingué. Il va sans dire que le stockage de l'eau a un impact plus important lorsque le débit du fleuve est faible. La quantité absolue d'eau retenue dans le réservoir et celle destinée à l'irrigation sont indépendantes du débit du fleuve. Par conséquent, la quantité relative d'eau utilisée pour l'irrigation et le remplissage du réservoir est deux fois plus importante lorsque le débit est deux fois plus faible. En 1993, année de sécheresse, des quantités d'eau pouvant atteindre 40% du débit en août et 30% en septembre ont été détournées du fleuve. La Fig. 2.18 montre également que Sélingué contribue davantage à la réduction du débit du fleuve en août et septembre que l'Office du Niger. Par conséquent, bien que l'impact global de l'Office du Niger sur le débit annuel soit $3,2$ fois plus important que celui du réservoir de Sélingué (voir Fig. 2.15), ce dernier a un impact

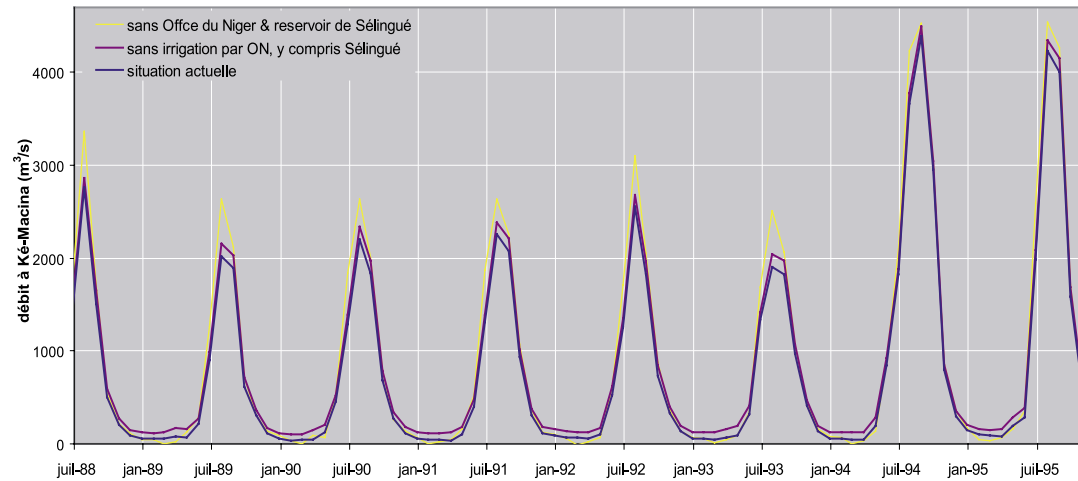


Fig. 2.16. Variation du débit mensuel du fleuve (m^3/s) à Ké-Macina (l'entrée du Delta Intérieur) entre juillet 1988 et décembre 1995. Note: la variation effective est indiquée par une ligne jaune. La ligne bleue représente le débit sans l'irrigation dans l'Office du Niger et la rouge, l'effet combiné de l'Office du Niger et du réservoir de Sélingué.

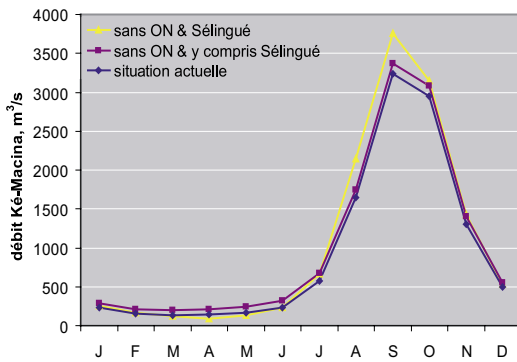


Fig. 2.17. Effet moyen mensuel de l'Office du Niger et de Sélingué sur le débit du fleuve à Ké-Macina. Pour de plus amples informations, voir Fig. 2.16.

plus important sur le système fluvial en août et septembre (soit juste avant le débit de pointe du fleuve).

La Fig. 2.17 présente l'impact saisonnier moyen de Sélingué et de l'Office du Niger. L'effet négatif sur les crues est élevé en août et septembre, faible en octobre et inexistant en novembre et décembre. De janvier à

juin, l'Office du Niger a un impact négatif sur le niveau d'eau, tandis que Sélingué a un effet positif.

Modèle de bilan hydrique

WL|Delft Hydraulics et la Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH) ont introduit une importante quantité de données hydrologiques sur le Haut Niger dans le modèle RIBASIM (Passchier et al. 2004). Un bref résumé de ce travail, axé sur l'effet en aval de l'irrigation des barrages de Sélingué et de Fomi, est présenté ci-dessous.

Le modèle RIBASIM repose sur une approche de bilan hydrique pour le Haut Niger, en utilisant une unité de temps d'un mois sur la période de janvier 1980 à décembre 2001. On connaît le débit mensuel du fleuve en amont de ces différents ouvrages:

- l'apport d'eau dans le réservoir de Sélingué a été estimé par EDM sur le site;
- l'apport d'eau dans le futur réservoir de Fomi est déterminé par les données fournies par plusieurs stations hydrologiques guinéennes (base de données FRIENDS; Sangaré et al. 2002);
- le débit du fleuve à Koulikoro a permis d'effectuer une estimation du débit du barrage de Markala;

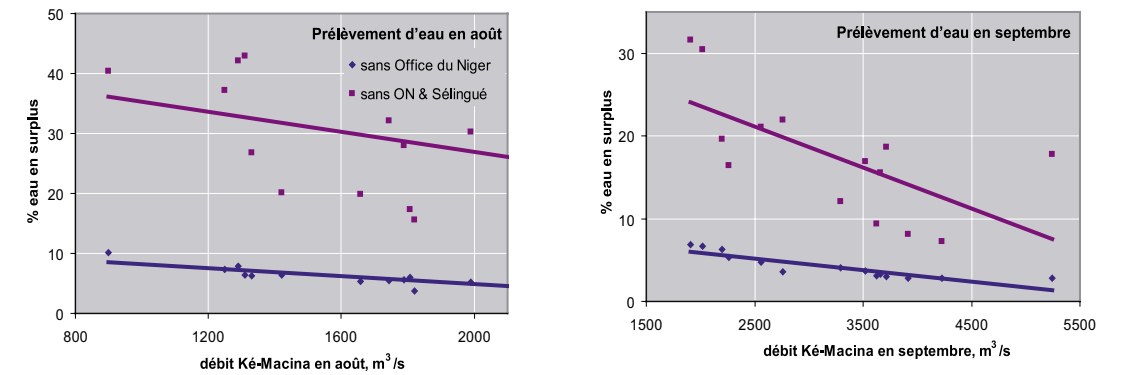


Fig. 2.18. Effet relatif (%) de l'Office du Niger et de l'Office du Niger plus Sélingué sur le débit du fleuve à Ké-Macina en août (graphique de gauche) et en septembre (graphique de droite) en tant que fonction du débit total du fleuve.

- le débit du fleuve à Douana pourrait être utilisé pour estimer l'apport d'eau dans le futur réservoir de Talo.

Selon les explications contenues dans la Section 2.2, les caractéristiques physiques des trois réservoirs sont connues. L'évaporation nette au niveau de chaque réservoir est introduite dans le modèle sur la base des précipitations mensuelles moyennes et de l'évaporation mensuelle moyenne. Ainsi, la perte d'eau varie sur une base mensuelle et non annuelle. La demande en eau des systèmes d'irrigation (Sélingué, Baguinéda et Office du Niger) est également introduite dans le modèle. Cette demande varie chaque mois; toutefois, elle est maintenue à un niveau constant pour les différentes années. L'écoulement des réservoirs dépend de la règle de fonctionnement.

Deux règles de fonctionnement ont été appliquées au réservoir de Sélingué. La règle de fonctionnement '1' est de ne rien faire. Par conséquent, le réservoir est plein pendant la majeure partie de l'année. L'apport d'eau est presque égal à l'écoulement. La seule perte d'eau est causée par l'évaporation nette. La règle de fonctionnement '2' est de vider le lac autant que possible en saison sèche afin d'optimiser la production annuelle d'électricité. Dans le cadre de ce modèle, la règle de fonctionnement à Sélingué repose sur une demande d'énergie de 18 Gwh.

Modèle 1: Irrigation par l'ON sans production hydroélectrique

L'apport d'eau mensuel dans les trois réservoirs est connu. Tel qu'indiqué plus haut, ce modèle suppose la non-manipulation du niveau d'eau dans le réservoir. La seule perte d'eau prise en compte est l'évaporation. De même, on connaît la corrélation entre le niveau d'eau et la superficie de l'eau à Sélingué (Tableau 2.2.4), à Fomi (Tableau 2.2.5) et à Talo (Tableau 2.2.6). L'évaporation nette varie sur une base mensuelle. L'évaporation nette atteint son niveau le plus élevé de novembre à avril. Entre juillet et septembre, la pluviométrie est supérieure à l'évaporation, rendant ainsi l'évaporation nette négative.

L'écoulement du réservoir est calculée en prenant l'apport d'eau minoré de la perte d'eau mensuelle due à l'évaporation. Étant donné qu'aucun écoulement n'intervient en saison sèche, les réservoirs sont plutôt pleins pendant la majeure partie de l'année, ce qui implique une perte d'eau relativement élevée du fait de l'évaporation.

En raison de sa grande profondeur, on s'attend à ce que le volume du lac Fomi soit 2,9 fois plus important que celui de Sélingué. Il est prévu que sa superficie dépasse celle de Sélingué de 10% seulement. Ainsi, l'écart entre les deux réservoirs en termes de perte d'eau due à l'évaporation n'est pas trop important. L'évaporation au niveau du futur réservoir de Talo aura un impact limité sur le débit du Bani, en aval du barrage. Par conséquent, son effet sur l'ensemble du système fluvial du Haut Niger sera négligeable.

Le Modèle '1' ne prend pas en compte les besoins en eau aux fins d'irrigation dans la zone avoisinante de Talo. Cependant, les besoins en eau mensuel moyens du système d'irrigation existant dans l'Office du Niger ont été introduits dans le modèle. La demande en eau de mai à juin a été estimée à 100 m³/s. Néanmoins, étant donné que ce seuil n'a pu être atteint pendant plusieurs années, du moins en ce qui concerne ce modèle qui ne prévoit pas une production hydroélectrique à Sélingué, la moyenne de la prise d'eau sur 21 ans est faible au cours des mois concernés.

La Fig. 2.19 montre l'effet de l'évaporation dans les deux réservoirs et de l'irrigation par l'Office du Niger sur le débit du Niger avant son entrée dans le Delta Intérieur. L'effet est faible d'août à octobre et important de décembre à juin. La Fig. 2.19 montre également que l'irrigation par l'Office du Niger a un impact plus significatif en aval que l'évaporation nette au niveau des réservoirs.

Modèle 2: Irrigation et production hydroélectrique

Il va sans dire que l'objectif de la construction des barrages n'est pas de créer de grands lacs, mais de produire de l'électricité. La plupart des années, le niveau d'eau du réservoir de Sélingué baisse de 7 mètres entre février et juin, et le réservoir se remplit à nouveau en juillet et août (voir Fig. 2.10). Étant donné que l'eau de la crue

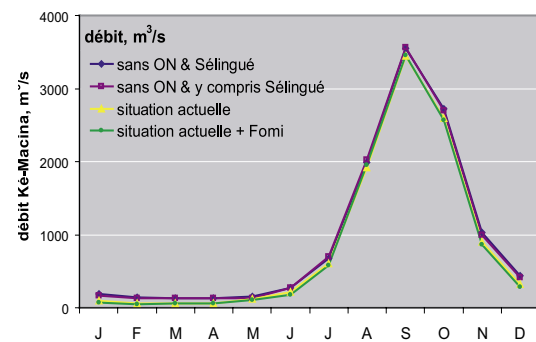


Fig. 2.19. Modèle 1: Débit mensuel du fleuve Niger à Ké-Macina, calculé sur la période 1980-2001. Quatre situations sont comparées: (1) la situation naturelle (pas de barrage, pas d'irrigation), (2) avec seulement le barrage de Sélingué, (3) avec Sélingué + l'irrigation par l'Office du Niger (la situation actuelle), (4) avec Fomi + Sélingué + l'irrigation par l'Office du Niger. L'effet des barrages est limité parce que dans le calcul, seule l'évaporation nette au niveau des réservoirs a été prise en compte (voir texte). Étant donné que les effets sont à peine perceptibles, les pourcentages de la réduction du débit du fleuve imputables aux barrages et à l'irrigation sont aussi présents. Source: DNH, WLIDelft Hydraulics.

de pointe est, en partie, retenue afin d'être lâchée en saison sèche, il en résulte un impact considérable sur le débit du fleuve. L'effet direct en aval se traduit par une réduction du débit du fleuve pendant la crue et une augmentation de celui-ci en saison sèche. Du fait de cette stratégie de gestion, la taille du lac est plus réduite en saison sèche. Il s'ensuit une évaporation moindre en saison sèche, par rapport au modèle 1. Au titre de celui-ci, le débit en provenance du réservoir diminue pendant les mois de saison sèche, en raison de l'évaporation. Dans le Modèle 2, une quantité d'eau plus importante est disponible. Ainsi, l'Office du Niger peut disposer des quantités d'eau nécessaires pour assurer l'irrigation, selon les besoins en mai et juin.

Au titre du Modèle 2, la demande en énergie à Sélingué a été fixée à 18 Gwh. Tel qu'indiqué à la Fig. 2.20, ce seuil peut être atteint sans difficulté d'août à janvier. La période d'avril à juillet est plus critique, car des ruptures peuvent se produire. En prenant la moyenne de toute l'année et en supposant une production maximale de 18 Gwh, la production d'électricité atteint 13,63 Gwh. La production effective d'énergie s'élève à 12,93 Gwh (Annexe 2) et est, par conséquent, légèrement en deçà du niveau théorique possible. Toutefois, par rapport au modèle, la production actuelle d'énergie est plus stable.

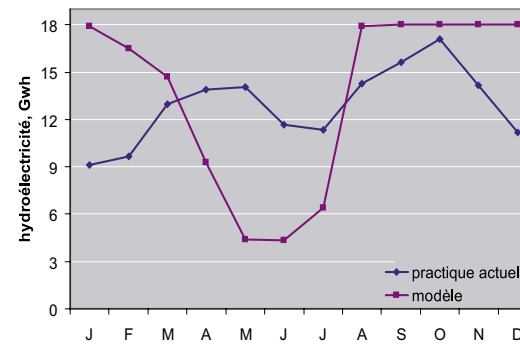
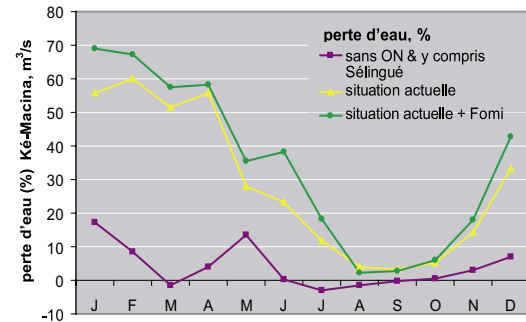


Fig. 2.20. Quantité moyenne d'énergie hydroélectrique produite à Sélingué à l'heure actuelle sur une période de 22 ans (1982-2003; voir Annexe 2), par rapport au modèle où la production annuelle totale d'électricité est optimisée sur la base d'une demande de 18 Gwh. Source: EDM et WLIDelft Hydraulics.

Dans le cadre du Modèle 2, le débit du fleuve correspond presque à la situation actuelle: la quantité totale d'eau stockée dans le réservoir pendant la crue est égale à celle lâchée en saison sèche. Toutefois, seule une légère différence existe entre la situation actuelle et le Modèle 2. L'écoulement contenu dans le modèle en janvier et février est deux fois plus élevé que dans la situation actuelle, tandis que l'inverse se produit en mai et juin, où l'écoulement dans la situation actuelle est deux fois plus élevée que dans le Modèle 2. Cette différence tient exclusivement à la décision prise par les autorités de gestion du réservoir de Sélingué de renoncer à une faible partie de la production maximale théorique afin d'assurer une production minimale d'énergie de 9 Gwh (Fig. 2.20).

Du fait de l'incertitude qui entoure les options de gestion du barrage de Fomi, le Modèle 2 n'a pas pris en compte, de manière explicite, les effets de ce barrage dont la construction est prévue. A supposer que la production hydroélectrique soit optimisée, l'impact mensuel sur le débit du fleuve en aval serait similaire à celui du barrage de Sélingué. Toutefois, dans la mesure où il est prévu que le volume d'eau soit 2,9 fois plus important que celui de Sélingué, on estime, approximativement, que l'effet de Fomi serait égal à 2,9 fois celui de Sélingué, pour chaque mois.

La ligne jaune de la Fig. 2.21 présente la variation mensuelle du débit du fleuve à Ké-Macina. L'effet du

barrage de Sélingué est clairement visible et est conforme à la description susmentionnée. Il en va de même pour l'impact en aval de l'irrigation. La Fig. 2.21 démontre clairement que le barrage de Fomi peut avoir potentiellement un impact significatif sur le débit du Niger. La Fig. 2.21 repose sur un modèle qui optimise la production électrique. Au cas où le niveau d'eau du lac ne serait pas géré de manière à assurer la production hydroélectrique optimale possible, l'effet en aval du barrage de Fomi serait plus faible. Cependant, étant donné que Fomi vise essentiellement à produire de l'électricité, il est probable que l'effet en aval sur le débit du fleuve soit plus proche de l'illustration de la Fig. 2.21 que de celle de la Fig. 2.20. Il est également plausible que la règle de fonctionnement à Fomi soit similaire à celle de Sélingué: optimiser la production d'énergie électrique, tout en s'attachant à atteindre un niveau minimum donné pour la période de décembre à juin. Par conséquent, les lâchers d'eau ne diminueront pas, mais resteront à peu près constants de décembre à mai.

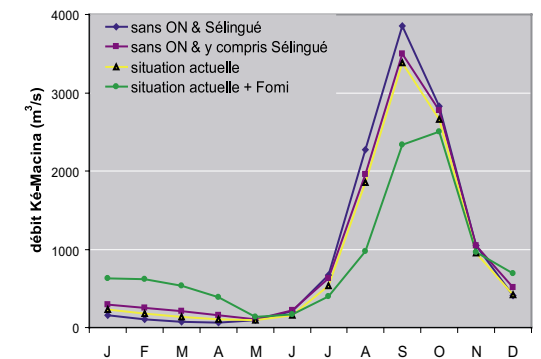


Fig. 2.21. Modèle 2: Moyenne du débit mensuel du Niger à Ké-Macina calculée sur la période 1980-2001. Les quatre situations sont les mêmes que celles de la Fig. 2.20, mais à l'inverse du Modèle 1, les deux réservoirs sont utilisés pour la production d'électricité. Source: WLIDelft Hydraulics & DNH.

2.5 Scénarios



Afin de saisir l'impact des principaux ouvrages existantes et prévus dans le Haut Niger sur le débit de l'eau dans le Delta Intérieur, plusieurs scénarios ont été mis au point (Tableau 2.7). Ceux-ci permettront, en outre, de déterminer les effets ultérieurs des changements de débit sur les inondations, l'écologie et l'économie du Delta Intérieur du Niger. Ces scénarios sont présentés ci-après:

- Scénario 0. Sans l'ON et Sélingué: Dans ce scénario, on simule une situation où il n'y aurait ni Sélingué ni l'Office du Niger dans le Haut Niger. Ceci correspond à la situation hydrologique naturelle qui prévalait il y a plus de 50 ans;
- Scénario 1. Sans l'ON, mais avec Sélingué: Dans ce scénario hypothétique, on simule une situation où Sélingué existe toujours, mais sans l'Office du Niger;
- Scénario 2. Situation actuelle: Ce scénario de "référence" est une reproduction de la situation actuelle qui nécessite le fonctionnement en régime de croisière de Sélingué et de l'Office du Niger dans le Haut Niger;
- Scénario 3. Situation actuelle plus Fomi: Ce scénario est similaire à la situation actuelle, mais simule l'existence du barrage de Fomi. L'objectif principal de ce scénario est d'en évaluer l'impact.

Le Modèle 1, qui vient juste d'être mentionné, a permis de comprendre le rôle de l'évaporation; néanmoins, il ne fera pas l'objet d'une étude en tant que scénario distinct. De même, les effets des trois barrages prévus ne seront pas considérés comme des scénarios distincts. Bien que le barrage de Talo et l'eau qui sera prélevée aux fins d'irrigation auront un impact direct significatif en aval sur le Bani lui-même, l'impact sur le Delta Intérieur sera probablement très limité. L'impact du barrage prévu à Djenné est difficile à quantifier, car les données nécessaires ne sont pas encore disponibles. Enfin, le barrage de Tossaye offre également suffisamment de raisons d'en évaluer ses avantages et inconvénients; cependant, les moyens indispensables pour réaliser cette évaluation qui nécessite beaucoup de temps, font défaut. Par conséquent, il a été décidé que la présente analyse ne prendrait pas en compte ce barrage, pour l'instant.

Tableau 2.7. Scénarios.

Scénario	Irrigation par Office du Niger	Hydroélectricité Sélingué	Hydroélectricité Fomi
Scénario 0. Sans ON & Sélingué	Non	Non	Non
Scénario 1. Sans ON & y compris Sélingué	Oui	Non	Non
Scénario 2. Situation actuelle	Oui	Oui	Non
Scénario 3. Situation actuelle + Fomi	Oui	Oui	Oui

2.6 Conclusions

L'analyse de l'hydrologie du Delta Intérieur du Niger et de ses affluents en amont a permis de recueillir une large gamme d'informations. La majeure partie de celles-ci peuvent être utilisées aux fins d'évaluation de l'impact des variations naturelles et des ouvrages construits par l'homme sur le régime d'inondation dans le Delta Intérieur du Niger. Cette évaluation sera présentée dans le chapitre suivant. Cependant, certains résultats sont pertinents, même pris isolément. Par conséquent, les principales conclusions de l'analyse hydrologique sont résumées ci-après:

· Etant donné que la pluviométrie annuelle se limite essentiellement à 3 mois (de juillet à septembre), le débit du fleuve Niger est sujet à d'importantes variations saisonnières. La pluviométrie annuelle dans la zone de captage du Niger varie entre 1 100 et 1 900 mm, la moyenne étant de 1 500 mm. Bien que le débit du Niger soit tributaire de la pluviométrie, sa variation de 600 à 2300 m³/s est beaucoup plus marquée que celle de la pluviométrie annuelle. Ceci s'explique par le fait que le débit de pointe du fleuve dépend non seulement de la pluviométrie des mois précédents, mais également des formations aquifères. Étant donné que le niveau de la nappe souterraine est déterminé par la pluviométrie des années précédentes, le débit du fleuve baisse en cas d'années successives de sécheresse. Ce fut le cas au cours de la période de sécheresse au Mali connue sous le nom de La Grande Sécheresse au cours de laquelle le débit du fleuve Niger a baissé, atteignant des niveaux sans précédent.

• A ce jour, il n'existe qu'un seul réservoir de production d'hydroélectricité sur le Haut Niger, en l'occurrence Sélingué. En dépit de son volume de 2,2 km³, qui équivaut à 6,8% des 32,5 km³/an du débit moyen du fleuve, le réservoir de Sélingué est limité. En raison de l'évaporation au niveau du lac dont la superficie est de 34,2 km², près de 0,5 km³ d'eau se perd chaque année.

- L'eau stockée dans le réservoir de Sélingué en saison des pluies est libérée progressivement pendant le reste de l'année. En moyenne, 1,8 km³ d'eau est retenue au cours de la période d'août à septembre. En année de débit élevé du fleuve, celui-ci représente 10 à 20% du débit de pointe du Niger. Cependant, en année de faible débit, cette fraction représente jusqu'à 20 à 30% du débit de pointe.
- En l'absence des lâchers d'eau de Sélingué, le débit du fleuve en période de sécheresse baisserait pour s'établir à environ 0,2 à 0,4 km³ par mois. Ces lâchers représentent environ 0,2 km³ d'eau par mois pour le système fluvial. En particulier, en année de faible débit, le cours du fleuve est très tributaire de la gestion de l'eau au niveau du lac Sélingué, de mars à mai.
- Le barrage de Fomi est encore à l'étude. Il est prévu que son réservoir soit 2,9 fois plus grand que celui de Sélingué. Au cas où la gestion de l'eau du barrage de Fomi serait similaire à celle du réservoir de Sélingué, on s'attend à ce que l'impact sur le débit en saison des pluies et en saison sèche soit similaire à celui de Sélingué; toutefois son amplitude sera près de 2,9 fois plus élevée.
- Trois autres barrages sont prévus, en l'occurrence Talo et Djenné sur l'affluent Bani et Tossaye en aval du Delta Intérieur entre Tombouctou et Gao. Compte tenu de l'absence de données concernant ces ouvrages futurs, il est très difficile de déterminer leur incidence sur le système fluvial.
- Il n'existe qu'un seul utilisateur important d'eau dans le Haut Niger. Afin d'irriguer plus de 700 km² dans le «Delta Mort», l'Office du Niger prélève 2,7 km³ d'eau par an, ce qui équivaut à 8,3% du débit annuel du fleuve. La prise d'eau ne varie pas, de façon notable, d'une année à l'autre. Par conséquent, l'utilisation d'eau annuelle de l'Office du Niger tombe à 4% en année de débit élevé, mais passe à 15% en année de faible débit.
- L'Office du Niger prélève environ 100 m³/s d'août à novembre et près de 60 m³/s de décembre à avril. Ceci ne représente qu'un faible pourcentage en période de crues, mais peut atteindre 50 à 60% en saison sèche. Par conséquent, en saison sèche, l'irrigation actuelle est tributaire, pour l'essentiel, de l'eau supplémentaire libérée au niveau du réservoir de Sélingué.



- Le débit du fleuve en aval de l'Office du Niger fait l'objet de comparaisons dans quatre situations différentes. Les références de ces quatre scénarios seront utilisés tout au long du présent rapport. Le débit du fleuve en aval de l'Office du Niger est évalué dans quatre scénarios distincts, à savoir le Scénario 2 ou la situation actuelle; le Scénario 1, sans l'Office du Niger, mais avec Sélingué; le Scénario 0, sans l'Office du Niger et sans Sélingué; le Scénario 3, la situation actuelle plus le barrage de Fomi dont la construction est prévue. Ces scénarios permettront d'obtenir des résultats très pertinents pour les décideurs maliens.
- Certains de ces scénarios ont été étudiés dans le cadre d'une étude de bilan hydrique. Les données relatives au débit du Haut Niger ont été introduites dans un modèle, RIBASIM (RIVER BASIN SIMULATION), mis au point par Delft Hydraulics. L'étude du modèle révèle que la gestion des réservoirs a un impact significatif sur l'ensemble du système fluvial.
- Tel qu'indiqué plus haut, les données résumées dans ce chapitre seront utilisées dans le chapitre suivant pour décrire l'effet de Sélingué et celui de l'irrigation par l'Office du Niger sur l'inondation du Delta Intérieur. Des efforts similaires seront déployés afin de déterminer l'impact du barrage de Fomi sur le Delta Intérieur.



3 INONDATION DU DELTA INTÉRIEUR DU NIGER

Leo Zwarts
Ion Grigoras

3.1 Introduction

Pendant la Grande Sécheresse du début des années 1980, l'étendue de l'inondation du Delta Intérieur du Niger a été réduite à moins du tiers de la superficie inondée au cours des décennies antérieures. Les populations de la région ont creusé des canaux et construit des barrages et des écluses en vue de retenir l'eau dans les lacs et les plaines alluviales. Malheureusement, leurs efforts se sont avérés vains, pour l'essentiel, car le niveau d'inondation avait été insuffisant au cours de la majeure partie des dernières années pour couvrir les plaines alluviales en amont et remplir les lacs.

Le débit du fleuve Niger atteint sa pointe en septembre, provoquant l'inondation du Delta Intérieur. Le Chapitre 2 a déjà décrit comment le débit de pointe du fleuve était plutôt minimal au cours des dernières décennies et à quelle mesure cette baisse était due, respectivement, à l'irrigation assurée par l'Office du Niger et à la gestion du réservoir de Sélingué. L'analyse révèle qu'environ 6% du débit de pointe de septembre est capté pour l'irrigation du Delta mort et qu'environ 20% est utilisé pour remplir le réservoir de Sélingué. Quel est l'impact de cette situation sur le Delta Intérieur? Quel sera l'effet supplémentaire du futur réservoir de Fomi, dont le volume est presque le triple de celui de Sélingué? Avant d'esquisser des réponses à ces questions, il convient de décrire la manière dont l'inondation du Delta Intérieur est tributaire de l'ampleur des crues et les relations qui existent entre ces deux facteurs et le débit du fleuve.

Le présent chapitre est structuré comme suit: la Section 3.2 examine de façon détaillée les estimations relatives à la superficie de la zone inondable dans le Delta Intérieur du Niger. A cet effet, diverses méthodes indirectes sont examinées. Ensuite, les méthodes de télédétection sont appliquées en vue d'évaluer directement la superficie inondable (Section 3.3). Les questions spécifiques abordées dans cette section sont les suivantes: la procédure de sélection des images satellite, la distinction entre la terre et l'eau, et la couverture du Delta. Dans la Section 3.4, les cartes hydrographiques du flux et du reflux des eaux sont établies, respectivement. Sur la base de ces cartes, un modèle numérique d'inondation est mis au point pour les différents algorithmes et élévations (Section 3.5). En définitive, les modèles construits sont utilisés pour déterminer l'impact de l'action humaine, par le biais de l'irrigation et de la création de réservoirs, sur la superficie inondable dans le Delta Intérieur, en appliquant tant l'approche du bilan hydrique que l'approche statistique (Section 3.6-3.8). Enfin, la Section 3.9 présente les conclusions de ce chapitre.



Orange et al. (2002) ont évalué le modèle utilisé par Cissé & Gosseye et sont parvenus à la conclusion que le modèle se comportait relativement bien. Toutefois, ils ont relevé une sous-estimation systématique de la zone inondée. Par conséquent, ils ont utilisé un niveau maximum d'eau de 610 cm à Mopti. Ainsi, le modèle simule des variations de la superficie de la zone inondée de l'ordre de 6 000 km² en 1984 à 25 000 km² en 1955.

3.3

Méthodes de télédétection

Les images satellite permettent de mesurer directement la superficie de la zone inondée. Mariko et al. (2002) ont analysé quatre images NOAA prises en 1999. Bien que la résolution des images NOAA soit faible (soit 1 x 1 km), la comparaison d'une série d'images pourrait servir à mesurer directement la variation de la superficie inondée. Utilisant un grand nombre d'images Landsat (résolution 30 x 30 m), Zwartz et al. (2002) ont adopté une approche similaire pour le Delta Intérieur du Niger. La présente section repose sur leur travail.

Distinction entre la terre et l'eau

La Fig. 3.2 permet de savoir à quoi ressemblait le lac Debo sur une image satellite à deux dates différentes: février 1985 et février 2001. On a procédé à la sélection de trois bandes de spectre (bleu, rouge et vert). Le Composite couleur réelle révèle clairement où le terrain est nu et où il existe de la végétation. L'image de février 1985 permet de distinguer avec une précision absolue l'eau de la terre. Tel n'est pas le cas pour l'image de février 2001, car l'on ne sait toujours pas si la zone verte est couverte ou non par l'eau.

L'on peut distinguer la terre de l'eau en sélectionnant les bandes 5 et 7 de Landsat TM. L'eau implique un algorithme de la bande 5 entre 100 et 135 et de la bande 7 entre 70 et 90. Les autres valeurs représentent la terre. Cette règle semble bien fonctionner. Tel qu'il ressort de la Fig. 3.2, il convient de considérer la majeure partie de la zone verte sur l'image de février 2001 comme représentant l'eau, celle-ci devant sa couleur verte à la végétation flottante.

Couverture du Delta

Une scène Landsat couvre une superficie de 180 x 180 km. Pour couvrir la totalité du Delta Intérieur du Niger, il faut une scène de la zone située entre Djenné et le lac Debo (trajectoire 197/rangée 50) et une autre depuis le nord du lac Debo jusqu'à Tombouctou (trajectoire

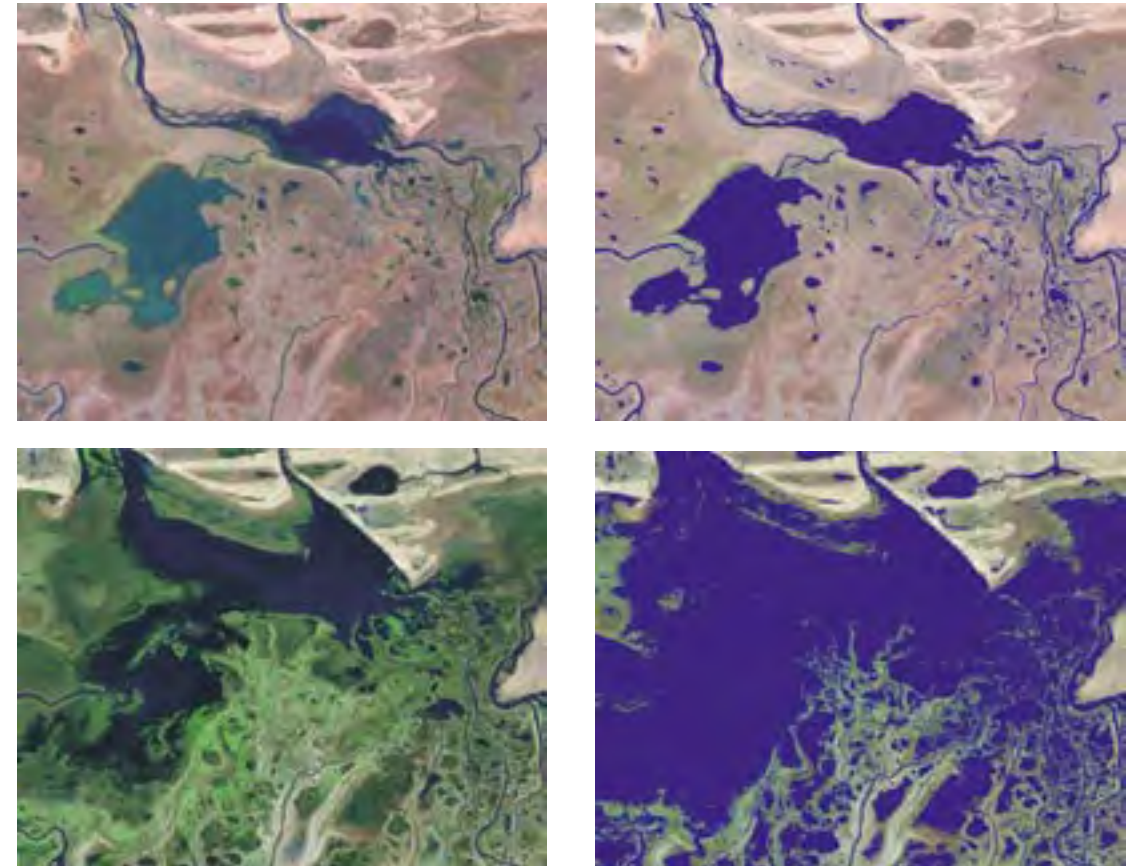


Fig. 3.2. Composite couleur réelle (à gauche) et carte hydrographique (à droite) du lac Debo et du lac Walado à deux dates différentes. Le bleu représente l'eau, selon un algorithme (avec pour arrière-plan l'image de gauche). Niveau d'eau à Akka: 14 cm et 247 cm, respectivement. Les quatre cartes couvrent exactement la même superficie et mesurent 64,9 x 74,4 km. Coordonnées UTM de l'angle nord-ouest 333,7, 1701,5 et l'angle sud-est 407,1, 1636,6.

197/rangée 49). Pour obtenir les données sur le lac Faguibine, une troisième scène (trajectoire 197/rangée 48) est nécessaire et deux images supplémentaires de la trajectoire 196 et 198 afin de couvrir la partie sud-ouest, près de Ké-Macina, et la partie nord-est, à l'est de Tombouctou. Fort heureusement, il a été possible, du moins pour les scènes d'avant 1999, d'obtenir un décalage dans la trajectoire. C'est la raison pour laquelle on a fait l'acquisition de l'image 197/49 et 197/50 avec un décalage de 20% vers le nord. Ainsi, il nous est possible de couvrir la partie située à l'extrême nord du Delta Intérieur du Niger, y compris le lac Faguibine, même

si l'on doit sacrifier la partie méridionale. La Fig. 3.3 montre la couverture des deux images sans le décalage de 20% vers le nord.

Le satellite Landsat suit une voie SSO-NNE. Il ne produit pas toujours exactement les mêmes images. Il y avait une déviation d'au plus 12 km vers l'ouest ou l'est. Une zone large de 178 km était toujours couverte et toutes les 23 images couvraient ensemble une zone large de 195 km. La rangée 49 + 50, y compris le décalage de 20% vers le nord, donne une couverture d'une longueur de 380 km.



Fig. 3.3. Couverture du Delta Intérieur par deux scènes Landsat d.d. 16 octobre 2001 sans le décalage de 20% vers le nord.

Sélection des images

Etant donné que les aperçus montraient que le Nord révélait moins de variation au sein de la zone exposée aux inondations que le Sud, il n'a pas été nécessaire de recueillir une grande quantité de données sur la partie septentrionale du Delta afin de parvenir à un modèle numérique complet d'inondation. Par conséquent, 24 images de la moitié méridionale du Delta Intérieur du Niger, et 19 de la partie septentrionale ont été obtenues. Les versions numérisées des 24 cartes hydrographiques sont présentées à la Fig. 3.5.

En principe, seules des images sans nuages ont été acquises. Cependant, afin de pouvoir analyser également les images prises en saison pluvieuse, nous avons dû accepter des images comportant quelques nuages épars. Ceci s'est soldé par des problèmes pendant l'établissement des cartes hydrographiques, car il n'a pas été aisé d'établir une distinction entre les plans d'eau et les nuages, avec la règle appliquée. Pour contourner cette difficulté, nous avons fait disparaître les nuages à la main. Là où cela n'a pas été possible, nous avons comparé les images nuageuses avec une autre image ne comportant aucun nuage et ayant un niveau élevé d'eau et avons utilisé l'image ajoutée pour masquer les nuages.

Le but de l'opération était d'avoir une quantité similaire d'images du flux et du reflux des eaux. Par ailleurs,



nous avons recherché au moins une image par différence de niveau d'eau de 50 cm. Cela s'est avéré difficile. La Fig. 3.4 établit la corrélation entre le niveau d'eau à Akka pour chaque image et la date de prise de l'image. Les images ont été prises au cours de huit années différentes. Les mesures quotidiennes du niveau d'eau à Akka sont également fournies.

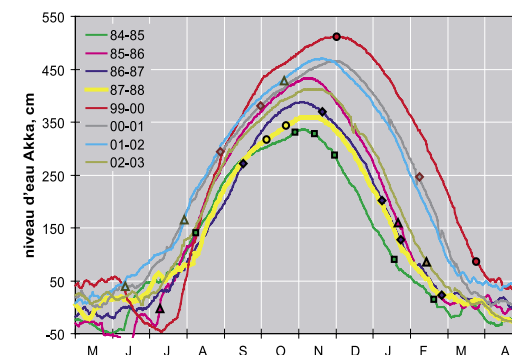
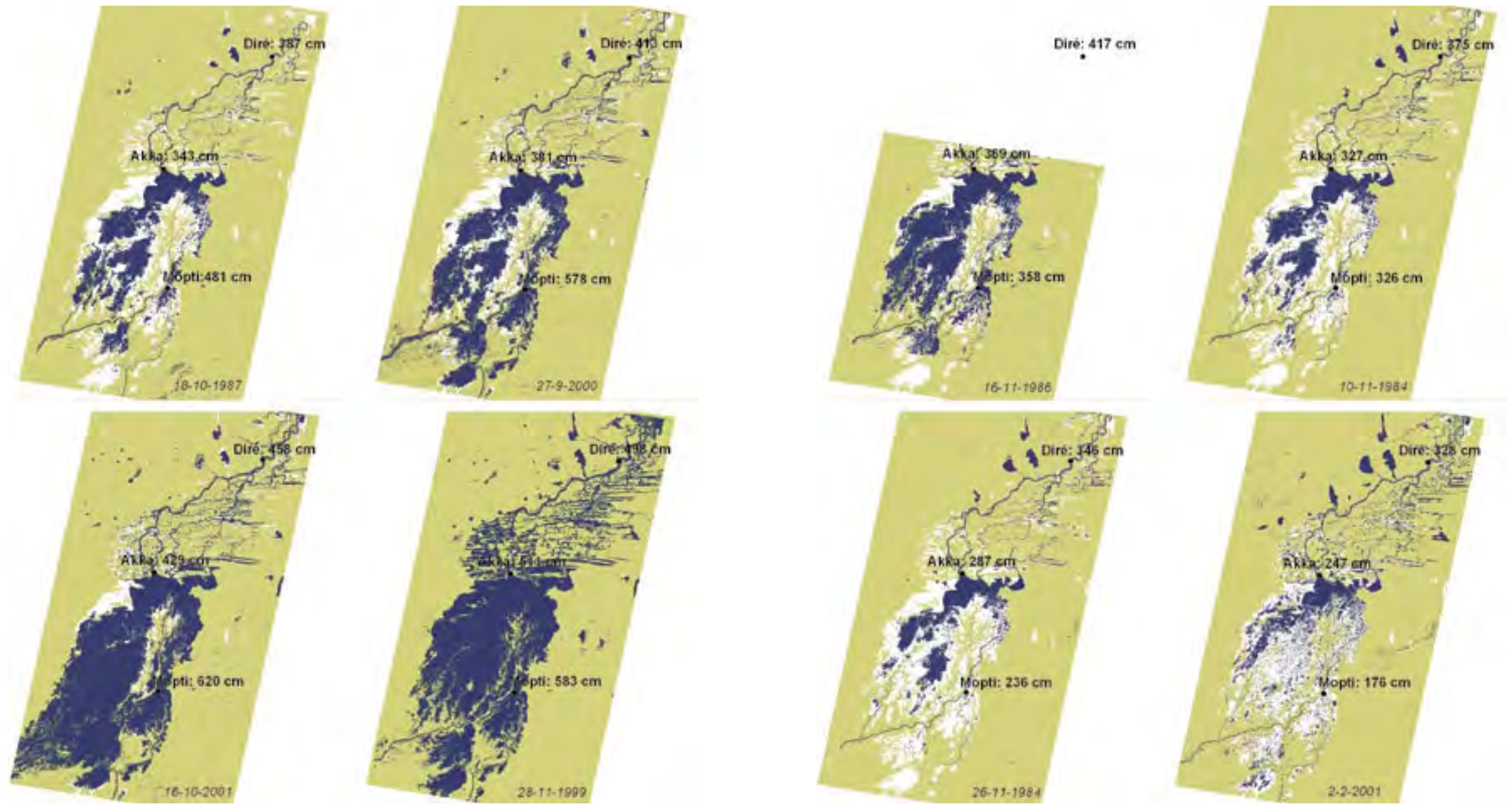
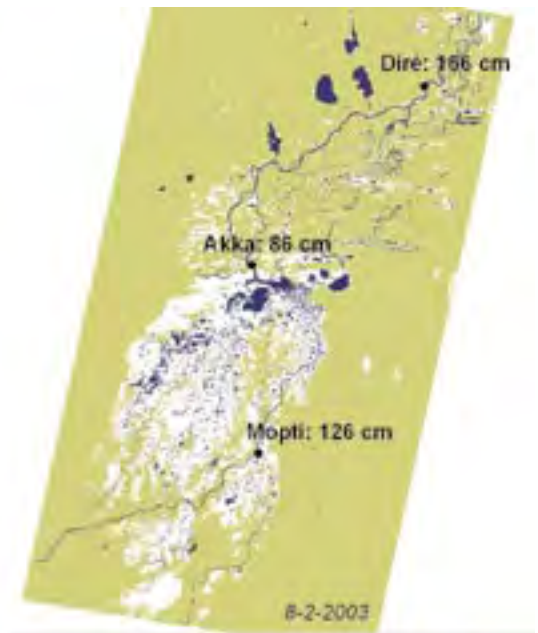
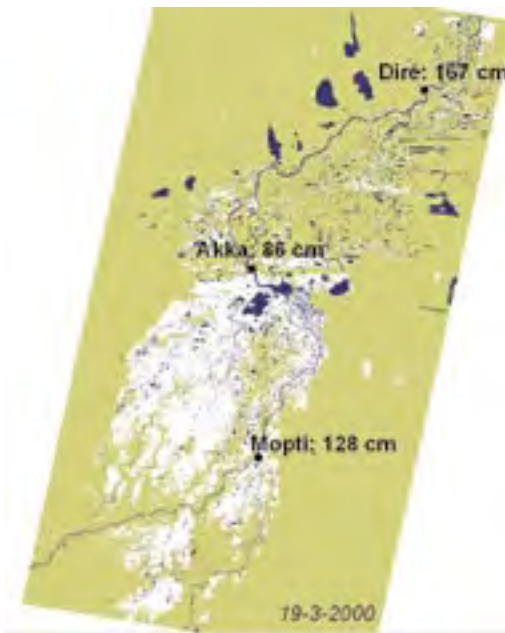
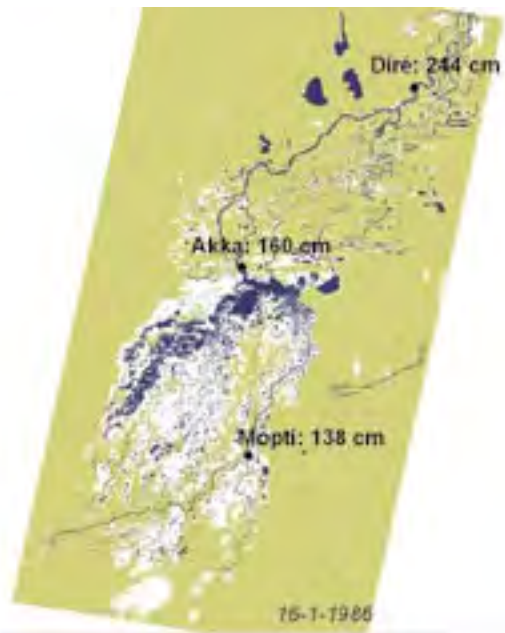
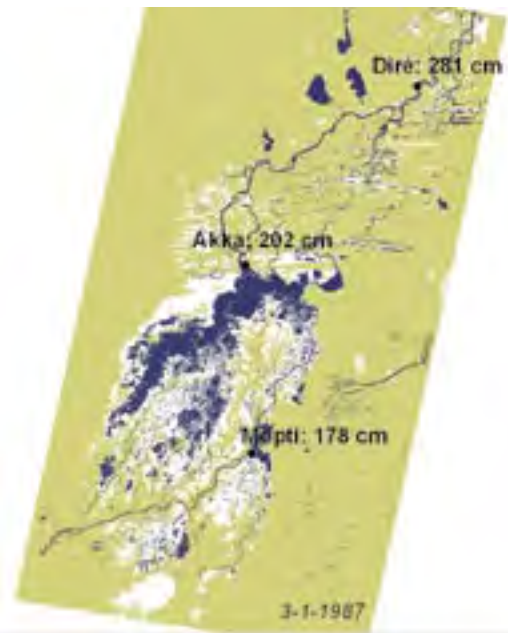


Fig. 3.4. Rapport entre le niveau d'eau à Akka et le numéro des jours pendant 8 ans. Les 24 symboles qui figurent sur les courbes concernent les jours à partir desquels les scènes Landsat ont été sélectionnées. L'axe horizontal représente l'année hydrologique, c'est-à-dire la période du 1er mai au 30 avril de l'année suivante.



Fig. 3.5. Cartes hydrographiques du Delta Intérieur du Niger pour 24 dates, sur la base de 24 images satellite de la moitié méridionale et 19 images de la partie septentrionale. Le niveau d'eau à Mopti, Akka et Dire est indiqué. Les cartes sont classées par niveau croissant et niveau décroissant des eaux pendant le flux et pendant le reflux des eaux à Akka, respectivement.

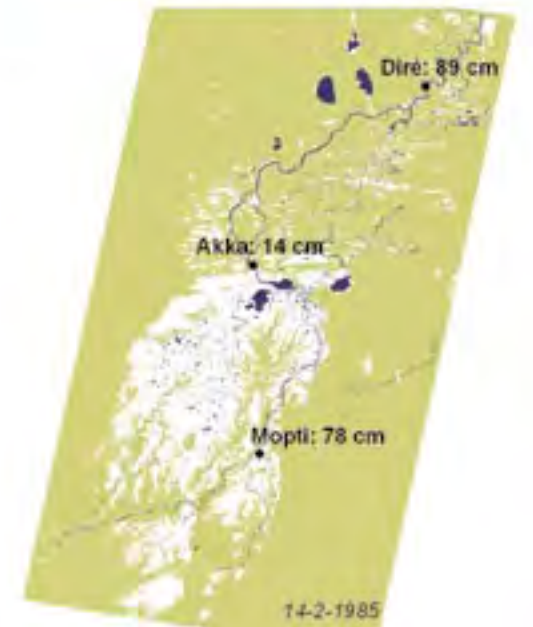
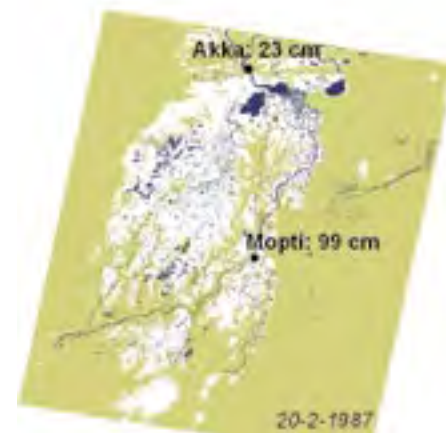
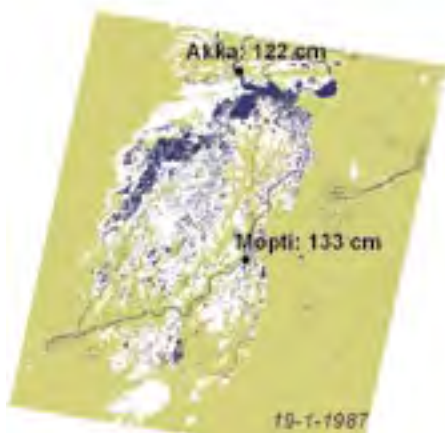




Diré: 206 cm

Diré: 167 cm

Diré: 104 cm



3.4 Cartes hydrographiques

Les 24 cartes hydrographiques ont été classées par niveau d'eau à Akka: croissant pour le flux des eaux (Tableau 3.1) et décroissant pour le reflux des eaux (Tableau 3.2). Au niveau d'eau le plus bas, à savoir -2 cm, à Akka (8 juillet 1985), les grandes étendues d'eau n'étaient constituées que du lac Debo et du lac Korientzé, dans la partie centrale du Delta. Le lac Walado était presque totalement asséché, avec juste un peu d'eau dans ses parties méridionale et septentrionale. Au Nord, le lac Horo contenait encore de l'eau. La situation n'était pas très différente avec un niveau d'eau de 77 cm (10 juin 2001) et 140 cm (6-8-1984): le lac Debo et le lac Korientzé étaient légèrement plus étendus, tandis que le lac Walado et le lac Fati étaient déjà (partiellement) remplis d'eau. Le Delta méridional a commencé à s'inonder à un niveau d'eau de 166 cm

Tableau 3.1. Images satellite prises lors du flux des eaux. Le niveau d'eau à Mopti, Akka et Diré est indiqué, ainsi que les précipitations à Mopti (données IER): le nombre de jours précédents sans pluie, la hauteur des pluies (mm) au cours de la quinzaine précédente et la hauteur totale des pluies précédentes (mm) en saison des pluies.

Date	niveau d'eau (cm)			pluies période précédente (mm)		
	Mopti	Akka	Diré	jours secs	pluie, 2 semaine	pluie total
8-juil-1985	137	-2	20	1	63,2	137,3
10-juin-2001	132	40	86	2	4,5	14,6
6-août-1984	269	140	170	0	50,7	168,4
28-juil-2001	339	166	191	1	85,2	182,4
13-sept-1986	473	271	300	2	49,6	269,8
26-août-2000	478	294	320	0	84,2	252,2
2-oct-1987	444	317	357	32	0,0	231,5
25-oct-1984	435	331	367	24	0,0	330,7
18-oct-1987	481	343	378	48	0,0	231,5
27-sep-2000	578	381	413	3	58,6	316,7
16-oct-2001	620	432	458	6	0,7	301,7

(28-7-2001) et davantage à 271 cm (13-9-1986) et 294 cm (26-8-2000). Cependant, même à un niveau d'eau de 381 cm (27-9-2000) des parties entières du Delta méridional n'étaient pas encore couverts, tandis que même à 429 cm (16-10-2001) le Delta septentrional était encore sec.

Avec un niveau d'eau de 511 cm à Akka (28-11-1999), la quasi-totalité des parties méridionale et centrale du Delta Intérieur du Niger était couverte d'eau, ainsi que quelques parties de la région septentrionale. A l'intérieur de la moitié méridionale, les terres les plus hautes, les hautes berges situées le long du Niger même, du Diaka et des nombreux Mayo étaient secs. Lorsque le niveau d'eau est tombé à 369 cm (16-11-1986), il y avait encore de l'eau autour de Pora, entre le Niger et le Bani, et tout au long du Niger au Nord de Mopti. Les zones les plus vastes encore couvertes d'eau se trouvaient dans la partie centrale du Delta Intérieur Niger: à l'Ouest du Diaka (plaine de Séri), à l'Est du Diaka (le long du Mayel Kotia, du Mayo Togoro et du Diarenndé) et plus au Nord – toute la zone située autour des lacs Debo, Walado et Korientzé. Avec un niveau d'eau encore plus bas de 202 cm sur l'échelle de Akka (3-1-1987), la plupart des plaines alluviales étaient sèches, à l'exception de la plaine de Séri et du complexe Walado-Debo-Korientzé adjacent. Lorsque le

niveau d'eau a chuté davantage, la plaine de Séri a séché à un niveau d'eau de 122 cm (19-11-1987) ou à 90 cm (13-1-1985), les lacs Debo-Walado et Korientzé étant seuls à rester couverts d'eau à ces niveaux-là. A un niveau d'eau de 23 cm (20-2-1987) ou 14 cm (14-2-1985), la superficie des lacs Walado et Korientzé est demeurée quasiment la même, tandis que le lac Debo s'est nettement rétréci.

1984, le lac Faguibine n'a jamais été entièrement rempli d'eau. Il n'y a que trois images sur lesquelles la partie sud-est était couverte d'eau (16-1-1986, 3-1-1987, 19-3-2000). Le lac Faguibine était complètement asséché le 2-2-2001. Ceci est remarquable, dans la mesure où le niveau d'eau maximal à Diré était plus élevé pendant les mois précédents que pendant la crue de 1985 et 1986 (Tableau 3.2), lorsque la partie sud-est était couverte

Tableau 3.2. Images satellite prises lors du reflux des eaux. Le niveau d'eau à Mopti, Akka et Diré est indiqué, ainsi que la date et le niveau d'eau auxquels l'inondation a atteint son niveau maximal.

date	niveau d'eau (cm)			niveau d'eau maximum (date)			niveau d'eau maximum (cm)		
	Mopti	Akka	Diré	Mopti	Akka	Diré	Mopti	Akka	Diré
28-nov-1999	583	511	498	26-oct	23-nov	27-dec	662	511	515
16-nov-1986	358	369	417	8-oct	29-oct	2-nov	534	388	424
10-nov-1984	326	327	375	19-oct	30-oct	9-nov	440	336	375
26-nov-1984	236	287	346	19-oct	30-oct	9-nov	440	336	375
2-fév-2001	176	245	328	23-oct	22-nov	27-nov	608	465	486
3-jan-1987	178	202	281	8-oct	29-oct	2-nov	534	388	424
16-jan-1986	138	160	244	13-oct	3-nov	12-nov	571	433	460
19-jan-1987	133	122	206	8-oct	29-oct	2-nov	534	388	424
13-jan-1985	146	90	167	19-oct	30-oct	9-nov	440	336	375
19-mars-00	128	86	170	26-oct	23-nov	27-dec	662	511	515
8-fév-2003	126	86	166	8-oct	1-nov	15-nov	445	411	445
14-fév-1985	99	23	104	8-oct	29-oct	2-nov	534	388	424
20-fév-1987	78	14	89	19-oct	30-oct	9-nov	440	336	375

La comparaison des 24 images révèle que la superficie inondée tant pendant la crue que pendant la décrue est intimement liée au niveau d'eau. Seuls les lacs situés au Nord, où des barrages ont été construits entre 1987 et 1994 en vue de maîtriser l'eau (voir Chapitre 2.3 et la Fig. 3.1 pour la localisation de ces lacs), constituent une exception à cet égard. Au nombre de ces lacs alimentés par les barrages figurent le lac Tanda (1987), le lac Kabara (1987), le lac Faguibine (1989), le lac Fati (1991), le lac Takadji (1991) et le lac Horo (1994).

La comparaison des images des lacs septentrionaux montre que le lac Horo a été et demeure un lac permanent, même pendant les années très sèches. Le lac Fati a été (presque) toujours plein. Le lac Télé n'était sec que sur trois images prises en juin et juillet. Depuis

d'eau. Apparemment, pour que le lac Faguibine soit rempli, il est nécessaire que le niveau d'eau soit plus élevé que par le passé.

Les lacs du côté ouest (lac Tagadji, mare de Soumpi, lac Kabara, lac Tanda et Gatié Loumo) sont visibles sur toutes les images prises de 1999 à 2003. Ces lacs contenaient de l'eau, même aux mois de juin et juillet. Aussi, peut-on considérer les lacs du côté ouest comme des lacs de petite taille, mais permanents. Cependant, ils étaient complètement asséchés pendant les années 1984 et 1987, années d'extrême sécheresse.

Quatre lacs du côté est (lac Haribongo, lac Garou, lac Do, lac Niangaye) ne sont pas concernés par l'image sélectionnée. Mais deux (lac Aougoundou et lac Korarou) étaient entièrement visibles sur l'image de

la partie septentrionale. Lorsqu'il pleut normalement, le lac Korarou est un lac temporaire entre juillet et octobre. Cependant, après une année extrêmement pluvieuse (1999) on y a trouvé encore de l'eau en mars. Le lac Aougoundou est un lac permanent, mais il s'est asséché lors de la crue de 1984 et 1987.

Peut-on établir une carte unique indiquant la superficie inondée avec différents niveaux d'eau? Le Tableau 3.3 confirme que, quel que soit le cas, deux cartes sont nécessaires: l'une pour le flux et l'autre pour le reflux des eaux. Les deux cas de figure donnent chacun des résultats différents. Le Tableau 3.3 montre la différence de niveau d'eau à Mopti, Akka et Diré. Afin de procéder à cette comparaison, toutes les mesures ont été converties en niveau d'eau par rapport au niveau de la mer. La différence absolue entre les niveaux d'eau à Mopti et à Diré semble être d'environ cinq mètres lors du flux des eaux et de seulement plus de trois pendant le reflux des eaux.

L'importance de l'établissement d'une distinction entre le flux et le reflux des eaux est illustrée par la

comparaison de la superficie inondée au 16-10-01 (429 cm à Akka) avec celle du 28-11-99 (511 cm à Akka). Les deux cartes sont présentées à la Fig. 3.5. A 511 cm, la crue avait atteint son niveau de pointe à Akka. Cependant, le niveau d'eau à Mopti avait déjà baissé pendant quatre semaines, passant de 662 cm le 26-10-99 à 583 cm le 28-11-99. Par contre, le niveau d'eau à Mopti avait atteint son point culminant en 2001, s'établissant à 621 cm, tandis que celui d'Akka augmentait encore, atteignant 429 cm le 16-10-01. Ainsi, tandis que le niveau d'eau enregistré à Akka le 28-11-99 avait augmenté de 82 cm par rapport à celui du 16-10-01, la situation était exactement le contraire où le niveau d'eau avait diminué de 38 cm le 28-11-99 par rapport au niveau du 16-10-01. Il s'ensuit que la décrue avait déjà commencé dans la partie méridionale du Delta le 28-11-99, exposant ainsi les parties asséchées des zones inondées, tandis que la crue se poursuivait dans la partie septentrionale.

Tableau 3.3. Différence absolue de niveau entre Mopti et Akka, entre Akka et Diré, et entre Mopti et Diré, pendant le flux (à gauche) et le reflux (à droite) des eaux. Cette différence a été calculée en utilisant relevés d'eau (Tableau 3.1 et Tableau 3.2) et en tenant compte du fait que le niveau d'eau de 0 cm à Mopti, Akka et Diré correspond à 260,62; 258,38 et 256,85 m IGN.

crue Date	différence entre niveau d'eau (cm)			décrue date	différence entre niveau d'eau (cm)		
	Mopti-Akka	Akka-Diré	Mopti-Diré		Mopti-Akka	Akka-Diré	Mopti-Diré
08/07/1985	363	131	494	28/11/1999	296	166	462
10/06/2001	316	107	423	16/11/1986	213	105	318
06/08/1984	353	123	476	10/11/1984	223	105	328
28/07/2001	397	128	525	26/11/1984	173	94	267
13/09/1986	426	124	550	02/02/2001	155	70	225
26/08/2000	408	125	533	03/01/1987	200	74	274
02/10/1987	351	113	464	16/01/1986	202	69	271
25/10/1984	328	117	445	19/01/1987	235	69	304
18/10/1987	362	118	480	13/01/1985	280	76	356
27/09/2000	421	121	542	19/03/2000	266	72	338
16/10/2001	412	127	539	08/02/2003	264	73	337
				14/02/1985	300	72	372
				20/02/1987	288	78	366

Combinaison des cartes hydrographiques du flux des eaux

L'établissement d'une carte commune du flux des eaux avec des niveaux d'eau différents est simple dans la mesure où la terre est couverte en eau pendant les grandes crues, tandis que le processus inverse, en vertu duquel l'eau se substitue à la terre, ne se produit pas simultanément.

Suite à la comparaison détaillée des cartes hydrographiques disponibles, Zwarts et al. (2003) ont conclu que les lacs isolés sont (partiellement) remplis par les eaux de pluie pendant la crue et que cela rend difficile la combinaison des images satellite pendant la saison des pluies, puisque les précipitations varient selon les années. C'est la raison pour laquelle le Tableau 3.1 fournit également des informations sur les précipitations précédant les dates de prise des images satellite.

L'effet des précipitations peut être visible même à l'échelle réduite à laquelle les cartes hydrographiques ont été établies à la Fig. 3.5. A titre d'illustration, en raison des précipitations, un nombre considérablement accru de dépressions étaient encore remplies d'eau le 8-7-1985 (Akka: -2 cm) par rapport au 10-6-2001 (Akka: 40 cm), en dépit du débit plus élevé en 2001. L'importance des eaux de pluie est également illustrée par la comparaison des cartes avec le niveau d'eau de 294 cm (26-8-2000) et de 317 cm (2-10-1987). Il n'y avait pas eu de pluies pendant les semaines précédant le 2-10-87. Cependant, des pluies abondantes étaient tombées au cours des deux semaines précédant le 26-8-2000. Ces pluies ont eu pour conséquence la couverture par les eaux de pluie de vastes zones situées à la périphérie du Delta Intérieur du Niger. Aucune pluie n'était tombée avant le 2-10-1987 (Akka: 317 cm), le 25-10-1984 (331 cm) et le 18-10-1987 (343 cm). Par contre, il y en a eu beaucoup avant la date du 27-9-2000 (381 cm), d'où la présence de nombreux points bleus sur les cartes, indiquant les zones recouvertes d'eau.

Combinaison des cartes hydrographiques du reflux des eaux

En raison de l'absence de pluies lors du reflux des eaux, la modélisation de l'inondation pendant la décrue était plus simple. Cependant, un autre problème est survenu en ce qui concerne la modélisation de la décrue: le niveau d'eau maximal. Les eaux du fleuve remplissent les lacs isolés lorsque la crue dépasse un certain niveau. C'est la raison pour laquelle l'on doit s'attendre à ce



que plus le niveau d'eau maximal est élevé, plus les lacs et dépressions se remplissent. Ceci signifie que la superficie inondée pendant la décrue est tributaire non seulement du niveau d'eau en tant que tel, mais également du niveau d'eau maximal atteint au cours des mois précédents. Afin de faciliter la comparaison des images pendant la décrue, les niveaux d'eau les plus élevés enregistrés au cours des différentes années sont présentés au Tableau 3.2.

Le problème lié au niveau d'eau maximal auquel l'on s'attendait en matière de comparaison des images à un niveau d'eau élevé (511 cm contre 369 cm contre 327 cm contre 287 cm) n'en était pas un, dans la mesure où le niveau maximal de la crue était quasiment similaire pour ces quatre images. Cependant, à la comparaison des images à 287 et 247 cm, puis à 247 et 202 cm, il semblait y avoir un écart entre l'image à 247 cm, d'une part, et celles à 287 et 202 cm d'autre part. L'image à 247 cm de niveau d'eau date du 2-2-2001, date avant laquelle le niveau d'eau maximal était relativement élevé, à savoir 465 cm. Ceci explique, par conséquent, pourquoi de nombreuses zones – tant au Nord qu'au Sud – étaient couvertes d'eau à 247 cm et non à 287 cm. Dans le dernier cas, le niveau maximal de la crue avait été de 149 cm inférieur à celui de l'image à 247 cm

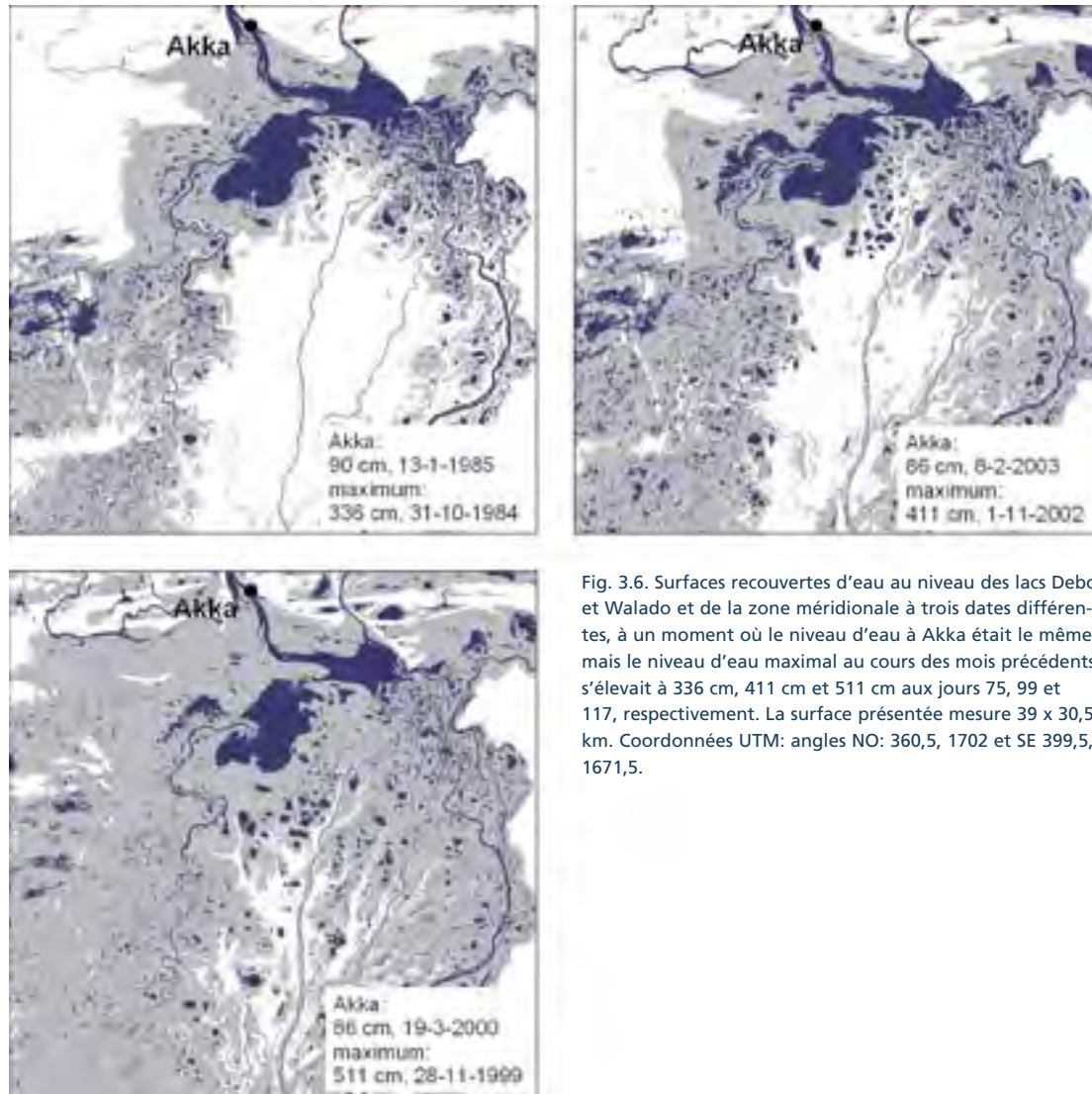


Fig. 3.6. Surfaces recouvertes d'eau au niveau des lacs Debo et Walado et de la zone méridionale à trois dates différentes, à un moment où le niveau d'eau à Akka était le même, mais le niveau d'eau maximal au cours des mois précédents s'élevait à 336 cm, 411 cm et 511 cm aux jours 75, 99 et 117, respectivement. La surface présentée mesure 39 x 30,5 km. Coordonnées UTM: angles NO: 360,5, 1702 et SE 399,5, 1671,5.

(niveau maximal de la crue: 336 cm contre 465 cm).

L'autre complication concernant la modélisation de la décrue a trait aux lacs peu profonds et aux dépressions qui ne sont plus liés au système d'inondation. En d'autres termes, le modèle doit rendre compte de la période comprise entre le moment où le lac est déconnecté du système hydrologique et celui de sa disparition totale du fait de l'évaporation. La quantité d'eau évaporée

par jour est de l'ordre de 7 mm.

L'effet conjugué du niveau d'eau maximal et du temps d'évaporation peut être judicieusement illustré par trois images pendant le reflux des eaux, avec quasiment le même niveau d'eau à Akka (c'est-à-dire deux à 86 cm et une à 90 cm). La Fig. 3.6 fournit les mêmes informations que la Fig. 3.5, mais à une échelle plus grande, sur le lac Debo et ses environs.

La Fig. 3.6 montre que plus l'inondation est forte, plus des lacs isolés voient le jour. Ceci peut s'observer, par exemple, dans la zone au sud des lacs Debo et Walado. Tel qu'indiqué à la Fig. 3.5, cette zone n'est inondée que lorsque les niveaux d'eau sont élevés. Cependant, la zone inondée dans la Plaine de Séri, à l'ouest du Diaka et au sud-ouest du lac Walado était déjà presque asséchée sur l'image de 2000 (suite à une forte crue) tandis qu'elle était encore recouverte d'eau sur l'image de 1984 (après un niveau d'eau maximal très bas). L'explication de ce phénomène tient au fait que la Plaine de Séri se trouve en contrebas de la zone d'inondation et est également recouverte d'eau pendant les années sèches. Cependant, le temps écoulé depuis que le niveau d'eau avait atteint son niveau maximal était de 75 jours en 1984 contre 117 jours en 2000. Par conséquent, étant donné que les lacs situés en basse altitude ont été isolés, la quantité d'eau évaporée a été plus grande en mars 2000 qu'en janvier 1985.

Compte tenu de tout ce qui précède, il est possible de procéder à une description plus précise de l'inondation pendant la décrue à l'aide des 13 images disponibles. Cependant, lorsque le niveau d'eau au moment du reflux des eaux est inférieur à 300 cm, il devient plus difficile de comparer les images datant de différentes années. Dans ces conditions, le niveau d'eau maximal, ainsi que le temps écoulé depuis que l'eau a atteint son niveau le plus élevé déterminent les lieux où l'on peut trouver les lacs isolés et temporaires qui sont encore remplis d'eau.

3.5

Modèle digital d'inondation

Modèle inclusif et modèle exclusif

Afin d'établir une carte hydrographique composite sur la base des cartes hydrographiques présentées à la Fig. 3.5, il convient de résoudre les difficultés évoquées dans les sections précédentes. Les problèmes de la pluviométrie pendant la crue, du niveau d'eau maximal et du temps d'évaporation pendant la décrue se posent en définitive dans les mêmes termes: comment traiter des zones recouvertes d'eau qui s'assèchent lorsque le niveau d'eau baisse? En d'autres termes, comment traiter des zones qui s'assèchent lorsque le niveau d'eau baisse, tandis qu'elles étaient recouvertes d'eau auparavant? Dans la présente étude, deux algorithmes différents (à savoir l'inclusif et l'exclusif) sont utilisés pour traiter du problème des lacs isolés et d'autres problèmes liés au niveau d'eau maximal et à l'évaporation.

Dans «l'algorithme inclusif», une zone est considérée comme de l'eau si elle est recouverte d'eau à ce niveau ET également à un niveau inférieur. «L'algorithme exclusif» est moins rigoureux: une zone est considérée comme de l'eau si elle est recouverte d'eau à ce niveau OU à un niveau d'eau inférieur. L'effet de la règle appliquée sur la carte composite est présenté à la Fig. 3.7 s'agissant du flux et du reflux des eaux dans la partie centrale du Delta Intérieur du Niger. D'une manière générale, l'algorithme exclusif sous-estime visiblement la superficie inondée, tandis que de toute évidence, l'algorithme inclusif surestime l'ampleur de l'inondation. La même situation est illustrée à la Fig. 3.8 où une corrélation est établie entre les zones inondées et le niveau d'eau à Akka selon les deux modèles, et les surfaces inondables mesurées sont représentées par des triangles jaunes (voir Fig. 3.5).

La surface inondée des localités où il n'existait aucune image de la zone septentrionale sont indiquées sous forme de triangles ouverts: de toute évidence, leur superficie est toujours sous-estimée. Le modèle composite prévoit également la superficie inondée totale,

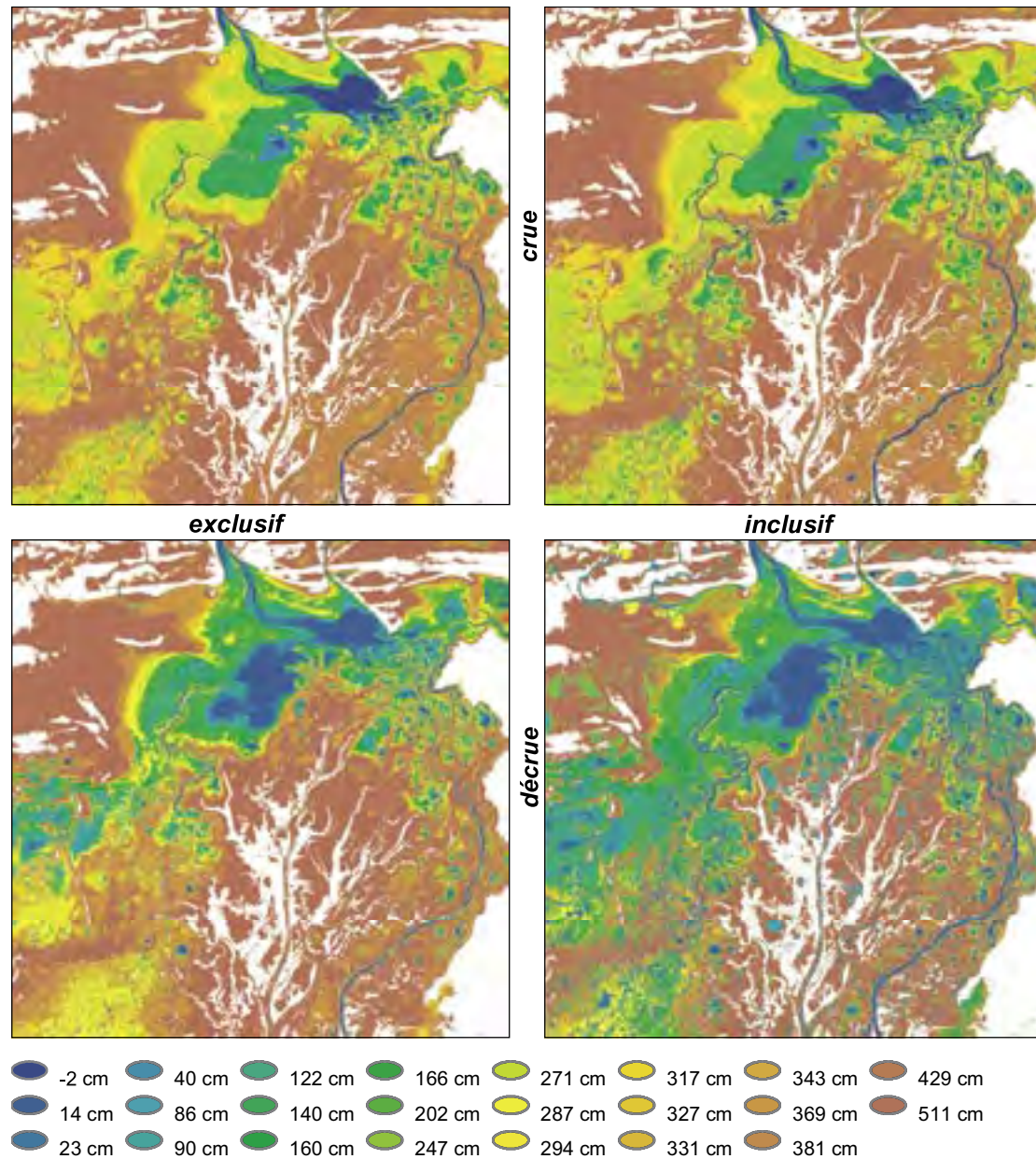


Fig. 3.7. Cartes hydrographiques composites des lacs Debo et Walado et de la zone méridionale (même zone présentée à la Fig. 3.6), sur la base des cartes hydrographiques (Fig. 3.5), présentées séparément pour le flux (en haut) et le reflux (en bas) des eaux et selon le modèle exclusif (à gauche) et le modèle inclusif (à droite).

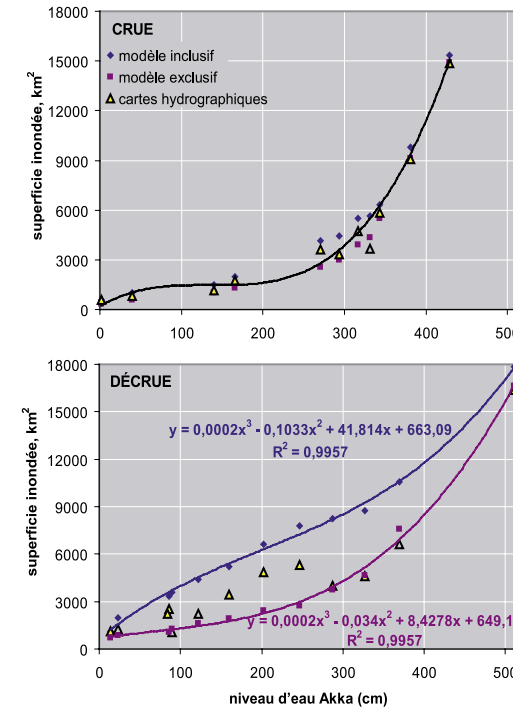


Fig. 3.8. La superficie de la zone inondée (km²) en fonction du niveau d'eau pendant le flux (en haut) et le reflux (en bas) des eaux. La zone inondée, telle qu'elle ressort des images satellite (Fig. 3.5), est indiquée par des triangles jaunes (couverture totale) et des triangles ouverts (uniquement la partie méridionale du Delta). Les superficies selon le modèle inclusif et le modèle exclusif sont indiquées. L'écart entre les deux modèles est modeste pendant le flux des eaux, mais considérable pendant le reflux des eaux. La ligne de régression est déterminée en faisant la moyenne des deux modèles. Le modèle exclusif relatif au flux des eaux décrit la situation avec une pluviométrie locale peu abondante. Avec des pluies abondantes dans le Delta Intérieur, le modèle inclusif serait plus approprié. Le modèle exclusif relatif au reflux des eaux renvoie aux années pendant lesquelles le niveau de pointe de l'inondation était très bas, ce qui n'avait pas permis aux lacs isolés de se remplir d'eau. Quant au modèle inclusif, il renvoie à une année de forte inondation, mais toujours avec une surestimation de la superficie inondée. Les équations de régression des deux modèles sont présentées.

lorsque aucune image de la zone septentrionale n'est disponible. Pour ce faire, on utilise un algorithme distinct, dans lequel les images où le niveau d'eau est similaire sont utilisées pour calculer la superficie couverte par l'eau dans la zone septentrionale du Delta.

La Fig. 3.8 montre que la superficie inondée est presque similaire tant pendant le flux que lors du reflux des eaux, du moins selon le modèle exclusif. Ce modèle présente la zone inondée reliée au fleuve et considère la quasi-totalité des zones non reliées à celui-ci comme étant sèches.

La différence entre les modèles inclusif et exclusif est faible pour ce qui est de la crue. Ce qui laisse penser que, d'une manière générale, l'effet des précipitations est limité. Une équation commune fondée sur les valeurs moyennes des deux modèles se présente comme suit:

Flux des eaux < 511 cm

$$km^2 = 0,0005 cm^3 - 0,215 cm^2 + 28,807 cm + 194,36$$

($R^2 = 0,995$) 3.2

où:

km^2 = superficie totale inondée dans le Delta Intérieur du Niger

cm = niveau d'eau à Akka

Par contre, la différence entre le modèle inclusif et le modèle exclusif est grande pour ce qui est de la décrue. Ceci indique qu'un nombre accru de zones seraient restées couvertes d'eau si le niveau des eaux avait été élevé au cours des mois précédents. Zwarts et al. (2001) ont calculé la superficie des zones reliées et non reliées au système fluvial pour chacune des images satellite. Tel qu'il ressort de leur analyse, que pendant la décrue, environ 50% de la zone inondée est déconnectée du fleuve, une fois que les eaux baissent à un niveau compris entre 100 et 300 cm à Akka. En année sèche, avec un niveau d'eau maximum faible comme ce fut le cas 1984, la plupart de ces zones restent sèches pendant toute l'année. La Fig. 3.9 montre que superficies réelles mesurées en 1984 correspondent aux superficies d'après le modèle exclusif I. Cependant, pour toutes les images récentes, les superficies réelles sont comprises entre les estimations selon le modèle inclusif et le modèle exclusif. En d'autres termes, la superficie est toujours surestimée au titre du modèle inclusif, même lorsque le niveau d'eau a été très élevé. Par conséquent, afin d'assurer une meilleure prévision de la superficie moyenne inondée au moment du reflux des eaux, il convient d'utiliser la moyenne des deux modèles.

Reflux des eaux < 511 cm:

$$\text{km}^2 = 0,0002 \text{ cm}^3 - 0,0687 \text{ cm}^2 + 25,121 \text{ cm} + 656,14$$

($R^2 = 0,997$)

3.3

Le niveau d'eau maximal à Akka pour notre sélection d'images satellite est de 511 cm, mais le niveau s'est élevé jusqu'à 625 cm. Par conséquent, nous supposons qu'à un tel niveau élevé d'eau, la zone inondable doit être aussi vaste qu'indiquée sur les cartes topographiques: 31 000 km² (Fig. 3.1). Toujours est-il que la superficie inondée à un certain moment devrait être plus réduite, car une partie de la zone inondée au sud-ouest aurait déjà été asséchée, tandis que l'inondation serait encore en train de couvrir les zones situées au nord-est. Il est probable que la superficie inondée n'ait jamais dépassé 25 000 km² avec un niveau d'eau de 625 cm à Akka.

En extrapolant l'équation (3.3) relative au flux des eaux à un niveau d'eau de 625 cm à Akka, l'étendue de l'eau prévue est de 56 300 km², soit 2,25 fois plus que les 25 000 km² escomptés. L'exposant est moins élevé en ce qui concerne le reflux des eaux (équation 3.4). Mais, même dans ce cas de figure, la superficie extrapolée, à un niveau d'eau de 625 cm, serait de 38 300 km², soit 1,53 fois plus que prévu. Lorsqu'une superficie inondée de 25 000 km², avec un niveau d'eau de 625 cm, est ajoutée aux données relatives au flux des eaux, il est clair que la relation doit être décrite par une courbe en S. Lorsqu'on en fait autant pour le reflux des eaux, l'équation (3.3) subit une légère modification:

Reflux des eaux < 625 cm:

$$\text{km}^2 = 0,00007 \text{ cm}^3 - 0,0032 \text{ cm}^2 + 13,408 \text{ cm} + 1044,2$$

($R^2 = 0,997$)

3.4

L'équation (3.4) a été utilisée pour calculer la superficie de la zone inondable pour le niveau d'eau le plus élevé à Akka, depuis le début des mesures en 1956. La Fig. 3.9 montre la variation du niveau d'eau maximal et la superficie de la zone inondable correspondante. Etant donné la non-linéarité de la relation entre l'ampleur de l'inondation et la superficie inondée, la variation de la superficie est plus marquée par rapport au niveau d'eau. Le niveau d'eau maximal depuis 1956 a été enregistré en 1957 (625 cm), tandis que le niveau le plus bas, qui représentait environ la moitié du niveau maximal (336 cm), a été enregistré en 1984. La superficie inondée en 1957 s'élevait à 25 000 km², soit plus du triple de la superficie inondée en 1984 (7 800 km²).

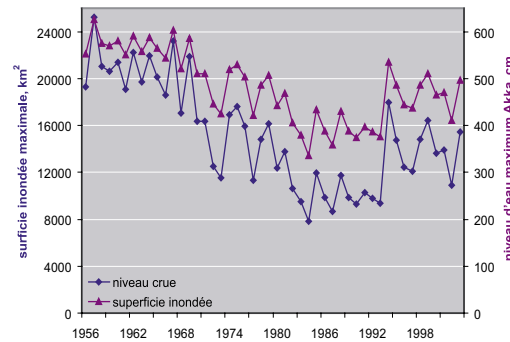


Fig. 3.9. Variation annuelle du niveau maximal de l'inondation (Akka, cm; échelle de droite) et de la superficie inondée maximale (km², échelle de gauche).

Le modèle digital d'élévation par dizaine de centimètres

L'inconvénient des cartes hydrographiques composites disponibles, telles que présentées à la Fig. 3.7, réside dans le fait que les intervalles entre les différents niveaux d'eau sont inégales. Pour dresser une carte hydrographique à intervalles égales, la ligne des hautes eaux est interpolée avec le niveau d'eau à chaque dizaine de centimètres supplémentaire (c'est-à-dire 10, 20, 30 cm, etc.), en utilisant une technique d'interpolation pycnophylactique (Tobler 1992). Le document peut être téléchargé à partir du site web de ESRI (<http://arcscrips.esri.com>). Une belle image de la manière dont fonctionne l'algorithme est disponible sur le site <http://www.ncgia.ucsb.edu/pubs/gdp/pop/pycno.html>. D'autres applications sont disponibles sur le site <http://mywebpages.comcast.net/ldecola/baltwash/autocarto/>. Nous avons effectué l'interpolation avec 60 itérations, ce qui nous a permis d'obtenir des cartes hydrographiques composites par 10 cm. La Fig. 3.10 montre la carte hydrographique par 50 cm du flux des eaux. Les Fig. 3.11 et Fig. 3.12 présentent le même type de carte hydrographique du reflux des eaux d'après respectivement les modèles inclusif et exclusif.

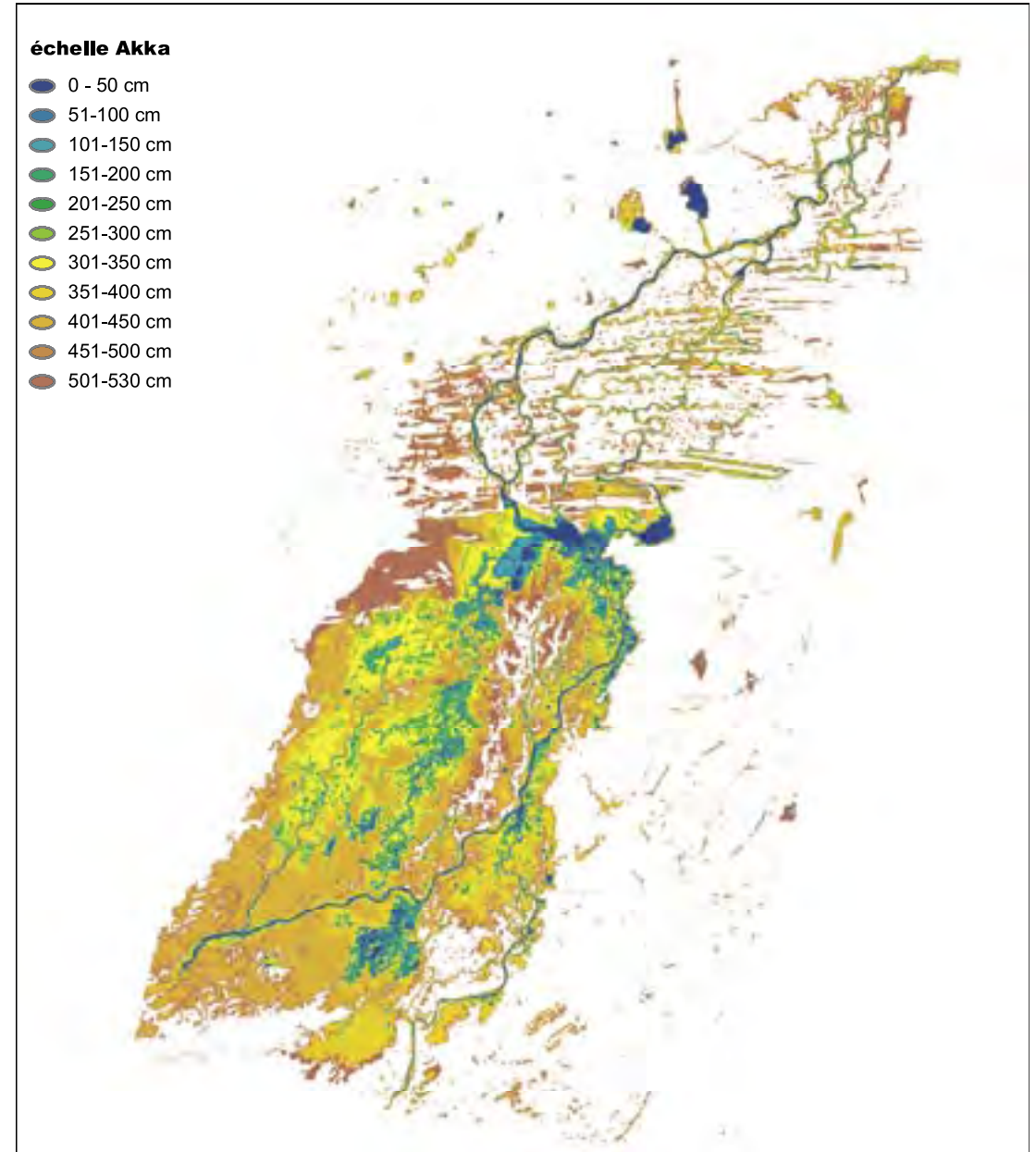


Fig. 3.10. Zone inondée dans le Delta Intérieur pendant le flux des eaux, en fonction du niveau d'eau à Akka, sur la base des cartes hydrographiques présentées à la Fig. 3.5, en utilisant le modèle inclusif pour combiner les cartes et par la suite une technique d'interpolation pour construire la superficie inondée par 10 cm. La carte montre la modification de la superficie inondée par 50 cm.

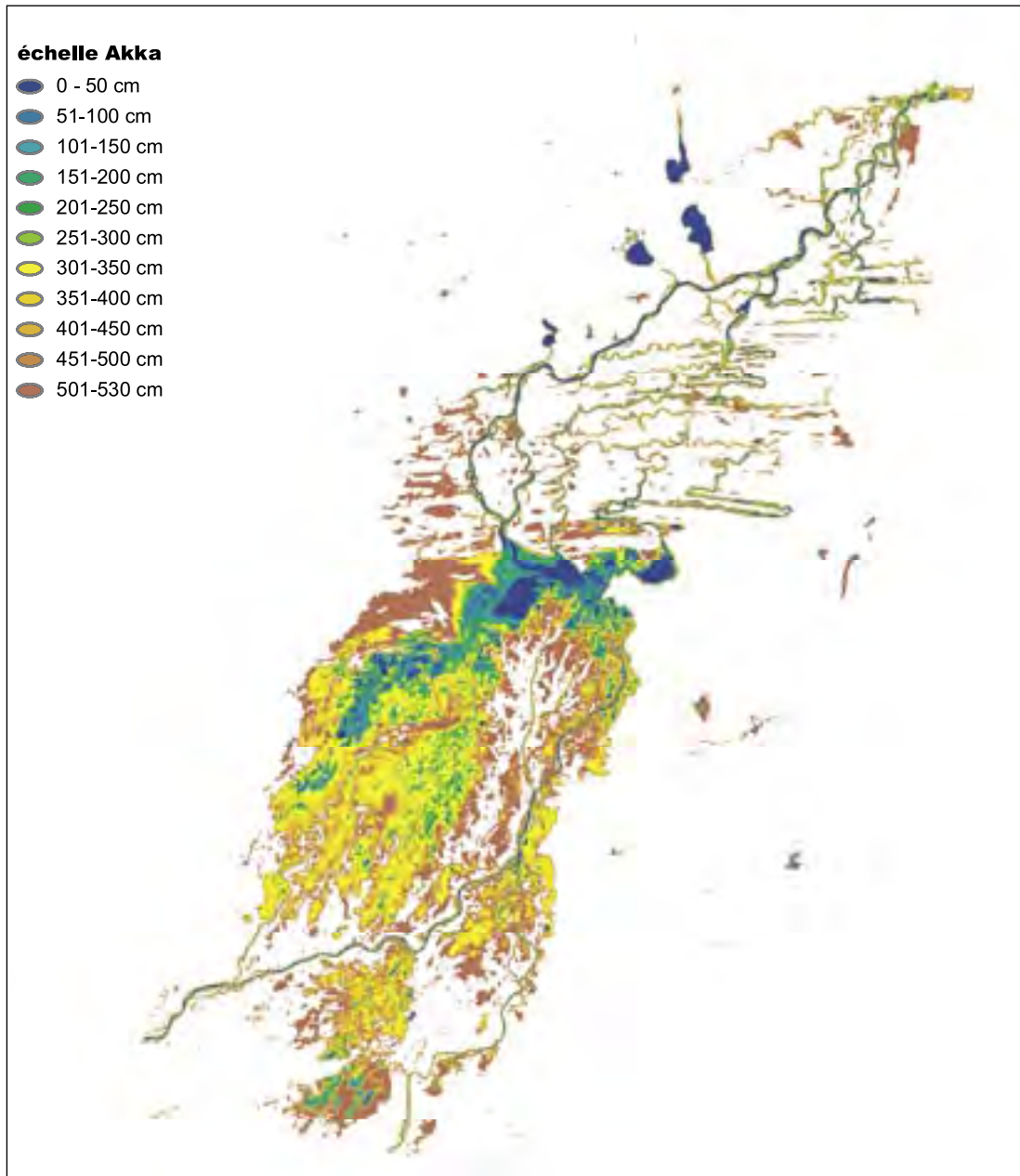


Fig. 3.11. Même type de carte qu'à la Fig. 3.10, mais pour le reflux des eaux, utilisant une fois de plus le modèle exclusif pour combiner les cartes hydrographiques. Telle est la situation lorsque le niveau d'eau maximal a été très bas.

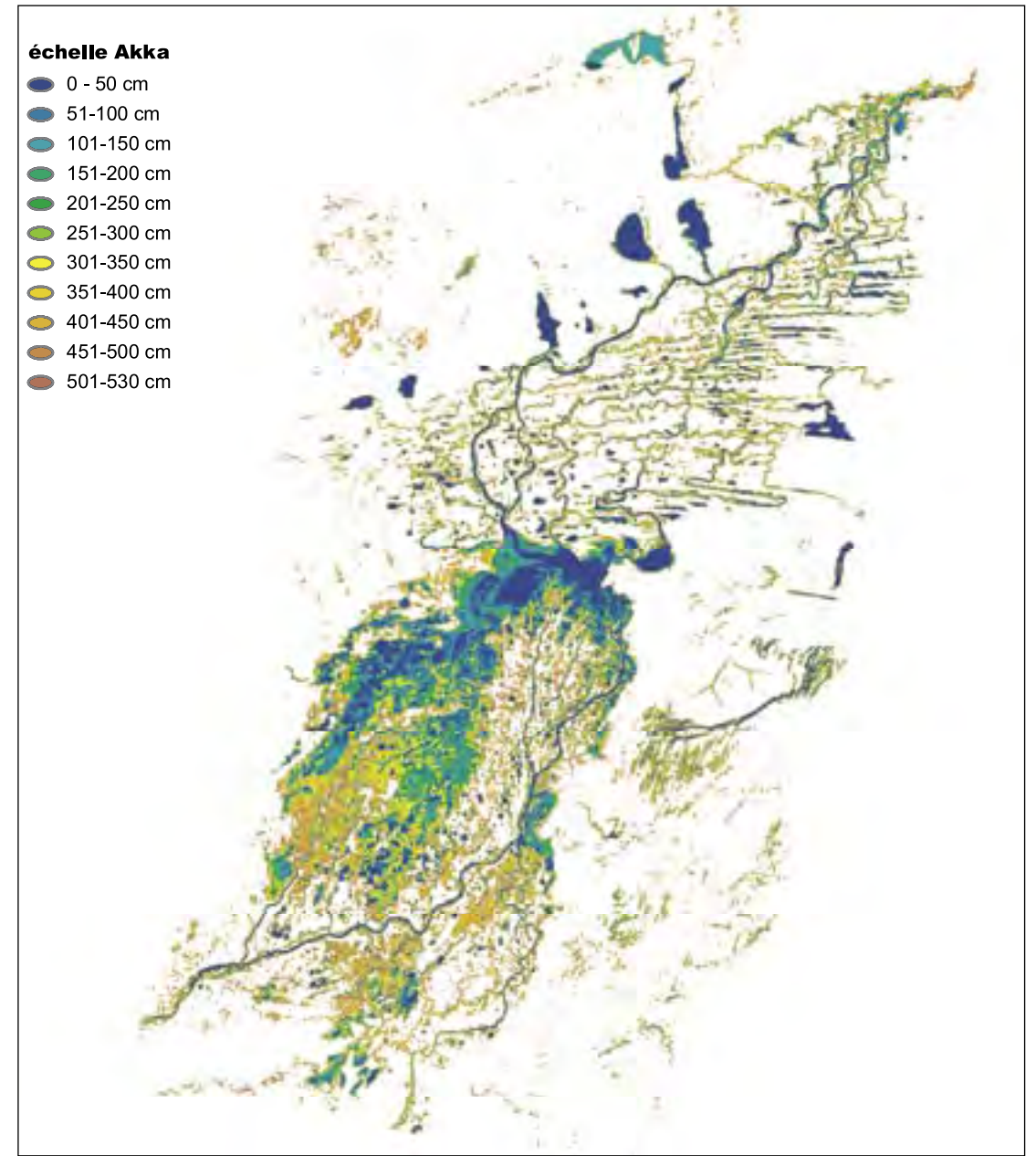


Fig. 3.12. Même type de carte qu'aux Fig. 3.10 et Fig. 3.11 pour le reflux des eaux, mais en utilisant le modèle inclusif pour combiner les cartes hydrographiques. Telle est la situation lorsque le niveau d'eau maximal a été très élevé.

3.6 Impact de l'irrigation et des réservoirs

De même qu'au Chapitre 2, l'étude a suivi deux approches en vue de déterminer l'impact des activités humaines susmentionnées sur le débit du fleuve. La première méthode est fondée sur l'approche du bilan hydrique du modèle RIBASIM. La seconde approche consiste en une analyse statistique des interactions entre les barrages, les réservoirs et le débit du fleuve dans le Delta Intérieur du Niger. Les deux modèles peuvent être utilisés de manière complémentaire.

Approche du bilan hydrique

Tel qu'expliqué au Chapitre 2, l'irrigation et les réservoirs de stockage ont des impacts sur le débit du fleuve dans le Delta Intérieur du Niger. L'irrigation effectuée par l'Office du Niger réduit le débit du fleuve. L'incidence du réservoir de Sélingué varie selon les saisons et n'est pas assez directe. Le débit du fleuve diminue pendant la crue, mais augmente pendant la saison sèche (voir Figures 2.17 à 2.19). La Fig. 2.22 indique que le futur barrage de Fomi devrait avoir un impact plus considérable sur le débit du fleuve que celui de Sélingué.

Les conséquences de la réduction du débit du fleuve dans le Delta Intérieur Niger peuvent être analysées de deux manières. Etant donné que le niveau d'eau et le débit du fleuve sont mesurés dans différentes stations hydrologiques, il est possible d'effectuer une analyse statistique en vue de prévoir le niveau d'eau et le débit en aval, à partir des données recueillies en amont. Cette analyse sera effectuée à la Section 3.7. La seconde approche consiste à utiliser le modèle du bilan hydrique du RIBASIM. Cette approche est décrite dans la présente section.

La partie SO du Delta Intérieur est inondée 1 à 2 mois avant la partie NE. Cette situation complique sérieusement l'étude du bilan hydrique pour l'ensemble de la zone. C'est la raison pour laquelle Passchier et al. (2004) ont divisé le Delta Intérieur en huit zones (Fig. 3.13).

A cette étape, les zones situées à l'ouest et au nord du bassin appelé «Sud de Diré» ont été ignorées. Passchier et al. (2004) utilisent les cartes hydrographiques établies à l'aide des images satellite présentées à la Fig. 3.5 pour calculer le rapport entre le niveau d'eau et la superficie de la zone couverte par l'eau pendant le flux et le reflux des eaux pour chacune des huit zones (Annexe 4). Par la suite, cette information est utilisée pour déduire le

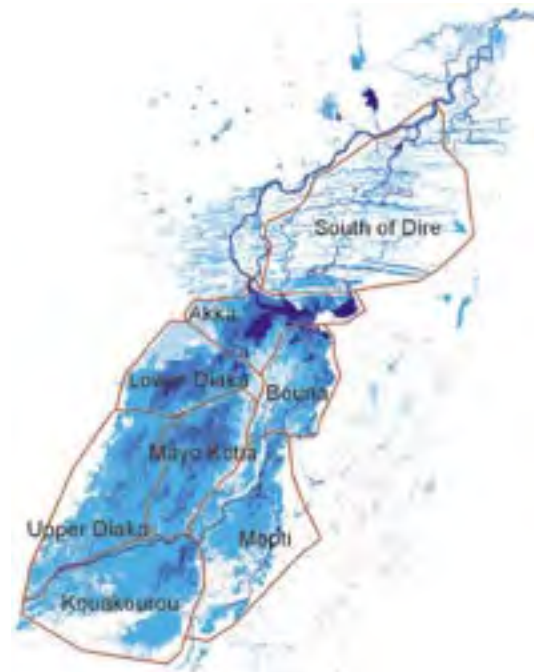


Fig. 3.13. Plaines submersibles du Delta Intérieur du Niger, répartie en huit zones. Les différentes nuances bleues indiquent la zone inondée pendant le flux des eaux à 23, 140, 317, 429, 511 cm (voir Fig. 3.5).

rapport entre le niveau d'eau et le volume d'eau.

La partie la plus ardue de l'étude du bilan hydrique est l'estimation du débit réel entre les huit zones. Le temps d'écoulement de l'onde haute à travers le Delta varie en fonction de l'ampleur de l'inondation. Lorsque l'inondation est de faible ampleur, le temps d'écoulement est de 1 à 2 mois. Mais, ce temps peut

être plus long si l'ampleur de l'inondation est plus grande. (Quensière et al 1994, Orange et al. 2002, Picouet et al. 2002, Zwarts & Diallo 2002). Au titre de ce modèle, l'on calcule le débit en multipliant une section transversale fixe par différents débits moyens. En définitive, un débit moyen de 0,08 m/s donne un temps d'écoulement d'environ 1,5 mois.

La prochaine étape consiste à déterminer la répartition de l'écoulement de l'eau à travers les différentes zones. Les ratios de bifurcation finale étaient de 25% à travers le Diaka, 30% à travers le Mayo Kotia et le reste à travers le Niger. En outre, on suppose que 20% du débit du Bani bifurquait dans la zone d'inondation située entre le Bani et le Niger, près de Kouakourou.

Sur la base des estimations ci-dessus (voir également l'Annexe 4), le processus d'inondation peut être simulé. La simulation permet, notamment, de faire des approximations de l'effet de la réduction de l'écoulement des eaux dans le Niger. Les réservoirs situés en amont du Delta Intérieur doivent également entrer en ligne de compte dans le modèle RIBASIM.

Comme expliqué au Chapitre 2.5, deux cas de figure du modèle RIBASIM ont été inclus dans la présente étude. Le premier a trait à une situation dans laquelle il n'y aurait aucune gestion du niveau d'eau au niveau du réservoir, ce qui est irréaliste. Par conséquent, le présent chapitre n'évalue que le deuxième cas, où l'on décrit l'impact des barrages dans une situation de production

industrielle d'électricité, ce qui suppose la gestion complète du réservoir.

La Fig. 3.14 montre l'impact de l'Office du Niger et l'impact conjugué de l'Office du Niger et du réservoir de Sélingué sur le niveau d'inondation. Le niveau d'inondation est réduit de 5 à 25 cm, en raison de l'irrigation assurée par l'Office du Niger. L'impact de celui-ci est durement ressenti entre janvier et février. En raison des eaux libérées par Sélingué, le niveau de l'eau dépasse les 50 cm entre janvier et avril. Par conséquent, l'effet combiné de l'irrigation et du réservoir de Sélingué est que le niveau d'eau augmente de plus de 30 cm pendant ces mois. Le réservoir de Sélingué fait baisser le niveau d'inondation pendant la période d'août à octobre de 10 à 20 cm supplémentaires. Tel qu'indiqué plus explicitement à la Fig. 3.15, l'impact des deux structures varie tout au long de l'année. En l'absence du Sélingué et de l'Office du Niger, le niveau d'inondation augmente de 20 cm en août et septembre et baisse de 30 cm au cours de la période de janvier à mars.

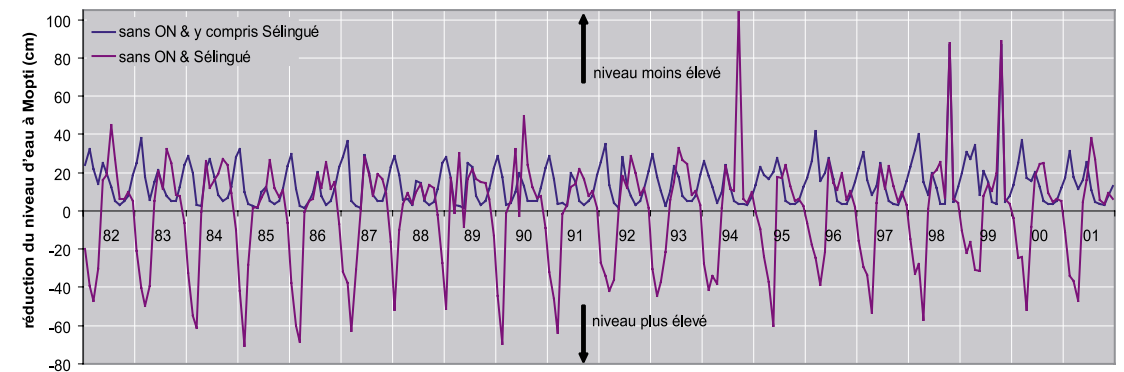


Fig. 3.14. Réduction du niveau d'inondation à Mopti (cm) en raison de l'irrigation assurée par l'Office du Niger et impact conjugué de cette irrigation et du réservoir de Sélingué. Il convient de noter qu'une baisse du niveau d'eau est positive, tandis qu'une hausse de ce niveau est négative. Source: WLI Delft Hydraulics.

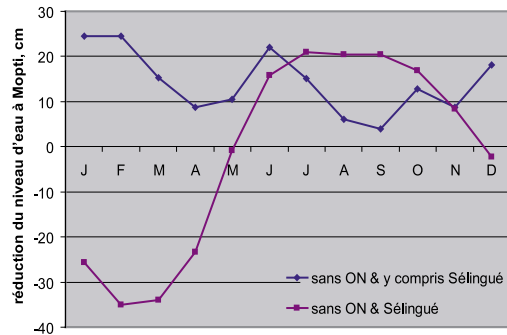


Fig. 3.15. Variation saisonnière de l'impact de l'Office du Niger et de celui de l'Office du Niger + Sélingué sur le niveau d'inondation à Mopti; mêmes données que dans la Fig. 3.14.

Approche statistique

Le niveau d'inondation dans le Delta Intérieur peut être estimé avec précision à partir du débit du Niger et du Bani au niveau du Delta Intérieur à l'aide de l'analyse statistique. Ces prévisions sont fondées sur la comparaison de différentes séries périodiques du débit du fleuve et du niveau des eaux. Ces données seront utilisées pour vérifier la pertinence de modèle du bilan hydrique décrit plus haut.

Débit du fleuve et niveau d'inondation

Afin de mettre en exergue l'impact de l'irrigation et des réservoirs sur le Delta Intérieur, il est essentiel d'appréhender la relation entre le débit et le niveau d'eau dans le Delta Intérieur lui-même. Etant donné que Akka est situé dans la partie centrale du Delta, cette station hydrologique a été choisie aux fins de la



description de la fluctuation du niveau d'eau. Il faut approximativement un mois pour que les eaux qui affluent dans le Delta Intérieur parviennent à Akka. Par conséquent, nous comparons le niveau d'eau mensuel moyen à Akka avec le débit mensuel moyen des eaux du fleuve affluent dans le Delta Intérieur. Le débit est déterminé par la somme des débits à Ké-Macina, au bord du Niger à l'entrée du Delta Intérieur, et à Douana, au bord du Bani.

Lorsque le niveau d'eau mensuel à Akka est mis en rapport avec le débit du Niger+Bani au cours du mois précédent, une constellation de points apparaît, qui ne révèle l'existence d'aucune corrélation. Cependant, en ventilant les données par mois, le rapport entre le niveau d'eau et le débit du fleuve semble apparaître plus distinctement. Néanmoins, le rapport diffère selon les mois. Cela est illustré à la Fig. 3.16. La fonction de puissance pour les mois d'août, septembre et octobre étant exactement la même, ces trois mois sont réunies. La régression montre une cohérence très nette. Par conséquent, le niveau d'eau pendant la crue peut être

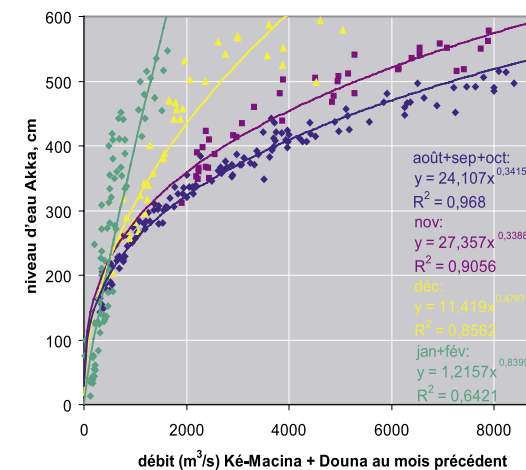


Fig. 3.16. Niveau d'eau à Akka en fonction du débit du fleuve à Ké-Macina et Douana au cours du mois précédent. Toutes les données découlent des mesures quotidiennes, mais ont été pondérées par mois. La figure montre séparément les corrélations pour quatre périodes: août-octobre (bleu), novembre (rouge), décembre (jaune) et janvier-février (vert). Les équations de régression des fonctions de puissance sont également posées, ainsi que la variance expliquée (R²).

calculé avec précision à l'aide du débit du fleuve.

La Fig. 3.16 montre également les corrélations entre l'écoulement du fleuve et le niveau d'eau pour les autres mois. Ces corrélations peuvent également être décrites à l'aide de fonction de puissance, mais la cohérence n'est pas aussi nette que pour la période d'août à octobre. Le graphique semble indiquer que tard dans l'année, le même débit du fleuve correspond à un niveau d'eau plus élevé que plus tôt dans la saison. Cela s'explique par le fait que le débit pendant les mois précédents a déjà provoqué l'inondation du Delta Intérieur et que le débit du fleuve dans le mois suivant ne fait qu'augmenter de l'eau déjà présente dans l'étendue d'eau existante. En d'autres termes, le niveau d'eau à Akka est tributaire du débit entrant dans le Delta Intérieur un, deux, trois, quatre mois ou plus auparavant. Une régression multiple a révélé que le niveau d'eau en octobre pouvait parfaitement être prévu sur la base du débit en septembre. Le débit en juillet et août n'a aucune incidence sur le niveau d'eau en octobre. Par contre, le niveau d'eau en novembre dépend du débit du fleuve au cours des trois mois précédents (c'est-à-dire août, septembre et octobre). Il en va de même pour le niveau d'eau en décembre, qui est tributaire du débit en septembre, octobre et novembre. Les équations qui représentent le rapport entre le niveau d'eau à Akka en novembre ou décembre (cm) et le débit du Bani+Niger (m³/s) au cours des trois mois précédents sont posées ci-dessous. Il convient de noter que la variance très élevée R² indique que la cohérence est très nette.

$$\text{Novembre cm} = \exp(2,775 + 0,164 \cdot \ln(O) + 0,173 \cdot \ln(S) + 0,066 \cdot \ln(A)) \quad (R^2 = 0,969) \quad 3.5$$

$$\text{Décembre cm} = \exp(0,793 + 0,216 \cdot \ln(N) + 0,122 \cdot \ln(O) + 0,306 \cdot \ln(S)) \quad (R^2 = 0,970) \quad 3.6$$

où:

cm = le niveau d'eau à Akka en novembre ou décembre

A, S, O ou N = le débit du Bani+Niger (m³/s) en août, septembre, octobre ou novembre.

L'impact de l'irrigation et des réservoirs sur le niveau d'inondation

La fonction de puissance d'août à octobre, telle qu'indiquée à la Fig. 3.16, et les deux fonctions séparées de novembre et décembre présentées dans les équations (3.5) et (3.6) peuvent à présent être utilisées pour calculer le niveau d'eau résultant du débit du fleuve au cours du mois précédent. Les calculs sont effectués

pour les données du débit mensuel réel, ainsi que les débits du fleuve reconstitués représentant les différents scénarios évoqués au Chapitre 2. Ces scénarios intègrent les débits du fleuve en l'absence de toute irrigation, en l'absence du barrage de Sélingué et avec le barrage de Fomi. Par la suite, des comparaisons sont établies entre les trois séries reconstituées des niveaux d'eau mensuels et les niveaux d'eau mensuels réels. Les résultats sont indiqués dans les premières colonnes du Tableau 3.4. La cohérence de l'analyse de régression est extrêmement nette.

Les équations de régression peuvent, à présent, être utilisées pour illustrer l'impact de l'irrigation et du réservoir de Sélingué, ainsi que du futur réservoir de Fomi, sur le niveau d'eau à Akka. L'impact de ces trois structures, qui a été décrit dans les colonnes de droite du Tableau 3.4, est tributaire du niveau d'eau, mais varie également selon les mois.

- Office du Niger: L'Office du Niger réduit le niveau d'eau à Akka d'environ 10 cm, lorsque le niveau de l'eau est de 250 cm et le fait tomber graduellement à

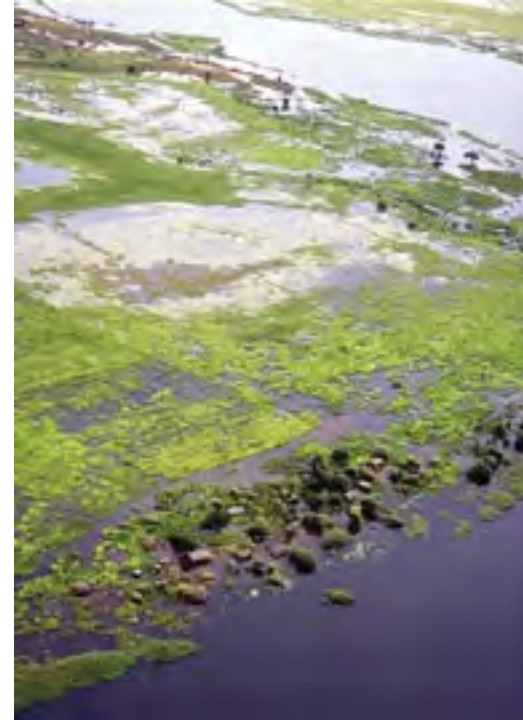
5 cm lorsque le niveau d'eau atteint 550 cm. L'étude du bilan hydrique présentée à la section précédente a révélé que l'Office du Niger causait une baisse du niveau de d'eau de l'ordre de 5 à 10 cm, ce qui concorde parfaitement avec les prévisions statistiques.

- Sélingué: Le réservoir de Sélingué réduit de 15 à 20 cm supplémentaires le niveau d'inondation de septembre à décembre, ce qui corrobore exactement, une fois de plus, les conclusions de l'étude du bilan hydrique (Fig. 3.15). Les mois ne diffèrent pas pour les niveaux d'inondation moyen et élevé. Toutefois, lorsque le niveau d'eau est bas, l'impact du réservoir de Sélingué en septembre est deux fois plus important qu'en décembre. Cette différence est prévisible, dans la mesure où le volume d'eau retenu dans le réservoir est important au début de la vague d'inondation et baisse graduellement au cours des mois suivants (Fig. 2.18).
- Fomi: L'impact du réservoir de Fomi a été simulé en supposant que la réduction de l'inondation serait étroitement liée à la gestion du réservoir de Sélingué,

Tableau 3.4. Niveau d'eau à Akka (cm) sans l'irrigation assurée par l'Office du Niger ni le réservoir de Sélingué («sans ON & Sél»), sans l'irrigation assurée par l'Office du Niger mais avec l'existence du réservoir de Sélingué («sans ON & et avec Sél»), et avec l'irrigation assurée par l'ON, et deux barrages – les barrages de Sélingué et de Fomi («actuelle + Fomi») en fonction du niveau d'eau actuel Akka (cm). La fonction linéaire est donnée pour quatre mois (a = constante, b = pente); R² = la variance expliquée. L'écart entre le niveau d'eau prévu et le niveau d'eau actuel d'après l'équation de régression est indiqué dans les colonnes de droite; les valeurs ne sont pas indiquées lorsqu'il est impossible de mesurer effectivement le niveau d'eau.

Scénario	Mois	a	b	R ²	Niveau d'eau Akka (cm) situation actuelle			
					250	350	450	550
Sans ON & Sél	Sept	43,5	+0,939	0,938	28,3	22,2		
	Oct	43,2	+0,937	0,981	27,5	21,2	14,9	
	Nov	43,5	+0,942	0,999	29,0	23,2	17,4	11,6
	Déc	32,1	+0,974	0,998	25,6	23,0	20,4	17,8
Avec ON & sans Sél	Sept	13,4	+0,974	0,999	6,9	4,3		
	Oct	14,7	+0,975	0,999	8,4	5,9	3,4	
	Nov	16,9	+0,975	0,999	10,7	8,1	5,6	3,1
	Déc	19,8	+0,975	0,999	13,6	11,1	8,6	6,0
Situation actuelle + Fomi	Sept	-155,6	+1,231	0,938	-97,9	-74,8		
	Oct	-119,2	+1,178	0,839	-74,7	-56,9	-39,1	
	Nov	-106,4	+1,130	0,974	-73,9	-60,9	-47,9	-34,9
	Déc	-48,4	+1,020	0,974	-43,4	-41,4	-39,4	-37,4

3.7 Statistiques annuelles relatives à l'inondation



mais multiplié par 2,9. Il convient de noter que 2,9 correspond au ratio des volumes d'eau à Fomi et Sélingué. L'impact du futur réservoir de Fomi sur l'inondation du Delta Intérieur sera considérable. Même avec un niveau d'inondation de 450 cm et plus, le niveau d'eau serait réduit de 35 à 40 cm. Cette réduction s'accroîtrait et serait de 50 à 100 cm avec un niveau d'inondation plus bas au début de la saison.

Le processus d'inondation du Delta Intérieur connaît une variation annuelle considérable. Les prochains chapitres analyseront la mesure dans laquelle les valeurs écologiques et économiques du Delta Intérieur sont tributaires de l'ampleur de l'inondation. En déterminant cette relation, nous pouvons estimer les impacts en aval, de la baisse du débit du fleuve provoquée par l'irrigation et la gestion du réservoir en amont, sur l'économie et l'écologie du Delta.

Afin de déterminer le lien entre l'inondation et les impacts en aval, il convient d'abord de définir la méthode de mesure du niveau de l'inondation à adopter. Il existe au moins cinq manières de décrire la fluctuation annuelle de l'inondation: 1) niveau maximum d'inondation, 2) superficie inondée maximum, 3) durée de l'inondation, 4) débit annuel ou 5) débit maximal des eaux du fleuve débordant dans les plaines submersibles. Néanmoins, chacune de ces mesures peut être décrite de plusieurs manières. A titre d'illustration, le niveau d'inondation du Delta Intérieur a été mesuré dans plusieurs stations hydrologiques. Il existe une forte corrélation entre toutes ces variables, dans la mesure où le débit du fleuve détermine le niveau d'inondation maximal, ainsi que la superficie de la zone inondée.

Ensuite, nous devons déterminer laquelle des mesures d'inondation révèle le lien le plus étroit entre la production halieutique, pastorale ou rizicole annuelle. Cette mesure est susceptible de faire apparaître des différences entre secteurs. Par exemple, la production halieutique s'expliquerait probablement mieux par la superficie de la zone inondée et la durée de l'inondation. Par contre, la production rizicole devrait surtout dépendre du niveau maximal d'inondation et du moment de l'année où les rizières sont inondées. Enfin, la production pastorale pourrait dépendre essentiellement de la production d'une espèce d'herbe flottante (i.e. «bourgou»), qui dépend à son tour du niveau maximal d'inondation et de la durée de l'inondation.

Cette section donne un aperçu des corrélations qui existent entre les différentes statistiques relatives à l'inondation. La section suivante aborde la question de l'impact du réservoir de Sélingué, de l'Office du Niger et du futur barrage de Fomi sur les différentes séries de données. Une synthèse de toutes les mesures et des valeurs qui en ont été déduites est présentée à l'Annexe 5.

Débit du fleuve et inondation

La Fig. 3.16 indiquait déjà comment le niveau d'inondation en septembre et octobre était déterminé par le volume des flux d'eau vers le Delta un mois auparavant. Plus tard dans la saison, le niveau d'inondation est fortement tributaire de l'écoulement du fleuve au cours des trois précédents mois (Tableau 3.4). Le niveau d'inondation maximal est également étroitement lié à l'écoulement des eaux au cours des précédents mois. Lorsque le niveau d'inondation maximal à Akka est mis en rapport avec le débit combiné du Niger et du Bani, la cohérence est la plus nette en prenant le niveau d'inondation comme une fonction de l'écoulement du fleuve en septembre (voir Equation 3.7 ci-dessous).

$$cm = 17,762 \text{ débit}^{0,3872} \quad (R^2 = 0,8902) \quad 3.7$$

où:

cm = niveau d'eau maximal à Akka

débit = débit du fleuve (m³/s) pour Ké-Macima+Douna en septembre.

La cohérence s'améliore davantage lorsque le niveau d'inondation est mis en rapport avec l'écoulement moyen du fleuve en août, septembre et octobre.

$$cm = 16,801 \text{ débit}^{0,4038} \quad (R^2 = 0,9313) \quad 3.8$$

où:

cm = niveau d'eau maximal à Akka

débit = débit moyen du fleuve (m³/s) pour Ké-Macima+Douna d'août à octobre.

La superficie de la zone inondée est étroitement liée au niveau d'inondation (Section 3.4). Lorsque la superficie inondée maximale pour les différentes années est mise en rapport avec le débit du fleuve, la fonction devient:

$$km^2 = 24,497 \text{ débit}^{0,7651} \quad (R^2 = 0,9245) \quad 3.9$$

où:

km² = superficie inondée de la zone indiquée à la Fig. 3.9-3.11

débit = débit moyen du fleuve (m³/s) pour Ké-Macima+Douna d'août à octobre.

Il existe une forte corrélation entre le débit, le niveau d'inondation et la superficie inondée annuelles de pointe. En statistique, ceci revient à dire que ces trois variables décrivent le même processus.

Niveau et durée d'inondation

Le niveau d'inondation est étroitement lié à la durée de l'inondation. Pendant une année où le niveau d'inondation maximal est élevé dans le Delta Intérieur, l'inondation dure quatre mois, ce qui est plus long qu'en année de faible inondation. Tel qu'indiqué à la Fig. 3.17, l'onde arrive un mois auparavant et demeure pendant trois mois supplémentaires. Afin de constituer cette figure, toutes les mesures effectuées depuis 1944 ont été subdivisées en six catégories, en fonction du niveau d'eau le plus élevé dans cette année précise. A Mopti, un niveau maximal d'inondation compris entre 450 et 500 cm a été enregistré pendant trois années (1984-85, 1987-88, 1993-94). Pour ces trois années, on a calculé le niveau moyen des eaux par date. On a procédé de la même façon pour les autres catégories: 500 à 550 cm (n = 6), 550 à 600 cm (n = 9), 600 à 650 cm (n = 7), 600 à 650 cm (n = 20) et 650 à 700 cm (n = 12). Outre le fait que l'onde d'inondation dure

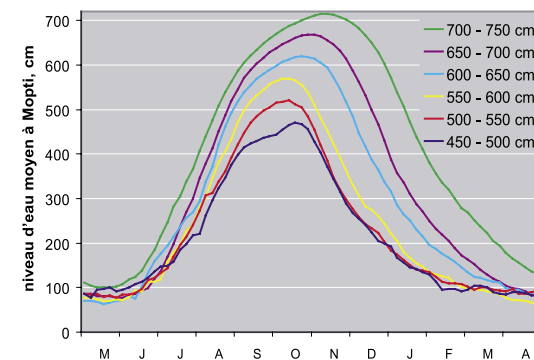


Fig. 3.17. Niveau quotidien moyen des eaux à Mopti pendant l'année hydrologique (1er mai-30 avril) pour six différents niveaux d'inondation.

plus longtemps lorsque l'inondation a une plus grande ampleur, la Fig. 3.17 montre que le niveau de pointe est atteint plus d'un mois après, si l'inondation est d'une grande ampleur. Il convient de relever que l'Annexe 5 présente le niveau d'eau maximal par an pour deux stations (i.e. Akka et Mopti), ainsi que la date spécifique de ce niveau de pointe. Les détails relatifs à la variation annuelle des dates d'inondation sont fournis par Zwarts & Diallo (2002).

La partie centrale du Delta Intérieur à un niveau de 300 cm, selon l'échelle d'Akka, est recouverte d'eau pendant 41% de l'année. Cependant, en raison des variations du niveau d'inondation, la couverture par l'eau varie entre 15% et 65% de l'année (Zwarts & Diallo 2002). La Fig. 3.18 présente le rapport entre la durée de l'inondation et le niveau d'eau maximal pour différentes zones à des niveaux de 100, 200 et 300 cm, respectivement. Les données sont calculées pour Akka, situé dans la partie centrale du Delta, à l'aide des mesures quotidiennes du niveau d'eau. Chaque point correspond à la moyenne d'une année. La pente positive des trois courbes indique une relation étroite entre le niveau d'eau maximal et la durée de l'inondation. Pour les années où l'on enregistre une inondation de très grande

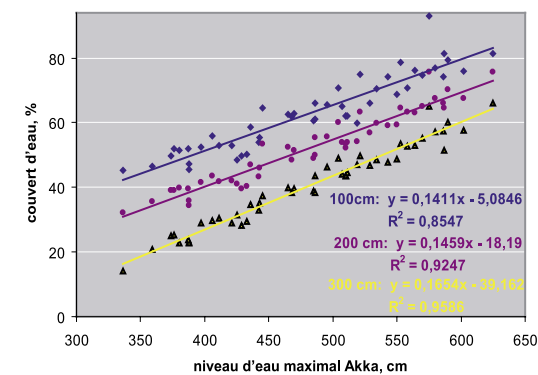


Fig. 3.18. Relation entre le niveau d'eau maximal et la durée de l'inondation des plaines submersibles à trois niveaux différents: 100, 200 et 300 cm, d'après le l'échelle d'Akka (% de l'année hydrologique 1er mai-30 avril de l'année suivante). Les données découlent de toutes les mesures quotidiennes effectuées depuis 1956 à 2004; chaque point correspond à une année.



ampleur, une partie du Delta Intérieur reste inondée au début de l'année hydrologique suivante qui commence le 1er mai. Par conséquent, le niveau d'eau de l'année précédente explique partiellement la variation observée le long des lignes de régression indiquées à la Fig. 3.18. Cependant, cette variation est faible. Par conséquent, on peut toujours valablement conclure que le niveau d'inondation maximal et la durée de l'inondation sont des données statistiques échangeables.

3.8 Analyse de scénario relative à la zone inondable

Les Sections 3.5 et 3.6 ont décrit l'impact de l'irrigation et des réservoirs sur le niveau d'inondation. Les résultats des calculs de bilan hydrique concordent avec les analyses statistiques relatives à l'impact de l'irrigation et du réservoir de Sélingué sur le niveau d'inondation dans le Delta Intérieur. En raison de la similitude des deux approches, une seule méthode sera appliquée dans les chapitres à suivre. Il s'agit de l'analyse statistique.

Outre les données initiales sur le niveau d'inondation, le débit du fleuve et l'utilisation de l'eau, l'Annexe 5 présente également un aperçu des équations utilisées pour prévoir les niveaux d'eau mensuels et le niveau d'eau maximal. Lorsqu'on ajoute le volume d'eau utilisé par l'Office du Niger et le réservoir Sélingué par mois au débit actuel du fleuve, le débit reconstitué peut être pris en compte dans l'équation relative au niveau d'inondation par rapport au débit du fleuve en vue de déduire le niveau d'inondation. En procédant ainsi, on calcule le niveau d'eau moyen en octobre et novembre pour les quatre scénarios. Bien que ces détails ne soient pas fournis à l'Annexe 5, les niveaux d'inondation peuvent être calculés à l'aide des équations qui y sont énoncées. La même Annexe décrit également comment le niveau d'eau maximal dans les quatre scénarios est déduit des niveaux d'eau prévus en novembre.

La relation entre le niveau d'eau à Akka et la superficie inondée dans le Delta Intérieur du Niger a été calculée à la Section 3.5 (voir équation 3.5). Cette équation est, à présent, utilisée pour calculer la superficie inondée dans les quatre scénarios. La Fig. 3.19 présente l'impact de l'irrigation et des réservoirs sur le niveau d'eau maximal à Akka et la superficie inondée maximale. En l'absence de l'Office du Niger, la superficie inondée augmenterait de 300 km², tandis qu'elle augmenterait de 600 km² sans Sélingué. La réduction absolue de la superficie est quasiment la même en septembre, octobre et décembre. L'impact du barrage de Fomi serait plus élevé. La superficie inondée passerait de 2 000 à 2 300 km², ce qui

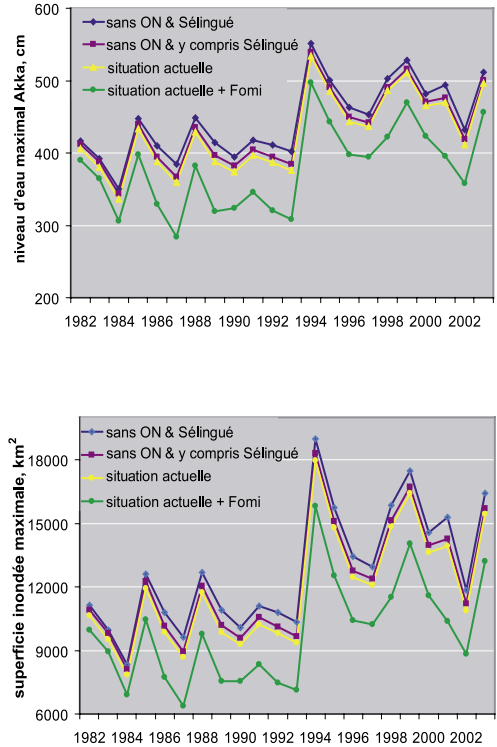


Fig. 3.19. Variation annuelle du niveau d'eau maximal à Akka et de la superficie inondée maximale dans le Delta Intérieur en novembre. L'impact de l'irrigation assurée par l'Office du Niger et des réservoirs actuel de Sélingué et futur de Fomi est présenté.

signifierait une réduction de la zone inondable de 48% en septembre et de 25% dans les mois suivants.

3.9 Conclusions

Les analyses du régime de l'inondation du Delta Intérieur du Niger effectuées ci-dessus nous fournissent une palette d'estimations en vue de l'évaluation de l'impact écologique, social et économique des structures mises en place par l'homme dans le Haut Niger. Ces différentes analyses seront présentées dans les chapitres suivants. Afin de récapituler les principales leçons apprises, les conclusions de l'analyse de l'inondation sont résumées ci-après.

- Les images satellite révèlent avec clarté les zones inondées dans le Delta Intérieur. En comparant les images prises à des dates différentes et avec des niveaux d'inondation différents, il est possible de décrire le processus d'inondation comme fonction du niveau d'inondation. Néanmoins, la relation diffère selon qu'il s'agit d'une situation de crue ou de décrue.
- Les pluies peuvent temporairement remplir les dépressions entre juin et septembre. Cela complique potentiellement la distinction entre zones inondées et zones remplies par les eaux de pluie. Cependant, l'analyse a démontré que l'importance des pluies locales est limitée et que celles-ci ne jouent un rôle que dans la description de l'inondation pendant le flux des eaux.
- La superficie inondée lors du reflux des eaux est tributaire du niveau d'inondation lui-même, ainsi que du niveau d'eau maximal atteint au cours de cette année précise. Pendant la décrue, environ la moitié des dépressions plus isolées et des lacs qui sont remplis lors des inondations de grande ampleur ne sont plus reliés au fleuve. Le temps que mettent ces étendues d'eau pour disparaître dépend de la profondeur de l'eau et du temps écoulé depuis que tout lien a été rompu entre ces plans d'eau et le système fluvial.
- Une carte du processus d'inondation du Delta Intérieur pendant la crue est disponible. Des couleurs différentes indiquent la superficie inondée à différents niveaux d'inondation. Deux autres cartes sont disponibles et ont trait aux situations de décrue. Elles

représentent la situation après une forte inondation et suite à une inondation de moindre ampleur, respectivement.

- La forte corrélation entre la superficie inondée et le niveau d'inondation permet d'évaluer la superficie de la zone la plus inondée au cours des cinquante dernières années. La superficie de la zone inondable varie entre 8 000 et 25 000 km².



- Le modèle RIBASIM de bilan hydrique a révélé que le niveau d'eau dans le Delta Intérieur au cours de la période d'août à octobre était réduite de 5 à 10 cm, en raison de l'irrigation assurée par l'Office du Niger, et de 15 cm supplémentaires, du fait de la gestion du réservoir de Sélingué.
- L'analyse statistique a complété ces estimations en comparant différentes séries longues de mesures hydrologiques. L'analyse prévoit avec précision le niveau d'eau dans la partie moyenne du Delta Intérieur, sur la base d'informations sur le débit du Niger et du Bani au cours des mois précédents. D'après cette analyse, le barrage de Fomi réduira le niveau d'inondation maximal de 45 cm supplémentaires.
- L'impact de l'irrigation et des réservoirs sur la superficie de la zone inondée a été également décrit. La gestion du réservoir de Sélingué entraîne une contraction de la zone inondable maximale de l'ordre de 600 km². L'Office du Niger et le barrage de Fomi sont susceptibles de causer une contraction supplémentaire de 300 et 2 000 km², respectivement.

1 LA POPULATION DU DELTA INTÉRIEUR DU NIGER



Leo Zwarts
Bakary Kone

4.1 Introduction

Partout à travers le monde, les plaines alluviales sont des systèmes biologiques extrêmement productifs. C'est l'une des raisons pour lesquelles celles de la zone sahélienne attirent tant de personnes. Le Delta Intérieur du Niger ne constitue pas une exception à cet égard. Il abrite un million de vies dont la plupart dépendent entièrement de ses ressources naturelles. Avec environ 25 habitants au km², la densité de la population de la région est beaucoup plus élevée que celle des milieux secs environnants.

La principale caractéristique du Delta Intérieur du Niger est la variation extrême des conditions naturelles entre saisons et d'une année et à une autre. Celle-ci s'explique par le changement constant du niveau des crues et les importantes variations saisonnières et annuelles de la pluviométrie. Nombre des populations vivant dans le Delta, notamment les bergers et les pêcheurs, se déplacent avec les zones inondées afin de mettre pleinement à profit les différences de productivité des différentes zones écologiques de la région. Les pasteurs doivent se déplacer avec leur bétail, tandis que la plupart des pêcheurs suivent également le front d'eau évolutif. Cependant, en raison de la variabilité de la pluviométrie et du niveau des crues, la productivité des ressources évolue également d'une année à une autre.

Les Chapitres 2 et 3 ont déjà fourni de nombreux détails sur la variation annuelle des précipitations et du niveau des crues. La production annuelle des ressources naturelles (poissons, bétail et céréales) est présentée aux Chapitres 5, 7 et 8. Le présent chapitre ne concerne que la population humaine elle-même, accordant une attention particulière à l'évolution démographique au cours des 30 dernières années. Cette description repose sur les résultats des trois recensements nationaux effectués au Mali en 1976 (Ministère du Plan, 1976), 1987 (Ministère du Plan, 1987) et 1998 (Ministère de l'économie et des Finances, 1998).

Le présent chapitre est structuré comme suit: la Section 4.2 présente les raisons qui ont milité en faveur du passage du système traditionnel de gestion des ressources naturelles dans le Delta Intérieur du Niger à une forme de gestion plus moderne. La Section 4.3, qui porte essentiellement sur l'évolution démographique dans le Delta Intérieur, procède à une évaluation des tendances qui se dégagent du recensement et du processus de dépeuplement. La Section 4.3 étudie également les corrélations entre dépeuplement, climat et crues dans le Delta. Elle accorde une attention particulière au rôle des lacs provisoires dans le processus de dépeuplement. Enfin, des conclusions sont tirées à la Section 4.4.

4.2 Évolution du système traditionnel

Exploitation des ressources naturelles

Pendant des siècles, les ressources naturelles du Delta Intérieur du Niger étaient réparties de façon équitable entre les populations. En saison sèche, les pasteurs peulhs venaient faire paître leur bétail dans les plaines où les populations bozo et somono pêchaient quelques mois plus tôt. En saison des pluies, peu avant que les crues ne recouvrent la zone, les agriculteurs (Marka,

Bambara, Sonraï, etc.) cultivaient le riz qu'ils récoltaient quelques mois plus tard, au moment de la décrue. Dans ce système traditionnel, chaque groupe ethnique fournissait une partie du repas quotidien, tandis que le reste de la nourriture était échangé dans le cadre des transactions commerciales au niveau local. Selon des estimations faites au début des années 80, environ 30% des populations du Delta étaient des pêcheurs, 30% appartenaient à la communauté agricole et les autres étaient des pasteurs peulhs ou des Rimaïbe.

Bref, dans le système traditionnel, les populations du Delta Intérieur exploitaient la production des ressources naturelles par trois moyens:

- les agriculteurs semi-sédentaires cultivaient le riz et le millet;
- les pêcheurs semi-nomades s'adonnaient à la pêche;
- les éleveurs semi-nomades élevaient des bovins, des ovins, des caprins, etc.



La Grande Sécheresse des années 70 et du début des années 80 a amené de nombreuses populations rurales du Delta Intérieur à abandonner leurs spécialisations. Les pêcheurs ont commencé à s'adonner à la riziculture – comme activité secondaire, tandis que les agriculteurs s'adonnaient à la pêche et à l'élevage. Certains Peulhs ont même commencé à cultiver le riz. Ces méthodes d'exploitation mixtes ont pris de l'ampleur ces dernières années et donné lieu, en définitive, à de nouvelles catégories professionnelles, notamment:

- les agropastoralistes et
- les agropêcheurs.

Gestion des ressources naturelles

Les Peulhs ont régné dans le Delta Intérieur du début du 19^e siècle à l'arrivée des Français en 1893. Ils ont imposé un système de gestion des ressources appelé la Dina qui était appliqué à tous les principaux systèmes de production. En vertu de ce système, la zone était répartie en un certain nombre de territoires de pâturage. Ainsi, la Dina consacrait le système de gestion des ressources existant. Le Dioro, chef de clan chez les Peulh, régnait sur chaque territoire. Cependant, la gestion effective des plaines alluviales était assurée par les «maîtres de l'eau» et les «maîtres de la terre». Le premier gérait l'accès aux zones de pêche, tandis que le second faisait de même pour les plaines alluviales drainées. Dans la pratique, les deux maîtres géraient le même espace, mais pendant des saisons différentes.

Tel qu'il ressort des études de Gallais (1967), Moorehead (1991) et d'autres, ce système socioéconomique avait déjà commencé à s'affaiblir depuis 50 ans. En raison de la croissance démographique, la pression des populations extérieures aux communautés autochtones a augmenté. Bien que les communautés rurales étaient encore les propriétaires de leurs terres, les maîtres de la terre et de l'eau n'avaient plus suffisamment de pouvoir pour refuser au nombre croissant d'allogènes le droit d'accès aux ressources. Au lendemain de l'indépendance du pays, en 1960, l'État a commencé à mettre en place sa propre administration, avec des services techniques, notamment celui des Eaux et Forêts. Ce nouveau système de contrôle a affaibli davantage le système traditionnel de gestion des ressources communautaires. La nouvelle politique de décentralisation mise en place depuis 1992 peut être considérée comme un effort louable visant à intégrer la gestion traditionnelle dans les systèmes de gestion de la société moderne.

4.3 Évolution démographique dans le Delta Intérieur

Recensement

À l'heure actuelle, environ un million de personnes vivent dans le Delta Intérieur du Niger. Tel qu'indiqué au Tableau 4.1, la population du Delta a crû timidement au rythme de 0,7% par an entre 1976 et 1998. Au cours de cette période, le taux de croissance démographique pour le Mali, dans son ensemble, était nettement plus élevé. La population malienne a crû au rythme de 2,43% par an, passant de 6,4 millions en 1976 à 9,8 millions en 1998. Par conséquent, la partie de la population du pays qui vivait dans le Delta Intérieur du Niger a baissé, passant de 15,4% de la population totale en 1976 à 13,4% en 1987. En 1998, la population vivant dans le Delta ne représentait que 11,3% de la population totale.

Dans le Delta, les tendances démographiques varient d'un cercle à un autre. La population du cercle de Mopti a crû, passant de 197 000 habitants à 263 000 habitants entre 1976 et 1998. Cependant, dans le Gourma-Rharous, la population a baissé, passant de 96 000 habitants à 68 000 habitants au cours de la même période. Dans les années 60, Gourma comptait plus de 100 000 âmes. Par conséquent, la baisse de la population avait déjà commencé plus tôt (Hiernaux 1993).

La baisse relative de la population a été plus importante dans la partie septentrionale du Delta Intérieur que dans la partie méridionale. En 1976, 7,6% de la population malienne vivait dans la région de Tombouctou. Ce pourcentage a accusé un recul, passant à 5,8%, puis à 4,9%, en 1987 et 1998, respectivement. Pour la région de Mopti, ces chiffres usent les suivants: de 17,7%, 16,7% et 15,1%, reflétant également une baisse, bien que moins importante que celle enregistrée dans la région de Tombouctou.

La population du Delta Intérieur du Niger peut se répartir entre populations urbaines et populations rurales. Les populations qui vivent dans les villes et les villages de plus de 10 000 âmes sont considérées comme

Tableau 4.1. Nombre d'habitants des neuf cercles couvrant le Delta Intérieur du Niger et leurs environs immédiats. Les cinq cercles du Nord représentent ensemble la région de Tombouctou et les quatre cercles du Sud la région de Mopti. Les données relatives à l'évolution démographique annuelle sont fournies pour les périodes 1976-87, 1987-98 et 1976-98 par rapport aux années 1976, 1997 et 1976, respectivement. Ces données sont tirées des trois recensements nationaux.

	taille de la population			changement démographique (%/an)		
	1976	1987	1998	76-87	87-98	76-98
Région de Tombouctou	489.489	459.368	475.858	-0,56	0,33	-0,13
Cercle de Tombouctou	68.996	65.982	70.177	-0,40	0,58	0,08
Cercle de Diré	82.806	80.717	84.393	-0,23	0,41	0,09
Cercle de Goundam	108.730	115.020	130.583	0,53	1,23	0,91
Cercle de Gourma-Rharous	96.021	87.414	67.717	-0,81	-2,05	-1,34
Cercle de Niafunké	132.936	110.235	122.988	-1,55	1,05	-0,34
Région de Mopti	493.031	570.783	631.933	1,43	0,97	1,28
Cercle de Mopti	196.885	248.484	263.719	2,38	0,56	1,54
Cercle de Djenné	118.580	128.641	155.551	0,77	1,90	1,42
Cercle de Ténenkou	96.161	118.189	127.237	2,08	0,70	1,47
Cercle de Youvarou	81.405	75.469	85.426	-0,66	1,20	0,22
Delta Intérieur du Niger	982.520	1.030.151	1.107.791	0,44	0,69	0,58
Mali	6.394.918	7.696.348	9.810.911	1,85	2,50	2,43

des populations urbaines. Toutes les autres populations sont dites rurales. Selon ces critères, la population urbaine vit dans les 17 établissements ci-après: Diafarabé, Diré, Echell, Gossi, Goundam, Gourma-Rharous, Konna, Korientzé, Leré, Mopti/Sévaré, Niafunké, Sofara, Ténenkou, Tombouctou, Tonka et Youvarou. Le Tableau 4.2 montre l'évolution des populations rurales et urbaines. De toute évidence, une partie des populations rurales migre vers les villes. Le pourcentage de la population du Delta Intérieur du Niger qui vivait en ville en 1976 ne dépassait pas 13,4%. Ce chiffre a crû, passant à 17,8% en 1987 et 18,6% en 1998. La Fig. 4.1 montre l'évolution de la population rurale par cercle. Elle laisse prévoir un dépeuplement rural dans le Delta Intérieur septentrional.

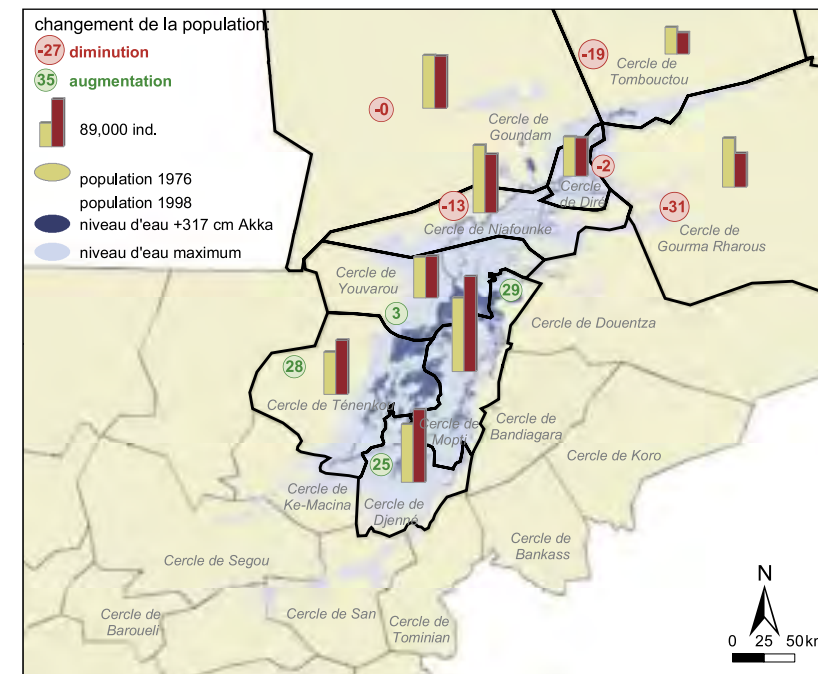
Dépeuplement, climat et inondation

Il existe peut-être une corrélation entre dépeuplement et changement climatique. Les conditions climatiques difficiles qui prévalent dans la partie septentrionale semi-aride du Delta Intérieur rendent presque impossible la vie dans cette région. Au fil des ans, la baisse de la



Tableau 4.2. Populations rurales et urbaines vivant dans les régions de Tombouctou et de Mopti. Les données sont les mêmes qu'au Tableau 4.1. Mais, elles sont réparties à présent entre populations vivant à la campagne et populations vivant dans les villes de plus de 10 000 habitants.

	population size			population change (%/year)		
	1976	1987	1998	1976-1987	1987-1998	1976-1998
Urbain						
Région de Tombouctou	50.095	77.036	92.650	4,89	1,84	3,86
Région de Mopti	91.744	126.677	138.297	3,46	0,83	2,31
Delta Intérieur du Niger	141.839	203.713	230.947	3,97	1,22	2,86
Rural						
Région de Tombouctou	439.394	382.332	383.208	-1,18	0,02	-0,58
Région de Mopti	401.287	444.106	493.636	0,97	1,01	1,05
Delta Intérieur du Niger	840.681	826.438	876.844	-0,15	0,55	0,20



pluviométrie dans l'extrême nord de la région a rendu difficile le pâturage du bétail et la riziculture (notamment Hiernaux 1993, Togola 2002; voir également les Chapitres 7 et 8). Une autre cause potentielle du dépeuplement concerne la baisse de débit qu'a enregistrée le Niger depuis 1973 (Chapitre 2.1) et qui a entraîné la réduction de moitié de la superficie inondée (Chapitre 3.8). Si la baisse des crues explique en partie le changement de la taille de la population constaté dans les différents cercles, il est probable que la population ait diminué le plus dans les régions où la baisse du niveau des crues a été marquée. En revanche, la population devrait demeurer stable dans les cercles où la baisse des crues est limitée.

La Fig. 4.2 présente la superficie inondée répartie par cercle. Les plaines alluviales se rencontrent essentiellement dans trois cercles: Mopti (26%), Ténenkou (22%) et Youvarou (21%). Outre Djenné (12%) et Niafunké (7%), il ne reste pas plus de 12% de superficie inondée pour les quatre autres cercles: Goundam (5%), Diré (4%) et Tombouctou et Gourma (1%). La part relative des cercles dans les plaines alluviales ne varie pas beaucoup. Avec un niveau de crue de 317-343 cm, 84% des plaines alluviales se rencontrent dans la région de Mopti. Cette part est de 80% lorsque ces niveaux atteignent 429 cm ou 511 cm. Ceci signifie qu'avec la fourchette dans laquelle le niveau maximum des eaux a varié au cours des 25 dernières années, il n'existe pratiquement aucune différence en ce qui concerne la distribution relative des plaines alluviales entre les différents cercles.

Étant donné qu'une part modeste des plaines alluviales dans le nord-est n'est pas couverte par les images satellitaires, la Fig. 4.2 sous-estime la part de Tombouctou et de Gourma dans la superficie inondée. En revanche, les données relatives à la part de chaque cercle dans la superficie totale des plaines alluviales pour un niveau de crue de 625 cm reposent sur une carte complète (Fig. 3.1). La différence de couverture entre cette carte et les images satellitaires rend impossible toute comparaison directe. Cependant, les données relatives au niveau d'eau de 625 cm sont prises en compte à la Fig. 4.2, celle-ci montrant que même avec une couverture totale et des niveaux d'eau extrêmement élevés, la distribution des surfaces inondables demeurent la même. La part des plaines alluviales que l'on rencontre dans les cercles de Gourma et de Tombouctou augmente, passant de 1% à 511 cm (image satellitaire)

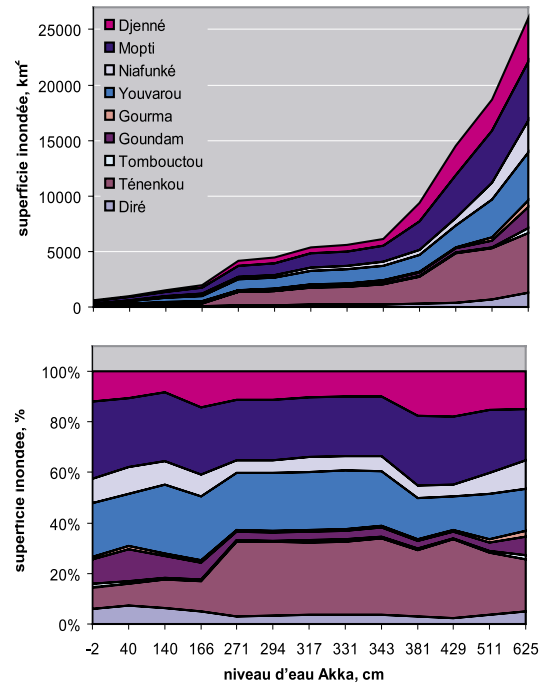


Fig. 4.2. Superficie inondée répartie par cercle (km² en haut et % en bas) selon différents niveaux d'eau (Akka, cm), sur la base des cartes hydrauliques (Fig. 3.5, arrivée d'eau uniquement). Les données relatives à la superficie, avec un niveau d'eau 625 cm, sont tirées de la Fig. 3.1.

à 2% à 625 cm (carte complète), et passant de 4 à 5% à Diré, de 5 à 7% à Goundam et de 7 à 11% à Niafunké. Ceci donne lieu à une augmentation de la couverture totale des crues dans les cinq cercles du Nord, qui passe de 17 à 27%. Par conséquent, même avec des niveaux d'eau extrêmement élevés, 70% se rencontrent encore dans les quatre cercles méridionaux: Mopti et Ténenkou (20%), Youvarou 16% et Djenné 14%.

Dans quelle mesure ces constatations concernant la distribution des zones inondables à travers le cercle correspondent-elles à l'évolution de la population au niveau du cercle? Au niveau du Delta Intérieur du Niger, la population rurale a augmenté dans les quatre cercles méridionaux. Il convient de souligner que 70% à 80% des plaines alluviales se rencontrent constamment dans le Sud. La population a baissé dans les cinq cercles septentrionaux. Dans cette région, la superficie

couverte par les plaines alluviales s'est réduite, passant de 27% lorsque le niveau de crue est élevé, à 16% au cours des années où ce niveau est faible. Ceci témoigne de l'existence d'une corrélation entre dépeuplement et baisse des crues dans le Delta Intérieur.

Lacs provisoires et dépeuplement

Dans la région septentrionale du Delta Intérieur, le dépeuplement n'est pas uniquement lié aux inondations elles-mêmes, mais également à la mesure dans laquelle les lacs provisoires sont remplis par la crue. Outre les trois lacs du Centre (Debo, Walado et Korientzé), tous les autres lacs permanents se rencontrent autour de la moitié septentrionale du Delta Intérieur (Fig. 3.1). Bien que ces lacs soient qualifiés de permanents, la plupart d'entre eux se dessèchent par la suite, lorsque de faibles niveaux de crue de 400 cm et moins sont enregistrés à Akka. En fait, seuls les trois lacs du Centre (Korientzé dans le cercle de Mopti et Walado-Debo dans le cercle de Youvarou) et le lac Fati dans le cercle de Goundam au Nord sont pleins en permanence. Lorsque le niveau d'eau est élevé, atteignant 500 à 600 cm, tous les lacs permanents sont remplis d'eau et la surface totale des plans d'eau permanents est 2 à 4 fois supérieure au niveau habituel dans la plupart des cercles (voir Fig. 4.3). La surface du lac peut se multiplier par 10 à 20 fois à Niafunké, Gourma et Goundam. Par conséquent,

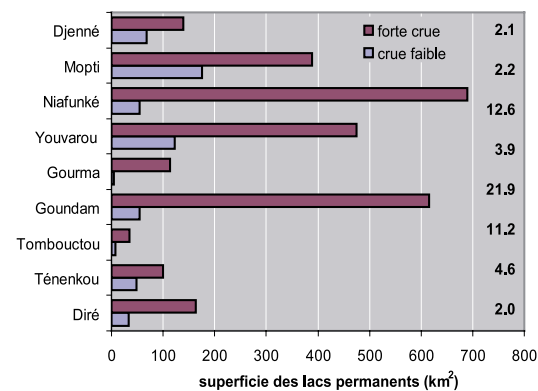


Fig. 4.3. Surface des plans d'eau permanents en km² avec des niveaux de crue faibles et élevés pour les 10 cercles. Les ratios de superficie pour un niveau de crue élevé et un niveau de crue faible sont présentés à droite du graphique.



les lacs permanents les plus grands lorsque le niveau d'eau est élevé ne se rencontrent plus dans la région de Mopti, mais à Goundam et Niafunké. Afin que ces lacs soient remplis, le niveau d'eau doit dépasser un seuil critique. Il s'ensuit qu'une différence de niveau d'eau de 10 à 20 cm peut être déterminante, en particulier pour de nombreux habitants dans les cercles de Niafunké et Goundam.

La situation du lac Faguibine illustre clairement ce seuil critique. Les images satellitaires et les photographies aériennes montrent que ce lac était plein pendant la majeure partie des années avant 1976. Depuis, le lac s'est complètement asséché au cours de 21 des 28 années qui ont suivi. Pendant deux années (2000 et 2001), le niveau de l'eau a été tout juste suffisamment élevé pour déborder dans le lac. Cependant, seule une partie limitée du lac a été couverte d'eau. Le niveau maximum de l'eau au cours de ces deux années était de 465 à 470 cm à Akka. Apparemment, ceci constitue le seuil critique de l'eau pour le lac Faguibine. En effet, lorsque le niveau de l'eau à Akka est passé au delà de 485 (max. 534) cm, respectivement en 1994, 1995, 1998, 1999 et 2003, une partie importante du lac s'est remplie d'eau. Si le barrage Fomi existait, le lac Faguibine aurait reçu de l'eau uniquement une fois, au lieu de cinq fois au cours des 28 années (Fig. 4.19). Sans l'Office du Niger et Sélingué, le lac Faguibine aurait contenu de l'eau pendant au moins sept ans.

4.4 Conclusions

Selon les conclusions de Maïga et al (2002), depuis la Grande Sécheresse, les populations du Delta Intérieur sont devenues plus mobiles que par le passé. Il existe une plus grande mobilité non seulement au sein de cette région, mais également à partir et vers elle. Pendant la Grande Sécheresse, de nombreuses populations du Delta Intérieur ont migré vers les pays voisins. Il est tentant de spéculer au sujet de l'impact éventuel de Sélingué et de l'Office du Niger sur la décision des populations des différents cercles de partir et d'entreprendre une nouvelle vie dans une ville voisine, ailleurs au Mali ou à l'étranger. Afin de répondre à cette question, il est nécessaire, dans un premier temps, de savoir s'il existe des corrélations entre production halieutique, animale et céréalière, d'une part, et niveau d'inondation d'autre part, et, le cas échéant, dans quelle mesure la réduction des inondations due à Sélingué et à l'Office du Niger a contribué à réduire la production. Ceci constituera le thème des chapitres suivants.

Pour l'heure, l'évaluation des corrélations entre inondation et croissance démographique ci-dessus permet de tirer les conclusions ci-après:

- la population du Mali a crû au rythme de 2,4% par an au cours des 35 dernières années. Cependant, la région de Tombouctou (moitié nord du Delta Intérieur) a enregistré une baisse de population, tandis que la population de Mopti (moitié sud du Delta Intérieur) n'a crû que d'environ 1% par an;
- une partie des populations rurales du Delta Intérieur a migré vers les villes de la région. En 1976, 13% de la population était urbaine. Ce pourcentage a augmenté progressivement, atteignant 19% en 1998. La population rurale du Delta nord a baissé au cours de ces mêmes 22 années, passant de 439 000 à 383 000 habitants;
- la Grande Sécheresse a contribué au dépeuplement des campagnes dans le Delta Intérieur. Pendant ces années, l'agriculture dans la zone semi-aride était à peine possible et il n'existait aucune végétation pour nourrir les animaux. Outre l'absence de pluies, la réduction de la superficie des plaines alluviales est une autre raison potentielle ayant poussé les populations à quitter le Delta;
- les populations de la partie septentrionale du Delta Intérieur du Niger ont davantage pâti de la baisse du niveau des inondations que celles de la zone méridionale. Tout d'abord, 70 à 80% des plaines alluviales se rencontrent dans la région de Mopti, indépendamment du niveau des inondations. En revanche, 27% de ces plaines se trouvent dans la région de Tombouctou, lorsque le niveau des crues est élevé, ce pourcentage tombant à 16% avec un niveau d'inondation faible. Deuxièmement, les lacs permanents situés autour du Delta Intérieur se rencontrent tous dans la région de Tombouctou. La plupart d'entre eux sont demeurés secs au cours des années de faible pluviosité. Mais, suite aux grandes inondations, la superficie totale des lacs permanents de la région de Tombouctou dépasse 1 600 km². En raison des faibles niveaux d'inondation, ceci ne s'est, pour ainsi dire, jamais produit au cours des 25 dernières années. Le lac Faguibine était (en partie) rempli d'eau au cours de 5 des 22 dernières années. En l'absence de l'Office du Niger et de Sélingué, ceci se serait produit sept fois. Si le barrage de Fomi existait, le lac ne se serait rempli qu'une seule fois.



5 LES PÊCHES DANS LE DELTA INTÉRIEUR DU NIGER



Leo Zwarts
Mori Diallo

5.1 Introduction

Les vieux pêcheurs du Delta Intérieur racontent encore aujourd'hui des histoires du temps où ils capturaient des capitaines d'une taille de 1,5 mètre et plus. N'allez surtout pas croire qu'il ne s'agit là que de farces de pêcheurs. En effet, ceux-ci en savent beaucoup sur les causes de la situation actuelle. Tous les pêcheurs du Delta Intérieur savent que la taille des poissons a diminué considérablement au cours des 30 à 40 dernières années. Le stock de poissons du delta est presque le même que par le passé, mais la pression de la pêche s'y accroît constamment du fait de l'intensification de la pêche à la nasse, à la ligne et au filet. Lorsque les plaines inonables s'assèchent pendant les décrues, la capture devient aisée, car les poissons sont enfermés dans des lacs (temporaires) et concentrés dans des chenaux et dans le lit du fleuve. De nos jours, il ne reste presque plus de poissons bien avant l'arrivée des prochaines crues. Par conséquent, le volume des prises de l'année suivante dépend de la quantité de juvéniles nés pendant la précédente saison des crues. Les capitaines du Delta Intérieur n'arrivent plus à dépasser la taille de 1,5 mètre.

Un certain nombre d'études confirment les conclusions des pêcheurs. Il existe cependant d'autres données qui nous permettent de pousser plus loin la recherche et de tirer des connaissances supplémentaires d'une importance toute particulière pour la présente étude. Le présent chapitre vise à améliorer les connaissances actuelles sur les ressources halieutiques dans le Delta Intérieur du Niger et à établir une corrélation entre celle-ci et les fluctuations du niveau des crues du fleuve Niger. La définition de cette fonction de production nous permettra d'évaluer l'impact de la gestion de l'Office du Niger, du réservoir de Sélingué et du barrage de Fomi sur la production halieutique dans le Delta Intérieur du Niger.

Le chapitre est structuré comme suit: la section 5.2 procède à la revue de la littérature existante sur les pêches dans le Delta Intérieur du Niger, avec un accent particulier sur la relation entre les crues et le volume des prises. La section 5.3 évalue la production halieutique du Delta et établit une distinction entre les prises de poisson frais, le poisson séché et la commercialisation du poisson. Cette section examine également de manière minutieuse les données existantes sur la consommation de poisson dans le bassin intérieur du Niger. Pour conclure, les estimations révisées de la production halieutique dans le Delta Intérieur et la fonction de production qui en résulte sont comparées à celles d'autres plaines inonables d'Afrique dans la section 5.4. Un accent particulier est mis sur la limite biologique maximale de la production halieutique dans le Delta. La section 5.5 applique la fonction de production relative aux prises aux quatre scénarios qui font l'objet de la présente étude. Les conclusions sont présentées à la section 5.6.



5.2 Littérature existante sur les pêches dans le Delta

Bien que le poisson ne soit pas une source sûre d'alimentation dans le Delta Intérieur, près du tiers des 900 000 personnes qui y vivent dépendent de la pêche pour leur survie. Le poisson n'est cependant plus une source de nourriture sûre dans le Delta Intérieur. Welcomme (1986) a comparé le volume des prises annuelles dans le Delta Intérieur au cours de la période 1967-1975 et s'est aperçu que pendant les années de grandes crues, les captures étaient trois fois plus importantes que pendant les années de faibles crues. Laë (1992) a analysé les prises sur une période plus longue (1966-1989) et est parvenu à la même conclusion. Il a établi un lien entre les prises annuelles et le débit du fleuve Niger à Koulikoro l'année précédente et à la superficie maximale inondée du Delta Intérieur du Niger.³

Les prises de poisson dans le Delta Intérieur du Niger sont enregistrées par l'Opération Pêche de Mopti (OPM) depuis 1967. Notre analyse repose sur les mêmes don-

nées statistiques. La Fig. 5.1 présente les prises pour la période 1966-2003 selon l'OPM. Les prises annuelles sont étroitement liées au niveau de crue maximale. Etant donné que les activités de pêche ont lieu essentiellement pendant la première moitié de l'année pendant la décrue, la prise représentée à la Fig. 5.1 est comparée au niveau de crue maximale en octobre/ novembre de l'année précédente.

Tel qu'indiqué au Chapitre 3.7, la variation annuelle des crues peut s'exprimer de diverses manières: niveau de crue maximale, superficie maximale inondée, crues annuelles ou maximales du fleuve recouvrant la plaine inondable. Toutes ces variables sont étroitement liées lorsqu'on sait que le débit du fleuve détermine le niveau de crue maximale, ainsi que la superficie de la zone inondée. La question fondamentale est de savoir ce qui sous-tend la corrélation entre la production halieutique, d'une part, et le volume, le niveau et/ou la superficie de la zone inondée, d'autre part? Il va de soi que de fortes crues favorisent la reproduction et la croissance du poisson. En outre, le niveau de crue est étroitement lié à la durée de la saison des crues, et partant à la durée de la période de croissance du poisson. En année de crues de pointe dans le Delta Intérieur, la saison des hautes eaux dure quatre mois de plus qu'en année de faibles crues: la vague arrive un mois plus tôt et se retire trois mois plus tard (voir Fig. 3.17).

Pour survivre, le poisson doit quitter les plaines inondées pendant la décrue. En saison sèche, il se concentre dans le lit du fleuve et ses défluent, et dans les petits lacs, où les conditions sont impropres à sa survie. Le processus de croissance est alors interrompu et le poisson peut même perdre du poids (Dansoko et al. 1976). Ainsi, la croissance du poisson, et partant la production biologique au cours d'une année donnée est fonction de la durée de la saison des crues. Dans le Delta Intérieur central, une zone d'une profondeur de 300 cm d'après la jauge de Akka est submergée pendant 41% de l'année. Toutefois, en raison de la variation du niveau de crues, l'inondation dure entre 15% et 65% de l'année (Fig. 3.18). Cette Figure montre que la durée de la crue est tout à fait liée au niveau de crue maximale. Il existe également une étroite corrélation entre la durée de

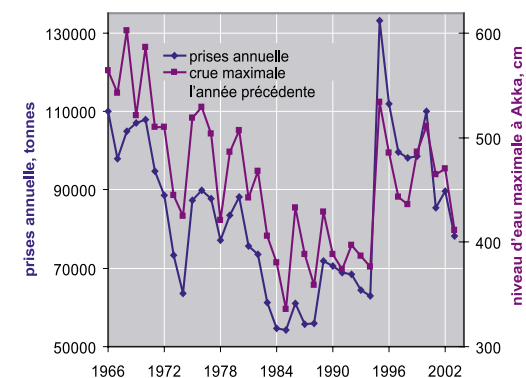


Fig. 5.1. Variation des prises annuelles dans le Delta Intérieur entre 1966 et 2003 comparée à la variation du niveau de crue (Akka, cm) l'année précédente. Source: OPM (poisson) et DNH (niveau de crue).

³ La superficie de la zone inondée est calculée sur la base de la différence entre l'apport d'eau et l'écoulement au niveau du Delta Intérieur (Olivry 1995; voir aussi Chapitre 3).

la crue et le niveau de crue maximale, d'une part, et l'inondation maximale d'autre part. Nous établirons une corrélation entre le volume des captures et de poisson commercialisé sur une base annuelle, d'une part, et la superficie maximale inondée, d'autre part.

Le secteur du poisson et des pêches dans le Delta Intérieur a fait l'objet d'études approfondies. Après la toute première étude effectuée par Daget (1954), un grand nombre d'excellentes études ont été effectuées. Quensière (1994) a résumé ses travaux sur les pêches dans le Delta Intérieur. Dix ans plus tard, ses conclusions et recommandations sont encore d'actualité. Laë fut le premier à quantifier l'impact de Sélingué et de l'Office de Niger sur les crues dans le Delta Intérieur, et partant sur la production halieutique (Laë 1992, 1994, Laë et al. 1994, Laë & Levêque 1999, Laë & Mahé 2002).

Dans le présent chapitre, nous procédons à une nouvelle évaluation de l'impact de Sélingué, de l'Office du Niger et de Fomi sur le commerce annuel de poisson. Nous analyserons et évaluerons, tout d'abord, les données de production elles-mêmes, puis nous aborderons les questions relatives au suivi, à la production et à la consommation de poisson dans le Delta Intérieur du Niger.



5.3 Estimation de la production et de la consommation de poisson

Depuis 1967, l'Opération Pêche Mopti (OPM) surveille le déchargement, l'exportation et le prix du poisson pêché dans le Delta Intérieur du Niger et débarqué au port de Mopti. Un résumé de toutes ses données figure dans les rapports annuels de l'OPM. Les données originales, soigneusement consignées dans des livres manuscrits, ont récemment été numérisées par l'OPM avec l'aide de Wetlands International et RIZA. L'OPM évalue également la production halieutique annuelle qu'il communique à la FAO. C'est la raison pour laquelle ces mêmes données figurent également dans la base de données mondiales de la FAO sur les pêches.

Il est possible d'étudier la production halieutique d'un point de vue biologique et économique. Vu sous l'angle biologique, la production halieutique annuelle peut être considérée comme la biomasse totale produite par la population de poissons, telle que déterminée par les taux de natalité, de mortalité et de croissance des différentes classes d'âge. L'OPM et la FAO utilisent le terme production halieutique au sens économique du terme pour désigner la biomasse récoltée (c'est-à-dire le volume annuel total des prises des pêcheurs). L'évaluation économique de la production halieutique est fonction d'un grand nombre de variables appliquées comme multiplicateurs fixes par l'OPM. La présente section évalue la production annuelle et examine la validité de certains des multiplicateurs utilisés. La quantité de poisson commercialisée sur le marché de Mopti sous forme de poisson transformé (qui peut être fumé et séché) ou de poisson frais est quotidiennement enregistrée. L'évaluation de la production halieutique totale est distincte de celle du poisson frais et du poisson transformé.

Poisson transformé selon l'OPM

L'OPM enregistre les données sur le commerce au port de Mopti et procède à trois ajustements afin de déterminer le volume réel de poisson transformé commercialisé dans le Delta Intérieur. L'OPM suppose d'abord qu'une

partie des ventes enregistrées (soit 15% avant 1985 et 20% après 1985) se fait hors du port de Mopti. Elle suppose, ensuite, que toutes les opérations de vente ne sont pas enregistrées. L'OPM estime que le volume total des ventes est de 12% supérieur à celui des ventes enregistrées et que 3% du poisson vendu est perdu du fait du conditionnement et du stockage. Les pertes pendant le stockage étaient estimées à 30% avant 1985 et à 20% en 1986. Après ces trois ajustements, le volume total des captures vendues sous forme de poisson transformé, depuis 1986, est de 59% supérieur aux ventes enregistrées à Mopti.

Les variables indiquées ci-après sont utilisées par l'OPM pour évaluer la consommation de poisson transformé par les pêcheurs et la population locale dans le Delta Intérieur:

- il est procédé à une évaluation de la population active de pêcheurs (x), de pêcheurs non actifs (y) et de non-pêcheurs (z);
- chaque pêcheur, ainsi que les membres de sa famille consomment chaque jour, en moyenne, 20 grammes de poisson transformé pendant 360 jours;
- les autres habitants du Delta Intérieur et de ses environs immédiats, qui s'approvisionnent directement auprès des pêcheurs, consomment une ration



quotidienne de 15 grammes de poisson transformé pendant 360 jours.

La production totale de poisson transformé correspond au volume total des ventes, de l'autoconsommation et de la consommation par les non-pêcheurs. Le calcul de la production totale de poisson transformé est illustré au Tableau 1, avec pour exemple l'année 1987.

Tableau 5.1. Evaluation de la production de poisson transformé (kg) par l'OPM.

Paramètres poisson sec	Multiplicateurs	1987
Commerce enregistré à Mopti	a	2.431.169
Commerce enregistré en dehors de Mopti	20% de a	486.234
Commerce enregistré	$c=a+b = 1.2*a$	2.917.403
Commerce non-enregistré à Mopti	10% de c	291.170
Commerce non-enregistré en dehors de Mopti	20% de c	58.348
Commerce total	$d=1.12*c = 1.344*a$	3.267.491
Perte au conditionnement	3% de d	98.025
Perte durant période de commerce	15% de d	490.124
Production totale pour commercialisation	$e=1.18*d = 1.586*a$	3.855.640
Autoconsommation pêcheurs (225,000)	$f=20*360*(x+y)$	1.620.000
Consommation locale non-pêcheurs (540,000)	$g=15*360*z$	2.916.000
Production totale	$h=e+f+g$	8.391.640
Commerce total en % de la production totale	e comme % de h	46,0%

Note: $x+y$ = nombre de pêcheurs (x) + nombre des membres de leurs familles (y); z = nombre des non-pêcheurs. La taille de la population pour l'année 1987 est indiquée, ainsi que la production totale estimée pour cette année.

Tableau 5.2. Calcul de la production de poisson frais (en kg) par l'OPM.

Paramètres poisson frais	Multiplicateurs	1987
Commerce enregistré à Mopti	i	219.986
Consommation locale pêcheurs actifs (62,000)	$j=150*360*x$	3348.000
Consommation locale pêcheurs non-actifs (163,000)	$k=50*360*y$	2934.000
Consommation locale non-pêcheurs (540,000)	$l=40*360*z$	7776.000
Production totale	$m=i+j+k+l$	14277.986
Commerce total en % de la production totale	$i = \% \text{ de } m$	1,5%

Note: x = nombre de pêcheurs actifs, y = famille des pêcheurs actifs, z = nombre de non-pêcheurs. La taille de la population pour l'année 1987 est indiquée, ainsi que la production estimée pour cette année.

Dix paramètres sont pris en compte dans le calcul de la production totale de poisson transformé. Seule les ventes enregistrées à Mopti varient annuellement. Le nombre de pêcheurs et de non-pêcheurs croît constamment. Sept paramètres sont des multiplicateurs concernant soit les ventes enregistrées (ventes enregistrées en dehors de Mopti, ventes non enregistrées à Mopti, ventes non enregistrées en dehors de Mopti, pertes pendant le conditionnement, pertes pendant la commercialisation) soit la taille de la population (consommation quotidienne des pêcheurs, consommation quotidienne des non-pêcheurs).

Poisson frais selon l'OPM

Par rapport au poisson transformé, on estime que la production de poisson frais est destinée directement à la commercialisation, mais la situation est un peu plus complexe pour la consommation locale. L'OPM suppose que toutes les ventes de poisson enregistrées ont lieu à Mopti. Par le passé, les ventes de poisson frais étaient faibles. Ainsi, bien que ce chiffre soit déjà connu en 1967, il n'a été pris en compte dans le calcul de la production de poisson qu'en 1995.

Afin d'évaluer la consommation de poisson frais par les pêcheurs et la population locale du Delta Intérieur, l'OPM utilise les variables suivantes:

- il est procédé à une évaluation de la population active

de pêcheurs (x), de pêcheurs non actifs (y) et de non-pêcheurs (z); (voir ci-dessous);

- chaque pêcheur consomme, en moyenne, 150 grammes de poisson frais par jour pendant 360 jours;
- les membres non actifs de la famille des pêcheurs consomment quotidiennement, en moyenne, 50 grammes de poisson frais pendant 360 jours;
- on suppose que les autres habitants du Delta Intérieur du Niger consomment une ration quotidienne d'au moins 39 grammes (avant 1994) ou de 40 grammes de poisson frais (1995 et après) pendant 360 jours.

La production totale de poisson frais correspond à la somme des quantités commercialisées, de l'autoconsommation et de la consommation des autres habitants du Delta Intérieur qui s'approvisionnent directement auprès des pêcheurs. Le Tableau 3 illustre la méthode de calcul de la production de poisson frais.

Huit paramètres sont pris en compte dans le calcul de la production totale. Les ventes enregistrées à Mopti varient chaque année. Les effectifs de pêcheurs et de non-pêcheurs augmentent constamment. Quatre paramètres sont des multiplicateurs (ventes non enregistrées, consommation quotidienne des pêcheurs actifs, consommation quotidienne des pêcheurs non actifs, consommation quotidienne des non-pêcheurs).

La production totale selon l'OPM

Afin de calculer la production totale de poisson transformé et frais, le volume total de poisson transformé doit être converti en volume total de poisson frais. Le poisson transformé comprend le poisson fumé (75%) et le poisson séché (25%) pendant les années 1977-1997. Depuis 1998, le ratio est de 83% pour le poisson fumé et de 17% pour le poisson séché. Le poisson frais perd 2/3 de son poids après le fumage et 3/4 de celui-ci après le séchage. Pour évaluer la production de poisson transformé en équivalent de poids de poisson frais, les multiplicateurs suivants sont utilisés:

$$(0.75 * 3 + 0.25 * 4) = 3, 25 \text{ pour } 1977-1997$$

$$(0.83 * 3 + 0.17 * 4) = 3, 17 \text{ pour } 1998 \text{ et après}$$

Nombre de consommateurs de poisson dans le Delta Intérieur du Niger selon l'OPM

Des tableaux du type 1 et 3 ci-dessus figurent dans la plupart des annuaires de l'OPM. Les différents multiplicateurs sont tirés de ces annuaires. La production totale n'est pas très sensible aux hypothèses des ventes

non enregistrées. Toutefois, l'utilisation de différentes estimations de la population influe beaucoup sur la production totale. Différentes estimations de la population ont été appliquées par l'OPM au fil des ans:

- l'OPM estime qu'il existait 54 112 pêcheurs actifs et 26 246 pêcheurs non actifs entre 1980 et 1987;
- ce nombre a sensiblement changé en 1988, passant à 196 952 et 84 408, respectivement. Cette augmentation subite des effectifs a entraîné une augmentation de la production totale de 21% d'une année à l'autre. Ces chiffres sont restés les mêmes de 1988 à 1994;
- les annuaires de l'OPM ne font pas état du nombre de pêcheurs pour la période 1995- 2000;
- en 2001 et 2002, le nombre de pêcheurs actifs était de 84 255 et 85 928, respectivement, tandis que le nombre de pêcheurs non actifs était de 187 534 et 191 304, soit une augmentation de 2,01%. On retrouve ce taux de croissance annuelle de 2,01% dans différents documents, notamment dans Nadio (1984) qui estime que ce chiffre représente le taux de croissance du nombre de pêcheurs dans les années 70 et 80 (voir également Weigel et Stomal 1994).

Selon les annuaires de l'OPM, le nombre de non-pêcheurs qui s'approvisionnent directement auprès des pêcheurs était de 1,2 million de 1981 à 1988 et ce chiffre était à peu près le même (1 166 582) pendant la période 1989-1994. Il n'existe aucune donnée dans les annuaires de l'OPM pour la période 1995-2000, mais en 2001 et 2002, la population des non-pêcheurs était estimée à 1 496 265 et 1 530 529, respectivement, soit une augmentation de 2,29%. Le Ministère du Plan (1987) a été le premier à citer ces chiffres qui résultent d'une comparaison des données des recensements nationaux de 1976 et 1987.

Comparaison des données des recensements nationaux de 1976, 1987 et 1998

Une comparaison des résultats des recensements nationaux de 1976, 1987 et 1998 montre que la population vivant à l'intérieur et autour du Delta Intérieur du Niger n'a crû que de 0,7% par an entre 1986 et 1998 (voir Tableau 3.1). En outre, étant donné qu'une partie de la population de la région a émigré vers les villes, la population rurale a légèrement baissé. Ce fléchissement s'explique par le dépeuplement du Delta Nord. La population du Delta Sud a augmenté de 1% (Tableau 3.2). Ces résultats montrent que les taux de croissance





de la population appliqués par l'OPM ont conduit à une surestimation du nombre de consommateurs de poisson dans le Delta Intérieur.

Herry (1994) a étudié les résultats des recensements de 1976 et 1987. Il aurait pu utiliser d'autres données datant de 1987 pour répartir la population de tous les arrondissements du Delta Intérieur entre pêcheurs, agriculteurs et éleveurs, et s'est aperçu qu'il n'y avait presque plus de pêcheurs au Nord du Delta en 1987. La région s'était asséchée depuis longtemps et la plupart des pêcheurs avaient migré vers le Sud. La comparaison de l'évolution démographique par arrondissement a permis d'aboutir à la même conclusion. Le taux de croissance démographique a augmenté au Centre du

Delta où plus de 20 ou 30% de la population est constituée de pêcheurs. Le recensement de 1998 n'offre pas de données comparables. Cependant, il est possible que l'accroissement continu de la population rurale dans le Macina soit dû à l'afflux de paysans et non de pêcheurs. La majorité des pêcheurs vit dans la région de Mopti où le taux de croissance démographique annuel est de 1%.

De nombreux chercheurs indépendants donnent des estimations de la population de pêcheurs dans le Delta Intérieur. Gallais (1967) estime que le nombre de pêcheurs dans le Delta Intérieur du Niger est de 70 000. Ce chiffre est passé à 80 000 en 1975, puis à 225 000 en 1987 (Morand et al 1991). Nadio (1984) et Laë et al (1994) concluent que le taux de croissance annuelle de

la population de pêcheurs était de 2,01% entre 1966 et 1976 et de 1,5% entre 1976 et 1989. Pour le reste de la population rurale du Delta Intérieur, le taux de croissance était de 2,29% entre 1966 et 1976 et de 1% entre 1976 et 1989.

Laë et al. (1994) et Weigel et Stomal (1994) ont utilisé ces chiffres pour recalculer la production halieutique totale. Tous deux ont utilisé les résultats du recensement national de 1987 et les travaux de Morand et al. (1991) pour estimer à 62 000 et à 163 000, respectivement le nombre de pêcheurs actifs et non actifs qui vivaient dans le Delta Intérieur du Niger en 1987. A présent que les résultats du recensement national de 1998 sont disponibles, nous pouvons conclure que leurs estimations du taux de croissance démographique étaient très élevées.

Dans nos calculs, nous avons supposé que la croissance annuelle de la population rurale, pêcheurs ou non-pêcheurs, dans le Delta Intérieur du Niger était de 1% par an entre 1997 et 2003. Partant de cette hypothèse, le nombre des pêcheurs actifs et non actifs, d'une part, ainsi que le nombre de non-pêcheurs, d'autre part, a grimpé, passant de 56 128, 147 562 et 488 855, respectivement en 1977 à 72 700, 191 130 et 633 192 en 2003. La différence entre cette estimation de la taille de la population et celle appliquée par l'OPM se traduit également par une différence entre notre estimation de la production halieutique totale et celle indiquée dans les annuaires de l'OPM, et partant celles de la FAO.

Production halieutique annuelle dans le Delta Intérieur

En combinant les statistiques et multiplicateurs de l'OPM sur les ventes enregistrées de poisson frais et transformé consignées à Mopti et nos propres résultats sur la taille de la population dans le Delta Intérieur, de nouvelles estimations concernant la production halieutique ont pu être avancées (voir Figures 2 et 3). Les données sous-jacentes sont présentées à l'Annexe 6.

La Fig. 5.2 indique la production annuelle (en tonnes) de poisson transformé et de poisson frais répartie en volume de poisson consommé par les pêcheurs et par les non-pêcheurs dans le Delta Intérieur, ainsi qu'en quantités de poisson vendues sur le marché. La production totale est exprimée en équivalent de poids de poisson frais en utilisant le multiplicateur 3,25 (ou 3,17 ces dernières années) pour convertir le poids du poisson transformé en poids de poisson frais.

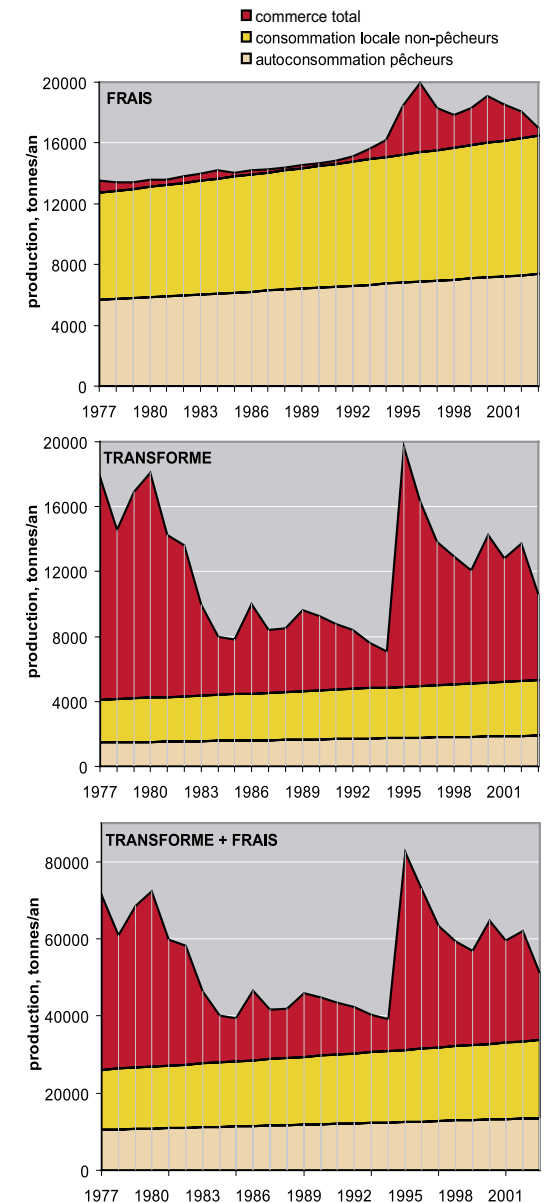


Fig. 5.2. Production annuelle de poisson du Delta Intérieur, répartie entre le commerce, le commerce informel dans le Delta Intérieur et l'autoconsommation des pêcheurs.

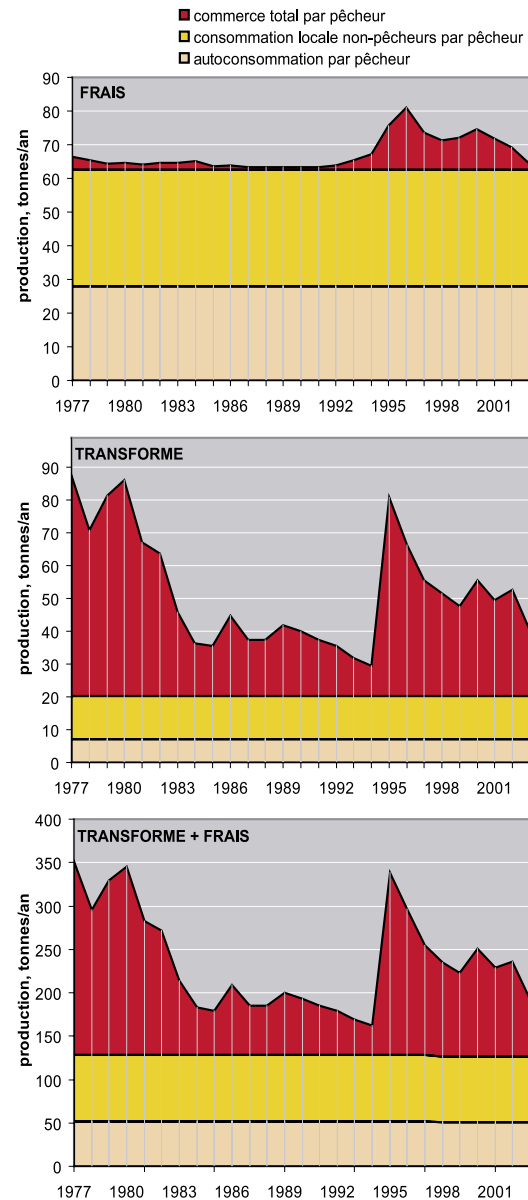


Fig. 5.3. Production annuelle de poisson du Delta Intérieur par pêcheur (actif ou non actif), répartie entre le commerce, le commerce informel dans le Delta Intérieur et l'autoconsommation des pêcheurs.

La Fig. 5.2 montre clairement, qu'à l'heure actuelle, près de la moitié du poisson fumé est débarquée au port de Mopti pour y être vendu. Or, seule une infime partie de ce poisson frais est commercialisée. Qu'il s'agisse de poisson frais ou du poisson transformé, ses proportions varient au fil du temps. Dans les années 70, 75% de la production de poisson transformé était vendue. Ce taux est tombé à 50-65% ces dernières années. La valeur relative du poisson frais commercialisé était inférieure à 5% jusqu'en 1993. La commercialisation du poisson frais a crû, passant à 10-25% des captures totales entre 1995 et 2002. La présence d'une usine à glace à Mopti entre 1974 et 1986, puis entre 1986 et 1988 et enfin depuis 2000 explique, sans aucun doute, ce changement. Il convient de relever cependant que le record absolu de vente de poisson frais a été battu en 1995 alors qu'il n'existait pas d'usine à glace.

La Fig. 5.3 présente la production annuelle totale moyenne par pêcheur (actif ou non actif) de poisson transformé et frais. La production totale est la somme du montant vendu sur le marché, de l'autoconsommation et du commerce local. L'autoconsommation de poisson transformé est estimée à 7,20 kg/an/pêcheur et le commerce local à 12,96 kg/an/pêcheur. L'autoconsommation de poisson frais est estimée à 27,92 kg/an et le commerce local à 34,56 kg/an/pêcheur. Les estimations sont obtenues en divisant la production totale par le nombre ajusté de pêcheurs. Afin de convertir les données en production par pêcheur actif ou par famille, il convient de multiplier toutes les estimations de production par 3,57 ou par 10.

5.4 Estimations révisées

Selon les statistiques obtenues par l'OPM, la production halieutique totale dans le Delta Intérieur du Niger au cours des 34 dernières années varie entre 54 000 et 133 000 tonnes. Plus de la moitié de la production totale est consommée dans le Delta Intérieur lui-même (autoconsommation plus le commerce local). Après ajustement des données de l'OPM par rapport à la faible croissance de la population révélée par le recensement national dans le Delta Intérieur (voir Chapitre 4), la production totale de poisson baisse également. Notre estimation plus modeste de la croissance démographique se traduit par une réduction de 17% de la production en 1977 qui grimpe progressivement à 35% en 2005 (voir Fig. 5.4). Il convient de relever que les données publiées dans les annuaires de l'OPM sont également reproduites sur le site de la FAO.

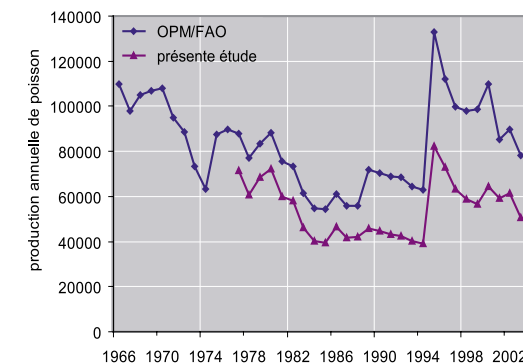
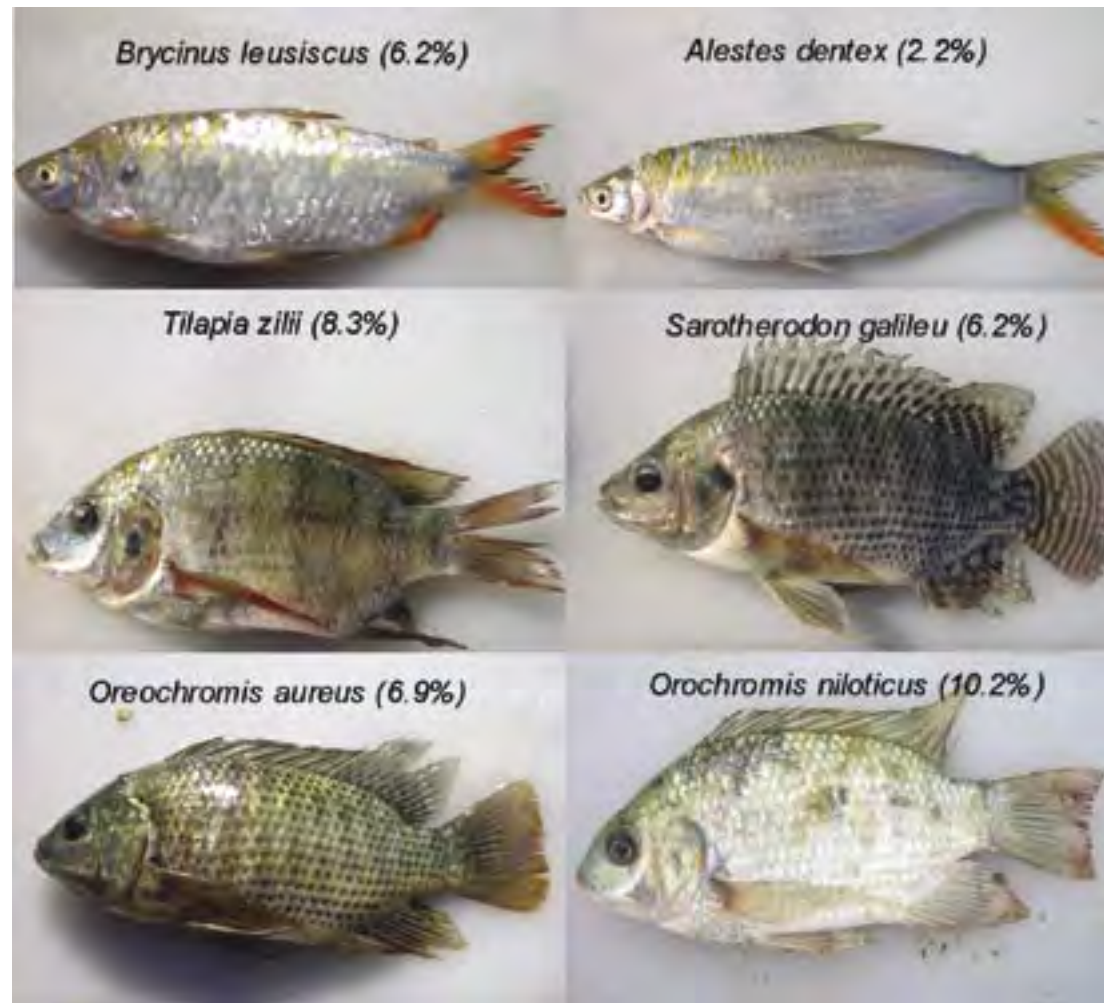


Fig. 5.4. Production annuelle de poisson en équivalent de tonnes de poids de poisson frais dans le Delta Intérieur du Niger selon l'OPM et conformément à nos estimations fondées sur une croissance démographique inférieure.

Production halieutique dans le Delta et les autres plaines inondables d'Afrique

Les chercheurs admettent généralement que le phénomène des prises annuelles dans une plaine inondable varie en fonction du niveau de la crue. Avant la publication des travaux de Welcomme sur les prises annuelles dans le Delta Intérieur, une corrélation similaire avait déjà été décrite entre le volume des prises annuelles et le niveau de la crue dans le fleuve Kafue (Zambie) (Welcomme 1979). On a pu observer une influence similaire du niveau des crues sur les prises dans les fleuves Amour, Cross, Danube et Nil (Laë 1992, Laë et Levêque 1999), ainsi qu'au niveau du Lac Tchad (Durand et Levêque 1978). Laë et Levêque (1999) combinent les différentes études de cas et parviennent à des résultats plus génériques sur la corrélation entre les prises annuelles et les variations dans les plaines inondables. Les résultats de leurs travaux sont indiqués à la Fig. 5.5.

D'un point de vue écologique, il est évident que les prises dépendent essentiellement de la superficie de la zone inondée. Welcomme (1986) conclut que la production halieutique des plaines inondables africaines s'élève à 3,83 tonnes par km² de plaine inondable ou à 38,3 kg/ha. La Fig. 5.5 montre que la corrélation entre la production halieutique et la superficie de la plaine inondable est exponentielle et que l'exposant de cette corrélation est de 0,63. Il convient de relever que s'il n'existait pas de rapport entre le volume des prises et la superficie de la plaine inondable, l'exposant serait égal à 1. L'exposant est inférieur à 1 parce que la prise par hectare baisse avec la superficie de la plaine inondable. Pour les grandes plaines inondables, la prise par hectare varie entre 6,5 kg/ha pour les Yaérés (plaine inondable) du fleuve Logone (Cameroun) et 40 à 50 kg/ha pour le Delta Intérieur. Deux estimations sont données pour le Delta Intérieur: 40 000 t pour une superficie inondée de 8 000 km² et 80 000 t pour une superficie inondée de 20 000 km². La seule zone qui est plus productive que le Delta Intérieur est la plaine inondable du Sénégal dont le niveau de prise est de 56 kg/ha. Toutefois, ces estimations reflètent la situation qui prévalait avant que les barrages et digues ne réduisent cette superficie inondée. Les prises dans les plaines inondables Sudd au Sud Soudan (8,8 kg/ha) et dans les plaines inondables Cross, au Sud-Est du Nigeria (25 kg/ha) sont nettement inférieures à celles du Delta Intérieur.



Economically most important fish species in the Inner Niger Delta. Proportional share of total catches is indicated between brackets. Source: Laë et al. (1994).

Fonction de production relative aux prises dans le Delta Intérieur

Les données disponibles sur la commercialisation du poisson et l'évolution des inondations au fil du temps permettent d'évaluer la fonction de production pour les prises. Le principal facteur qui détermine la variation de la commercialisation et des captures est la production biologique de poisson qui, elle-même, dépend du niveau maximal des crues atteint l'année précédente en

Akka. Cette corrélation a déjà été décrite pour la production totale, ainsi que sur une période plus courte: Welcomme (1986) pour la période 1967-1975 et Laë (1992) pour les années 1966-1989. Une étude actualisée, qui prend en compte les années récentes, est présentée à la Fig. 5.6.

Les premiers travaux de Welcomme et Laë concluent que la production dépend non seulement du niveau de la crue de l'année précédente, mais également de celui

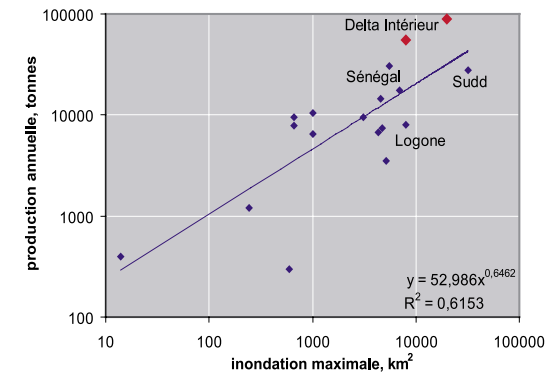


Fig. 5.5. Corrélation entre la production annuelle de poisson dans différentes plaines inonables africaines et la superficie maximale de la zone inondée. Les deux barèmes sont des logarithmes. Source: Laë et Levêque (1999). Deux estimations révisées sont données pour le Delta Intérieur: l'une pour une crue mauvaise et l'autre pour une bonne crue.

des deux années précédentes. Afin d'analyser l'impact de la crue deux années auparavant sur la série chronologique mise à jour, l'écart entre le volume des ventes enregistrées et celui des ventes prévues, indiqué par la régression curviligne à la Fig. 5.6, a été tracée par rapport au niveau d'eau en Akka deux ans plus tôt. Cependant, même en tenant compte de cette relation curviligne, le niveau de corrélation ($R^2 = 0,17$) demeure négligeable. Cette situation tient au fait que les activités de pêche se sont tellement intensifiées ces dernières années que la proportion de poissons adultes (c'est-à-dire le poisson d'un an) dans les captures totales a baissé de manière notable. Il y a plus de 30 ans, les prises dans le Delta Intérieur étaient constituées de poissons de différentes classes d'âge. Etant donné que les prises au cours de la dernière ou des deux dernières décennies sont de plus en plus constituées de poissons juvéniles (poissons de moins de six mois), rien ne porte à croire que le niveau des crues d'il y a deux ans pourrait déterminer les prises d'aujourd'hui. Ainsi, on n'a observé aucun impact déterminant du niveau des crues d'il y a deux ans sur l'analyse de régression mise à jour.

Etant donné que le nombre de pêcheurs augmente de 1% par an, on aurait pu s'attendre à ce que les ventes s'accroissent au même rythme au fil des ans. En fait, d'une manière générale, aucune croissance n'a été

enregistrée. La Fig. 5.6 indique le volume des ventes séparément pour deux périodes avant et après 1990. Le rapport entre le volume total des ventes et le niveau maximal des crues l'année précédente est exactement le même pour les deux périodes. Etant donné que le rapport est le même pour les deux périodes, une seule ligne de régression curviligne est représentée.

Il ressort de la Fig. 5.3 que le volume des ventes par pêcheur n'a pas augmenté au cours des 27 dernières années. Les données tirées de la Fig. 5.3 ont été utilisées pour concevoir la Fig. 5.7 qui représente le volume de poisson commercialisé comme proportion de la production totale par rapport à la superficie maximale inondée l'année précédente. Tout comme à la Fig. 5.6, les données sont analysées séparément pour la période d'avant et d'après 1990. La pente positive des deux courbes indique clairement que des niveaux élevés de crues stimulent la commercialisation du poisson. Toutefois, la part relative de la commercialisation du poisson est structurellement plus élevée pour la période d'avant 1990 que pour celle d'après cette date. Ainsi, si on prend en compte le niveau des crues, il est possible que chaque pêcheur ait vendu plus de poisson par le passé que ces dernières années, ce qui pourrait constituer un premier signe de l'épuisement du stock de poisson.

La capacité maximale de production est atteinte

S'il est vrai qu'un plus grand nombre de pêcheurs ne peut accroître l'offre de poisson sur le marché, cela revient à dire que la production halieutique est limitée par un niveau maximal absolu de la production biologique. Cette conclusion, qui a des répercussions profondes, est étayée par les travaux de Amaga Kodio et ses coauteurs (Kodio et al. 2002). Ils ont mesuré, sur une série chronologique (de 1994-1995 à 1998-1999) la prise quotidienne de chaque pêcheur pendant la saison de février à juin. Leurs travaux révèlent une variation considérable des prises quotidiennes individuelles, qui se situent entre 1 et 400 kilogrammes. En général, les prises sont faibles en juin, tandis que la quasi-totalité des prises importantes interviennent pendant la saison de février à mars. On observe, en règle générale, une baisse des prises quotidiennes qui passent de 35 kg/jour au début du mois de février à 7 kg/jour à la fin du mois de juin. Kodio et al. (2002) concluent que cette baisse des captures découle certainement de l'épuisement du stock halieutique disponible et que la

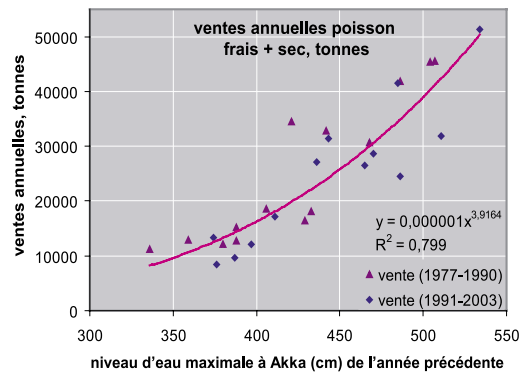


Fig. 5.6. Ventes annuelles (en équivalents de tonnes de poisson frais) de poisson transformé et frais dans le Delta Intérieur du Niger comme fonction de l'inondation maximale survenue l'année précédente.

quasi-totalité du poisson a été capturée à la fin de la campagne de pêche.

Le poisson âgé de plus d'un an se fait de plus en plus rare dans le Delta Intérieur du Niger (Laë 1994). Pour qu'une espèce survive, elle doit se reproduire aussi tôt que possible. La période de reproduction, pour la plupart des espèces, est limitée à la saison des crues (Bénech et Dansoko 1994). Par conséquent, le stock de poisson d'une année dépend donc entièrement des frais et de l'élevage produits par les rares poissons encore en vie au terme de leur première année ou âgés de plus d'un an. Bénech et Dansoko (1994) ont constaté que les espèces de poisson dans le Delta Intérieur du Niger se sont adaptées à la forte pression de prédation en avançant l'âge de leur reproduction.

La principale cause de l'épuisement du stock de poisson dans le Delta Intérieur du Niger tient à l'introduction des filets en nylon dans les années 60. Depuis, l'ensemble du système d'exploitation a fondamentalement changé. Le maillage des filets en nylon s'est constamment réduit afin de s'adapter à la baisse progressive de la taille des poissons capturés. La taille des filets était généralement inférieure à 50 mm avant 1975. Elle était de 41 à 50 mm entre 1976 et 1983 et de 33 à 41 mm entre 1984 et 1989 (Laë et al. 1994). En d'autres termes, on observe une relation réciproque de cause à effet. Avec des filets à petites mailles, seuls les plus petits poissons peuvent s'échapper. En outre, étant

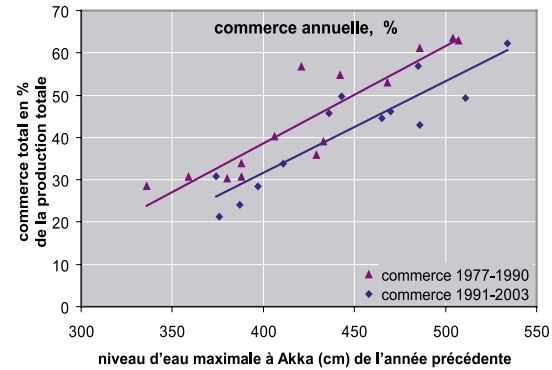


Fig. 5.7. Ventes annuelles en pourcentage de volume de la production totale (poisson transformé et frais pris ensemble) en fonction de l'inondation maximale de l'année précédente.

donné que la taille des poissons ne cesse de baisser, il est inutile d'utiliser des filets à grandes mailles. Tel que décrit par Laë et al. (1994), les pêcheurs ont également adapté leurs techniques de pêche.

L'observation selon laquelle le volume de poisson capturé a atteint la limite maximale bat en brèche les conclusions tirées plus haut dans ce chapitre. Cela revient à dire, par exemple, que la production totale, telle que présentée à la Fig. 5.2 a progressivement été surestimée ces dernières années. Si les pêcheurs ne



peuvent capturer davantage de poisson par rapport à la situation actuelle, on est en droit de se demander si la consommation quotidienne de la population locale est restée au niveau d'il y a 20 ou 30 ans. Les estimations de la production totale reposent sur l'hypothèse selon laquelle les pêcheurs consomment, chaque jour, 30 grammes de poisson transformé et que le reste de la population du Delta Intérieur du Niger en consomme 15 grammes.

L'autoconsommation et la commercialisation au niveau local sont-elles constantes au fil des ans?

Il existe deux études sur la consommation moyenne de la famille d'un pêcheur (10 personnes, en moyenne). La consommation moyenne était estimée à 1 183 grammes en 1961 et à 1 365 grammes en 1989 (Laë 1994). Il convient de souligner que ces estimations ne sont pas très différentes les unes des autres. En effet, les crues étaient fortes l'année précédente, en 1960 (580 cm au maximum en Akka) et faibles en 1988 (439 cm au maximum en 1980). Il semble que la baisse de l'offre de nourriture n'ait pas d'incidence immédiate sur les rations quotidiennes de poisson des pêcheurs eux-mêmes.

Il existe également deux estimations de la ration quotidienne de poisson des non-pêcheurs dans le Delta Intérieur du Niger: la première concerne la période où les crues étaient particulièrement fortes (1957-1958) et la seconde une année de faibles crues (1991) (Weigel et Stomal 1994). On observe, une fois de plus, que les estimations des rations quotidiennes ne sont pas très différentes les unes des autres. Les travaux de Weigel et Stomal montrent clairement qu'il est difficile d'évaluer la ration quotidienne de poisson. Il est simpliste d'établir une distinction entre pêcheurs et non-pêcheurs. Un pêcheur migrant consomme, en moyenne, plus de poisson qu'un pêcheur sédentaire et encore plus qu'un agriculteur-pêcheur. En 1991, 19% des pêcheurs étaient des migrants, 48% des sédentaires et 33% combinaient pêche et agriculture. Il est probable que cette dernière catégorie se soit élargie ces dernières années. Par conséquent, l'autoconsommation aurait reculé au fil des ans.

Bien que les travaux de Weigel et Stomal n'aient révélé aucune différence entre les consommations individuelles de poisson au niveau des populations locales, il est peu probable que leurs rations soient restées identiques au fil des ans. Chaque pêcheur doit déterminer

la part de sa capture qui sera vendue au niveau local et celle qui sera écoulee sur le marché. La Fig. 5.6 montre que le commerce annuel à Mopti varie entre 10 000 et 50 000 tonnes. Tout porte à croire que le commerce informel local évolue plus ou moins parallèlement au commerce annuel à Mopti. Quoiqu'il en soit, il est très peu probable que le commerce local en année de faibles crues soit le même qu'en année de fortes crues.

Les prévisions de production totale changent considérablement lorsque le commerce ou la consommation locale varient en même temps que les échanges à Mopti. Tout d'abord, la production totale serait beaucoup plus faible au cours des années de faibles crues, puisque la quantité de poisson vendue est inférieure au cours de ces années. Ensuite, la production totale serait inférieure au cours des dernières années, puisque la contribution de la consommation locale à la production totale a crû, du fait de l'accroissement de la population. Ainsi, le volume de la production totale ajusté, tel que présenté à la Fig. 5.6 serait encore plus faible, si on suppose que le commerce local évolue en fonction du commerce à Mopti. Pour pallier l'absence de données sur la baisse supposée du commerce informel et de l'autoconsommation au niveau local, on a utilisé plutôt les statistiques présentées à l'Annexe 6. Toutefois, il convient de se rappeler que la baisse des captures par pêcheur au cours des 30 dernières années est peut-être beaucoup plus importante que les niveaux indiqués.



5.5 Fonction de production pour les captures dans les quatre scénarios

La production halieutique annuelle indiquée dans les Figures 5.1 et 5.6, ainsi qu'à la Fig. 5.6 pour le commerce, présente une forte corrélation avec le niveau des crues. Par conséquent, une fonction de production pour le commerce du poisson et la production halieutique par rapport au niveau des crues peut être calculée sur la base des données relatives au commerce de poisson au cours de la période 1976-2003. Pour des raisons de comparaison, les fonctions qui illustrent la relation entre commerce et production par rapport au niveau des crues sont calculées. Les deux fonctions de production sont présentées ci-dessous:

$$\begin{aligned} \text{Ventes de poisson: } V &= 0,00003x^{2,1728} & (R^2 = 0,801) & \quad 5.1 \\ \text{Production halieutique: } P &= 7,404x^{0,9459} & (R^2 = 0,847) & \quad 5.2 \end{aligned}$$

où:

V = ventes totales de poisson (en tonnes)

P = captures ou production totales (en tonnes)

x = superficie maximale des inondations l'année précédente (en km²)

Ensuite les équations (5.1) et (5.2) servent à évaluer l'impact de l'irrigation par l'Office du Niger et de la retenue d'eau du barrage de Sélingué et du bassin prévu de Fomi. La variation subséquente des zones inondées en fonction de ces hypothèses est analysée au Chapitre 3 et à l'Annexe 6. Tel qu'indiqué plus haut, les chiffres des ventes de poisson pour la période 1976-2003 sont connus. Toutefois, nous avons retenu l'année 1982 comme le point de départ des scénarios, car elle correspond à la période où l'impact de l'irrigation et des réservoirs a pu être établi.

La Fig. 5.8 présente les quatre scénarios pour la période 1982-2003 établis sur la base des fonctions de production calculées dans les équations (5.1) et (5.2) tant pour la commercialisation du poisson (à gauche) que pour la production halieutique (à droite). La ligne de régression jaune représente la situation actuelle (scénario 2). Les fonctions de régression qui en résultent simulent également les captures et la production de

poisson dans les conditions de fortes crues (scénarios 1 et 2) et de faibles crues (scénarios 3). Le haut de la Fig. 5.8 illustre la différence entre les scénarios 0, 1 et 3, d'une part, et le scénario de référence (situation actuelle), d'autre part. En combinant ces courbes et celles de la situation actuelle, les niveaux absolus de la commercialisation et de la production de poisson sont générés (voir bas de la Fig. 5.8).

Par rapport à la situation actuelle, la commercialisation du poisson serait de 800 à 2 200 tonnes plus élevée sans l'Office du Niger (ON) qui représente en moyenne 8% des ventes totales de poisson. En supposant que ni l'ON ni Sélingué ne sont opérationnels, les ventes de poisson augmenteraient de 2 000 à 4 600 tonnes supplémentaires (soit d'environ 12%). L'impact relatif des barrages sur les ventes de poisson varie en fonction du niveau des crues; les pertes enregistrées au niveau des ventes de poisson sont plus importantes, lorsque les crues sont faibles: 8% imputables à l'ON et 13% à Sélingué, soit 21% au total. L'impact relatif de l'ON et de Sélingué sur la commercialisation du poisson est moins important, lorsque les crues sont fortes: 4% pour l'ON et 8% pour Sélingué. Du fait de la réduction du débit du fleuve consécutive à la construction du barrage de Fomi, les ventes de poisson baisseraient davantage pour se stabiliser, en moyenne, à 36%, oscillant entre 25% lorsque les crues sont fortes et 37% lorsqu'elles sont faibles.

Il ressort des estimations ci-dessus que l'impact relatif de l'irrigation et des réservoirs est moindre pour la production que pour le commerce du poisson. Par rapport à la situation actuelle, la production de poisson serait supérieure, en moyenne, de 2 671 tonnes sans l'ON qui représente, en moyenne, 3% de la production halieutique totale. En supposant que les deux barrages n'existent pas, la production halieutique augmenterait de 1 368 tonnes supplémentaires (soit d'environ 8%). Le barrage de Fomi réduira la production halieutique de 8 542 tonnes par an (soit de 16%) par rapport à la situation actuelle.

Nos prévisions diffèrent quelque peu des estimations précédentes. Laë (1994) conclut que sans l'ON et Sélingué, la production halieutique totale aurait crû de 4 500 à 5 000 tonnes, ce qui représente environ 10% de la production locale. Toutefois, pour diverses raisons, nos estimations qui font état d'une baisse de 11% à 12% sont plus précises. Tout d'abord, Laë ne tient pas compte du débit du fleuve Bani et utilise une méthode



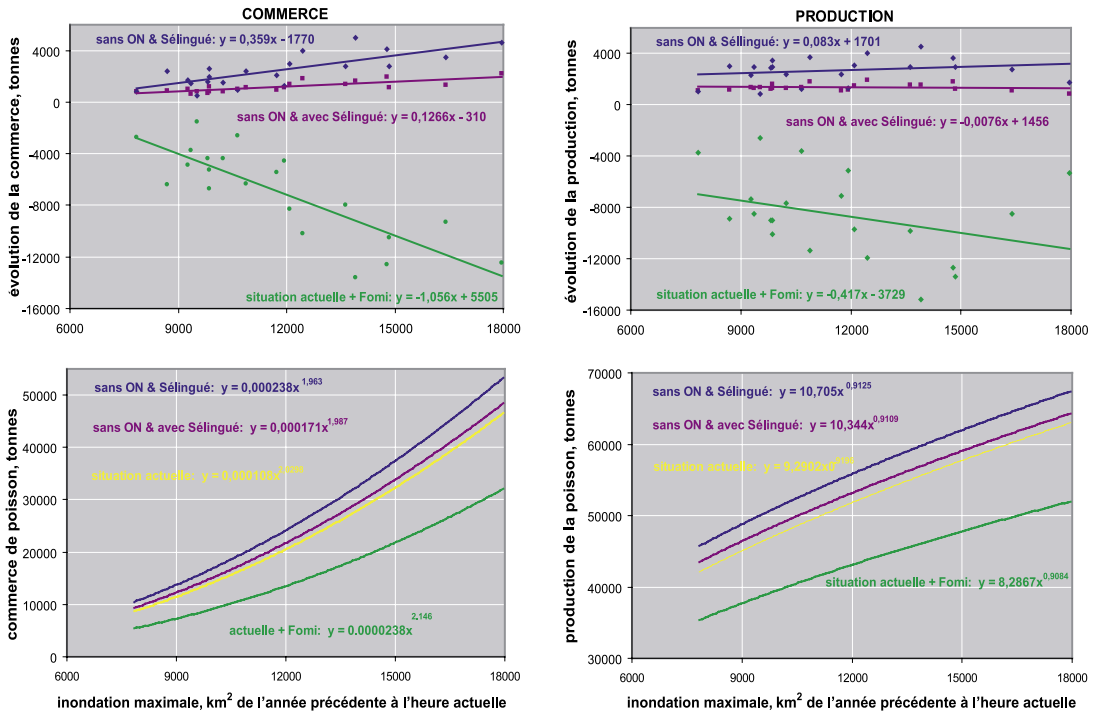


Fig. 5.8. La commercialisation annuelle (à gauche) absolue (en bas) et son évolution (en haut), et les captures annuelles de poisson (à droite) en tonnes dans le Delta Intérieur, à l'heure actuelle (scénario 2), comparées à trois scénarios (0) sans l'ON et Sélingué, (1) sans l'ON et avec Sélingué, (3) situation actuelle plus Fomi.

d'évaluation moins précise pour évaluer la superficie de la zone inondée (voir Chapitre 3.2). Ensuite, notre série chronologique, qui va de 1982 à 2003, est plus longue que celle de Laë qui concernait la période 1982-1992.

Notre analyse appelle deux observations. Tout d'abord, nous supposons que l'autoconsommation et les ventes au niveau local dans le Delta Intérieur restent constantes et sont, par conséquent, indépendantes du niveau des crues. Nous partons de l'hypothèse que la consommation quotidienne de poisson par famille est censée rester invariable au fil du temps. La validité de cette hypothèse implicite est incertaine. Il est tout à fait possible que la consommation quotidienne de la population locale varie en fonction des captures annuelles totales, et partant par rapport au niveau des crues.

Malheureusement, il n'existe aucune preuve de cette corrélation. En outre, nos estimations et celles de Laë

sont quelque peu modestes, car elles ne prennent pas en compte le fait que l'impact du réservoir de Sélingué était moins important sur le commerce du poisson (soit une réduction de 500 à 1 200 tonnes) au cours de ses trois premières années d'existence. Cette exception s'explique par le fait qu'au début, Sélingué retenait moins d'eau parce que le réservoir n'était pas entièrement drainé en saison sèche et il n'était pas entièrement plein pendant les crues (voir Fig. 2.10 et Annexe 2).

5.6 Conclusions

En règle générale, on peut conclure que les barrages et les réservoirs ont un impact considérable sur les pêches dans le Delta Intérieur du Niger. En outre, à l'heure actuelle, des leçons plus spécifiques peuvent être tirées des analyses ci-dessus.

- La production halieutique annuelle dans le Delta Intérieur, telle qu'enregistrée depuis 1966, dépend, dans une large mesure, du niveau des crues de l'année précédente.
- La production halieutique annuelle correspond à la somme des chiffres de l'autoconsommation et du commerce informel et local plus les ventes enregistrées à Mopti. Le calcul de l'autoconsommation totale des 300 000 pêcheurs et des 555 000 non-pêcheurs dans le Delta Intérieur du Niger repose sur la consommation quotidienne de poisson mesurée par famille, qui est supposée invariable dans le temps. La validité de cette hypothèse implicite est incertaine. Il est possible que la consommation quotidienne de la population locale varie en fonction des captures annuelles, et partant du niveau des crues.
- A présent que les données du troisième recensement de 1997 sont disponibles, il semble que le taux d'accroissement annuel de la population rurale du Delta Intérieur ne représente pas 2% comme supposé, mais seulement 1%. Ainsi, l'autoconsommation et les ventes locales ont été surestimées ces dernières années. Des estimations corrigées de la production halieutique sont fournies en tenant compte des nouvelles informations disponibles sur la population du Delta Intérieur.
- En dépit de l'accroissement progressif de la population de pêcheurs dans le Delta, les estimations corrigées montrent que la production halieutique est restée inchangée au cours des 27 dernières années. Ceci revient à dire que l'on a atteint la limite biologique de la production de poisson. Kodio et al. (2002) sont parvenus à la même conclusion lorsqu'ils se sont



aperçus qu'à la fin de la campagne de pêche, la capture quotidienne des pêcheurs ne représentait qu'une fraction des captures quotidiennes six mois auparavant. D'autres études ont confirmé que seuls quelques poissons ont survécu à la campagne de pêche en saison sèche. Les poissons âgés de plus d'un an sont de plus en plus rares dans le Delta Intérieur.

- La relation étroite entre les ventes annuelles de poisson à Mopti et le niveau des crues l'année précédente permet d'évaluer l'impact moyen de l'Office du Niger et de Sélingué sur les ventes de poisson. L'analyse montre que les ventes de poisson auraient été 6% supérieure sans l'Office du Niger et de 13 autres pour cent sans le réservoir de Sélingué. L'analyse prévoit également que les ventes de poisson baisseraient de 37% si un barrage était construit à Formi.

6 VÉGÉTATION DE LA BASSE ZONE D'INONDATION DU DELTA INTÉRIEUR

Leo Zwarts
Ion Grigoras
Jenica Hanganu

6.1 Introduction

A première vue, les plaines alluviales du Delta Intérieur ressemblent à un écosystème naturel intact. L'eau suit son cours naturel et l'irrigation de la zone d'inondation est à peine affectée par des barrages, des digues et des écluses. Les immenses champs d'herbes flottantes («bourgou») sur le Lac Debo attirent tellement d'oiseaux aquatiques qu'ils donnent l'impression d'une nature vierge. De même, la plupart des rizières du Delta Intérieur semblent tout à fait naturelles. Toutefois, dans les faits, l'impact de l'action de l'homme sur les plaines alluviales est considérable. Les champs de bourgou du Lac Debo sont presque tous plantés par les populations autochtones. En outre, la végétation subit beaucoup d'impact des deux millions de bovins et des quatre millions d'ovins et de caprins qui pâturent dans les plaines alluviales pendant la décrue. Les forêts inondables sont devenues rares dans le Delta. A l'heure actuelle, le Delta Intérieur a un paysage très ouvert, avec une basse végétation d'herbe, de riz et de bourgou. Cependant, les vieux se souviennent encore du temps où d'immenses forêts recouvraient les hautes terres et où l'on rencontrait plusieurs forêts dans les basses plaines alluviales. Dans l'ensemble, le Delta Intérieur est un habitat semi-naturel très exploité par les populations autochtones. Cependant, tel qu'indiqué au Chapitre 9, il attire encore des millions d'oiseaux d'eau, ce qui lui confère une très grande valeur écologique.

Le présent chapitre vise à décrire la végétation du Delta Intérieur du Niger dans son état actuel, et à dépeindre brièvement les variations saisonnières de la biomasse verte. La corrélation entre la végétation et les crues du Delta Intérieur revêt un intérêt particulier. Par conséquent, les données relatives à la végétation sont comparées au modèle de crue digital présenté au Chapitre 3. La carte de la végétation présentée dans ce Chapitre est appliquée à l'analyse d'impact pour l'agriculture (Chapitre 7) et le bétail (Chapitre 8), ainsi qu'à la description des valeurs écologiques (Chapitre 9). Il convient de souligner que les deux principaux types de végétation du Delta Intérieur (bourgou et riz) ne sont que partiellement couverts dans ce chapitre. Une description plus détaillée figure aux Chapitres 7 et 8.

Le Chapitre 6 est structuré comme suit: la section 6.2 s'attache à définir les modèles de végétation. Les informations et les images disponibles sont soigneusement analysées et les difficultés surmontées grâce à la manipulation des données. La section 6.3 présente les principaux résultats des analyses, ainsi que les méthodes proposées pour résoudre les problèmes inhérents à l'analyse, tandis qu'à la section 6.4, des conclusions sont tirées sur les modèles de végétation du Delta Intérieur.



6.2 Quantification de la végétation

Données

La communauté scientifique a décrit de manière détaillée la végétation dans le Delta Intérieur du Niger. A cet égard, Hiernaux a joué un rôle de pionnier (notamment, Hiernaux 1982, Hiernaux 1983, Hiernaux et al. 1983, Hiernaux & Diarra 1983). Plus récemment, Marie (2000, 2002) a fait une synthèse d'une partie considérable du travail accompli sur la végétation du Delta Intérieur au cours des 25 dernières années. La plupart des informations couvertes sont publiées dans des rapports (internes) dont la distribution est restreinte. Marie a également introduit toutes les données dans un système SIG, ce qui permet une analyse quantitative. Ce travail est décrit de façon circonstanciée dans trois rapports (Marie 2000), ainsi que dans un atlas contenant plusieurs cartes détaillées. Une synthèse de ce travail important a été publiée deux ans plus tard (Marie 2002), mais son étude ne couvre pas le Delta au nord du Lac Debo (L'Erg Niafunké/Delta lacustre).

Marie (2000, 2002) a identifié 27 types de végétation qui peuvent être répartis en 9 principales catégories. Tel qu'indiqué au Tableau 6.1, quatre de ces neuf principaux types couvrent 80% de la partie méridionale

Tableau 6.1. Superficie (km²) couverte par les quatre principaux types de végétation dans les parties méridionale et centrale du Delta Intérieur, notamment la zone avoisinante des lacs centraux et leur partie méridionale. Source: Marie (2000, 2002).

Type de végétation	Surface (km ²)	%
Vétiveraire (hautes herbes)	6.399	38,91
Orizaie (riz)	3.424	21,03
Eragrostaie (basses herbes)	1.902	11,68
Bourgoutière (herbes flottantes)	1.613	9,91

et centrale du Delta Intérieur, soit une superficie totale de 16 280 km².

Il existe un découpage clair en zones des différents types de végétation. La présence des différentes plantes et espèces d'arbres sont déterminées par la durée de l'inondation et/ou la profondeur d'eau lorsque la crue atteint son niveau le plus élevé. Il existe une variation à long terme du niveau des crues dans le Delta Intérieur. Ce niveau a été extrêmement bas au début des années 80 et plus élevé ces dernières années; mais il demeure de loin en deçà du niveau d'avant les années 70. Par conséquent, le découpage de la végétation en zones varie au fil du temps. Marie (2002) a découvert que la zone de distribution du riz cultivé a évolué entre 1952, 1975 et 1989. Des constats similaires confirment le décalage de la zone de l'*Echinochloa stagnina*, localement appelé bourgou (Zwarts & Diallo 2002).

Analyse

Des données de différentes sources ont été utilisées pour l'analyse de la végétation. Tout d'abord, l'ensemble des 11 cartes topographiques (1/200 000) du Delta Intérieur ont été scannées et introduites dans un système SIG. Bien qu'elles aient été établies il y a plus de 50 ans, ces cartes se sont avérées extrêmement utiles. Ensuite, les images-satellites acquises pour les besoins de la présente étude (voir Tableaux 3.1 et 3.2 pour de plus amples informations) ont été imprimées en composites en vraie couleur à l'échelle 1/30 000, et utilisées aux fins de vérification sur le terrain. Troisièmement, sur la base du modèle de crue digital, une carte d'altitude a été imprimée et utilisée sur le terrain. Le travail de terrain a été effectué en janvier-mars au cours de cinq périodes de 2 à 4 semaines au cours de la période 1999-2003. Le GPS a été utilisé afin d'indiquer les types de végétation homogène (voir Fig. 6.1). Enfin, afin de mieux comprendre les modèles historiques, il a été demandé aux populations autochtones d'indiquer l'évolution des types de végétation homogènes sur les cartes topographiques. Par exemple, les communautés locales ont pu expliquer parfaitement quand et où les forêts inondées ont été coupées et transformées en rizières.

Il existe les différents types de végétation suivants:

- *Cyperus articulatus*
- Bourgou – *Echinochloa stagnina*, herbe flottante formant de vastes prairies semi-aquatiques
- Herbe – *Cynodon dactylon*, *Eragrostis barteri*, *Panicum subalbicum*



Fig. 6.1. Zones visitées dont la végétation est plus ou moins homogène dans le Delta Intérieur; Les centaines de petites zones sont indiquées par des triangles. Pora au sud et Walado-Debo au centre ont été fréquemment visitées. Le fond utilisé montre un Delta Intérieur extrêmement sec le 8 juillet 1985.

- Didéré – *Vossia cuspidata*, herbe flottante souvent mélangée avec du bourgou
- Bourgoutière – mélange de bourgou et de didéré
- Nénuphar – blanc ou violet, souvent mélangé avec du bourgou ou du riz sauvage
- Forêt inondée – *Acacia kirkii* et *Ziziphus amphibiis*
- *Mimosa pigra* – broussailles basses qui se rencontrent souvent sur les levées le long du fleuve
- Riz sauvage – *Oryza longistaminata*
- Riz cultivé – *Oryza glaberrima*

Manipulation des données

Une scène particulière du 8 février 2003 (niveau d'eau: 86 cm) a été retenue pour le traitement des images. La carte d'eau de 511 cm indiquée à la Fig. 3.5 a été utilisée pour masquer toutes les parties situées hors de la zone d'inondation. Les classes de végétation pour lesquelles nous voulons faire la distinction semblent présenter une signature spectrale différente. Par exemple, le riz semble tout à fait différent selon qu'il est encore vert, récolté ou brûlé. Dans la mesure où toutes ces étapes se retrouvent au même moment dans le Delta Intérieur, il est difficile d'utiliser une classification supervisée. C'est la raison pour laquelle nous avons retenu une

classification non supervisée qui associe ces variations à des classes de végétation spécifiques. Une classification non supervisée avec 60 ou 100 classes s'est avérée imprécise, tandis que la division en 150 classes a donné d'excellents résultats.

Afin de rendre la classification aussi quantitative que possible, des sites d'exercice ont été identifiés afin de déterminer la répartition des fréquences entre les différents types de végétation pour chaque catégorie supervisée. Certaines classes sont ressorties très clairement, tandis que d'autres catégories étaient moins précises. Par exemple, pour l'ensemble des sites d'exercice, 96% de la classe 20 se retrouvent sur les sites de bourgou. Ainsi, il est certain que cette classe peut être considérée comme du bourgou. La zone dénommée classe 20 couvre 1 172 km². En revanche, pour la classe 19, la situation est moins nette. Sur les 559 km² qu'elle couvre, 75% sont du bourgou et 16% du vétiver. Toutefois, après un examen minutieux de la carte, on est arrivé à la conclusion que la classe 19 est aussi du bourgou. Dans d'autres cas, il s'est avéré impossible d'affecter un type de végétation à une classe donnée. Par exemple, la classe 16 (175 km²) et la classe 17 (372 km²) sont dominées à 23% et 26% par du bourgou et à 30% et 24%, respectivement par du nénuphar. Par conséquent, après l'examen de la répartition des classes 16 et 17, il a été décidé de les considérer comme un mélange de bourgou et de nénuphar.

Ainsi, les 150 classes colorées ont été associées à sept classes de végétation:

- Bourgoutière (bourgou et didéré);
- Bourgoutière et nénuphar;
- Herbe;
- Riz sauvage;
- Riz et nénuphar;
- Riz cultivé;
- Vétiver.

L'identification de certains types de végétation s'est avérée difficile. A titre d'exemple, les broussailles de *Mimosa* prédominent dans certaines des 150 classes. Pourtant, dans l'association de ces classes au *Mimosa*, plusieurs sites où ces broussailles n'auraient jamais poussé ont été considérés comme des broussailles de *Mimosa*. Des problèmes similaires se sont posés pour les forêts inondées. Bien qu'il soit possible de les distinguer au départ, la répartition des types de végétation en différentes classes a mis en évidence de nouveau la

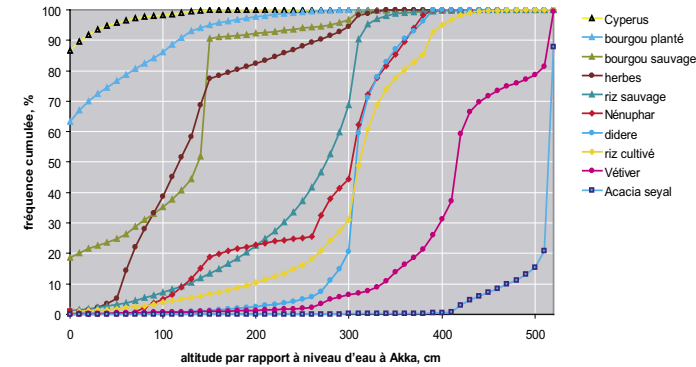


Fig. 6.2. Répartition de la fréquence cumulée (%) de neuf types de végétation en fonction de l'altitude. Le bourgou qui a été planté par les populations autochtones a été séparé du bourgou sauvage. L'altitude est déterminée par rapport à l'échelle de niveau d'eau en Akka. En moyenne, le niveau d'eau maximum a été de 470 cm ces dernières années. Ainsi, le riz cultivé (altitude moyenne de 320 cm) est couvert par 150 cm au maximum, le riz sauvage (altitude moyenne 270 cm) par 200 cm et le bourgou sauvage (altitude moyenne 140 cm) par 330 cm.

présence de forêts inondées, notamment Akkagoun, Dentaka et Pora dans des zones où il n'existe en réalité aucune forêt. Après avoir minutieusement traité les données et pondéré les erreurs, il a été décidé de ne pas classer séparément le *Mimosa* et les forêts inondées.

Il existe plusieurs manières de réduire le nombre d'erreurs dans la quantification des différents types de végétation du Delta Intérieur. Par exemple, la carte de répartition de ces types peut être améliorée par l'analyse des différentes scènes de la même saison avant de comparer soigneusement les résultats. Etant donné que les ressources et le temps sont limités pour cet important travail, cette approche sera utilisée dans des travaux futurs.

En revanche, deux autres approches ont été adoptées en vue de réduire les erreurs. D'abord, les types de végétation entre lesquels il est difficile d'établir une distinction ont été combinés. C'est la raison pour laquelle, le didéré et le bourgou ont été combinés au titre de la «bourgoutière». Deux types de végétation mixtes ont été séparés: le nénuphar et la bourgoutière, et le nénuphar et le riz sauvage. Ensuite, le modèle d'élévation digital a été utilisé pour corriger les erreurs manifestes. Les sites d'exercice ont été regroupés par type de végétation et la répartition de la fréquence de l'élévation déterminée par type de végétation. Pour l'élévation, le modèle inclusif a été appliqué (voir Chapitre 3.4 pour de plus amples informations).

La Fig. 6.2 présente le résultat sous forme de répartition de fréquence cumulée. Le graphique indique clairement la présence de zones de végétation spécifiques à certaines élévations. La végétation de *Cyperus articulatus* ne se rencontre que dans la partie basse de la zone

d'inondation, tandis que *Vetiveria nigriflora* et les forêts d'*Acacia* se situent dans la partie supérieure de la zone. Le didéré, le riz sauvage, le nénuphar et le riz cultivé dominant dans la moitié de la zone d'inondation.

En moyenne, le niveau d'eau maximum à Akka a été de 470 cm au cours des 5 dernières années. Etant donné que la majeure partie du bourgou planté se trouve à un niveau de 0 cm selon l'échelle du niveau d'eau de Akka, ces plantes poussent dans un plan d'eau d'une hauteur maximum de 470 cm. Seuls 20% du bourgou poussent à un niveau aussi bas. En fait, la majeure partie du bourgou pousse à 140-170 cm selon l'échelle d'Akka, et donc à une profondeur de 300-330 cm. Le didéré pousse à la même profondeur que le riz sauvage, soit à un niveau d'environ 300 cm selon l'indicateur d'Akka, et à une profondeur de 1,5 à 2 m. Les parcelles mixtes de bourgou et de didéré ne sont pas indiquées à la Fig. 4.2, mais elles se trouvent entre le bourgou sauvage et le didéré. Ainsi, la bourgoutière (bourgou et/ou didéré) se situe dans une large fourchette de 0 à 300 cm.

La répartition des fréquences indiquée à la Fig. 6.2 a été utilisée pour corriger les erreurs de la classification décrite ci-dessus. L'exemple de la classe 19 considérée comme du bourgou a été donné plus tôt, bien qu'elle contienne également du vétiver. Cette erreur peut être corrigée en considérant la classe 19 comme du vétiver si le site se trouve à 350 cm et plus, et comme du bourgou à des élévations plus basses. D'autres corrections ont été faites, notamment le riz sauvage qui, s'il se rencontre à 170 cm ou moins, est considéré comme de l'herbe, et l'herbe à 270 cm et plus est convertie en vétiver. Une fois ces corrections faites, il a été possible d'établir une carte de la végétation.



6.3

Résultats et discussions

La partie droite de la Fig. 6.3 présente la carte de la végétation établie sur la base de l'image de février 2003 indiquée dans la partie gauche de la même Figure. Bien que la carte de la végétation repose sur une scène dont le niveau d'eau est plutôt faible (86 cm en Akka), à cette période, les plaines alluviales les plus basses dans le Lac Debo étaient encore couvertes d'eau. Il s'agit de zones où, plus tard pendant la saison, *Cyperus esculentus* vivace forme d'immenses champs verts. Etant donné que la carte repose sur une image de février, le riz cultivé a été récolté et beaucoup de champs couverts de paille ont été brûlés. Le bourgou qui pousse dans le Lac Debo et à Walado est toujours présent sous forme de végétation flottante. Toutefois, dans d'autres zones, en particulier

plus au sud, la quasi-totalité du bourgou a été récoltée et a été considérablement broutée par les troupeaux. En plusieurs endroits, les graminées annuelles ont commencé à pousser.

Ces exemples démontrent que le même type de végétation peut paraître tout à fait différent: vert éclatant, chaume, voire brûlé. C'est également la raison pour laquelle il a été si difficile d'établir une carte de la végétation sur la base de l'analyse spectrale d'une image-satellite. Toutefois, dans la mesure où plusieurs images de la même campagne agricole ont été acquises, il doit être encore possible de prendre en compte cette information et d'établir une carte plus fiable.

Une analyse des valeurs NDVI peut constituer une source d'information additionnelle. Le NDVI est un indice multispectral souvent utilisé pour mesurer la biomasse verte; il est le résultat du ratio: (proche infrarouge - rouge)/(proche infrarouge + rouge). Les valeurs NDVI des différents types de végétation ne sont pas très différentes les unes des autres, mais la variation saisonnière semble différente. Par exemple, les valeurs NDVI du didéré restent constantes, tandis que celles du bourgou baissent pendant la décrue. En fait, le didéré reste vert, tandis que le bourgou jaunit. Cette informa-



Fig. 6.3. Composée vraie couleur (à gauche) de la partie méridionale du Delta Intérieur du Niger (131x139 km) le 2 février 2002 et la carte de la végétation qui en a été tirée (à droite). L'image de gauche montre clairement les différentes teintes vertes pour le vétiver, le riz et le bourgou. Les taches noires dans le quart sud-ouest de la scène renvoient aux rizières brûlées. Noter que la zone est encore couverte par l'eau avec un plan d'eau de 360 cm selon l'échelle d'Akka.

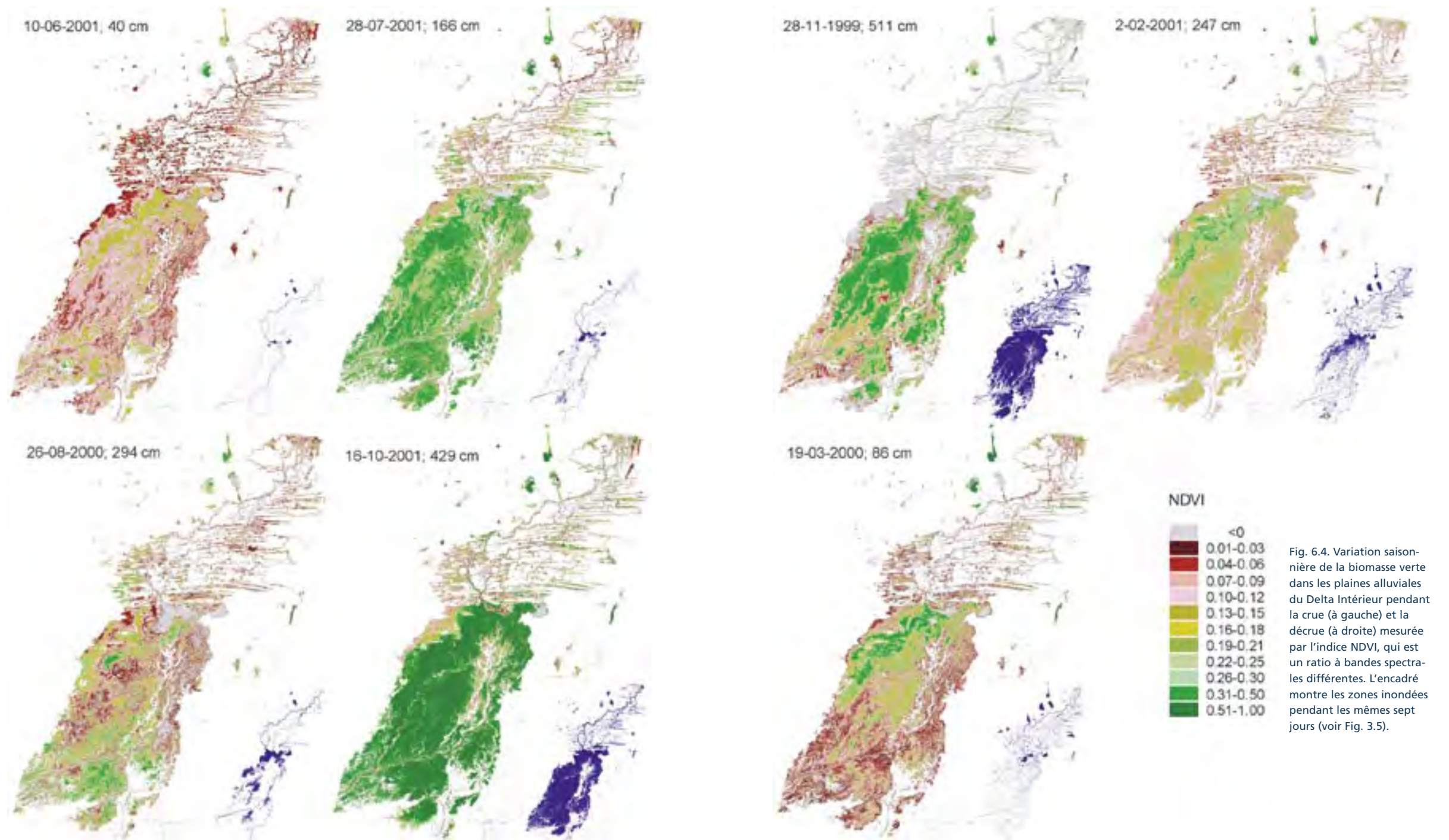


Fig. 6.4. Variation saisonnière de la biomasse verte dans les plaines alluviales du Delta Intérieur pendant la crue (à gauche) et la décrue (à droite) mesurée par l'indice NDVI, qui est un ratio à bandes spectrales différentes. L'encadré montre les zones inondées pendant les mêmes sept jours (voir Fig. 3.5).

tion n'a pas encore été utilisée afin d'améliorer la carte de la végétation, mais ce travail sera fait à l'avenir.

Le NDVI est un excellent outil permettant de décrire la valeur globale, saisonnière et annuelle de la biomasse verte. Comme premier résultat, la Fig. 6.4 montre pour la zone d'inondation, la variation saisonnière de la biomasse verte durant la crue (les 4 images de gauche) et la décrue (les 3 images de droite), en utilisant des images prises entre novembre 1999 et juillet 2001. Une difficulté au niveau de l'interprétation tient au fait que la biomasse sous la surface de l'eau n'est pas visible et n'a pas été prise en considération dans le calcul du NDVI. Par conséquent, pour l'ensemble des sept images, la zone couverte par l'eau est présentée sous forme d'un petit encadré (voir Fig. 3.5).

La Fig. 6.4 montre à quel point les plaines alluviales sont nues en saison sèche avant les pluies (juillet 2001), et se transforment en prairies vertes dès les premières pluies (juillet 2000 et août 2001; 85 mm deux semaines avant: Tableau 3.1). Les plaines alluviales sont recouvertes d'un tapis dense d'herbes flottantes (octobre 2000, novembre 1999). La végétation verte se raréfie dès que les plaines alluviales sont découvertes (février 2001 et mars 2000). La Fig. 6.4 montre que la variation de la biomasse est beaucoup plus importante dans le Delta Nord (à l'exception du Lac Horo et du Lac Télé) que dans le Delta Sud. Une comparaison des sept images montre également que la zone au sud-ouest du Lac Walado, en l'occurrence la Plaine de Séri, est toujours verte, même pendant la saison sèche 2000 et 2001. Elle n'a changé de couleur que pendant la Grande Sécheresse. Tout le terrain en composée en vraie couleur de juillet 1985 (Fig. 6.1) est rouge, ce qui indique un sol nu sans végétation.

La carte de la végétation à la Fig. 6.3 est jugée fiable pour le bourgou. Les erreurs concernent essentiellement la distribution de l'herbe, du riz sauvage et du riz cultivé. Cependant, la distribution du riz cultivé n'est pas très différente de celle contenue dans la carte de 1987 établie par Marie (2000, 2002) et reproduite dans le présent rapport (Fig. 8.7). L'évolution du modèle de distribution du riz cultivé au cours des 50 années est examinée au Chapitre 8.

Tel qu'indiqué au Tableau 6.1, Marie (2000) a calculé, au départ, la zone couverte par les différents types de végétation. Les zones de végétation générées par notre approche sont présentées au Tableau 6.2. Il ressort des estimations que le riz couvre 2 473 km², la bour-

goutière 1 543 km² et l'herbe 1 105 km². Lorsque l'on compare nos estimations à celles de Marie (2000), il ne se dégage aucun écart significatif, surtout lorsqu'on prend en compte le fait que nos données concernent l'ensemble du Delta et les siennes la partie méridionale. En outre, les estimations du Tableau 6.2 ne prennent pas en compte la zone d'inondation supérieure à 360 cm.

Tableau 6.2. Superficie totale (km²) des différents types de végétation dans la basse zone d'inondation (<360 cm; voir Fig. 3.5) en février 2003. Il convient de souligner que la superficie concerne non seulement la zone indiquée à la Fig. 4.3, mais également l'ensemble du Delta Intérieur.

Type végétation	Surface (km ²)
Riz cultivé	1.040
Riz sauvage	1.260
Riz sauvage & nénuphar	173
Bourgou & didéré	1.039
Bourgou & didéré & nénuphar	504
Herbe	1.105



6.4 Conclusions

Malgré les incertitudes qui entourent l'analyse de la végétation et le fait qu'un certain nombre de mesures supplémentaires peuvent être effectuées en vue d'améliorer nos connaissances au sujet de l'évolution de la végétation dans le Delta Intérieur du Niger, il est possible de tirer un certain nombre de conclusions à ce stade:



- la biomasse verte subit d'importantes variations saisonnières, du fait de la pluviométrie et des crues; ce phénomène pourrait être décrit à l'aide d'une sélection de deux bandes spectrales des images-satellites (rouge et proche infrarouge);
- une carte de la végétation du bas Delta Intérieur, établie sur la base d'une image-satellite de février 2003, indique clairement la distribution du bourgou (essentiellement dans la partie centrale du Delta Intérieur), du riz cultivé et du riz sauvage (surtout dans la partie sud-ouest du Delta Intérieur);
- les principaux types de végétation indiquent un découpage clair des zones par rapport à la profondeur de l'eau. Le bourgou pousse là où le plan d'eau dépasse 3 mètres de profondeur. Le didéré, le riz sauvage et le riz cultivé poussent dans un plan d'eau d'environ 2 mètres.

7 LE BÉTAIL DANS LE DELTA INTÉRIEUR DU NIGER

Hasse Goosen
Bakary Kone

7.1 Introduction

La bordure méridionale du Sahara sert de pâturage à des millions de bétail. Il y a environ 25 ans, une équipe de chercheurs Néerlandais et Maliens travaillant sur la «Production Primaire au Sahel (PPS)» a confirmé un fait connu de longue date des éleveurs. En effet, leurs travaux ont démontré que les quelques espèces d'herbes qui poussent dans la zone subaride, sont d'une qualité exceptionnelle. Bien que le couvert herbacé de cette zone ne soit pas luxuriant, les tiges d'herbes y sont très nourrissantes. Selon les conclusions des chercheurs, ces herbes si peu abondantes ont une bonne qualité nutritive, en raison de leur teneur élevée en protéines et leur faible teneur en fibres brutes. Par conséquent, elles s'avèrent particulièrement faciles à digérer pour les bovins. En outre, les chercheurs ont noté que les éleveurs mettent pleinement à profit les variations temporelles et spatiales de la qualité et de la quantité de l'herbe, en se déplaçant en permanence avec leurs troupeaux. Après les premières pluies, les plantes mettent un certain temps avant de germer. Au départ, les jeunes pousses vertes ont une bonne qualité nutritionnelle puis, sous l'effet de la biomasse croissante, cette qualité baisse. Des études plus récentes ont démontré que le rapport quantité-qualité est différent, selon que le sol est sablonneux ou argileux. Cette variation spatiale est également judicieusement mise à profit par les éleveurs dans le choix des pâturages.

Dans le présent chapitre nous procéderons à une analyse de la variation annuelle du nombre de têtes de bétail et nous nous attacherons à répondre à la question de savoir si celle-ci est liée aux tendances très variables de la crue dans le Delta Intérieur. Avant d'effectuer cette analyse, il convient d'expliquer les corrélations entre inondation et productivité du bétail. Le facteur essentiel à prendre en compte à cet égard est la variation annuelle du niveau des ressources alimentaires disponibles dans le Delta Intérieur, en fonction de l'importance de la crue. Le chapitre est structuré comme suit: la Section 7.2 décrit la situation actuelle du cheptel dans le Delta Intérieur du Niger, en termes de disponibilité de données et de taille des troupeaux; la Section 7.3 s'attache à expliquer les facteurs de changement qui affectent le bétail dans le Delta Intérieur du Niger. La Section 7.4 est consacrée à une analyse des corrélations entre la situation du cheptel et les crues afin d'expliquer la réduction drastique du cheptel pendant la Grande Sécheresse; elle donne également lieu à un calcul de régression multiple entre le bétail et les principales variables auxquelles il est soumis. Des simulations de changements du bétail sont présentées à la Section 7.5, en partant de quatre scénarios. Enfin, les conclusions sont tirées à la Section 7.6



7.2 Le bétail dans le Delta Intérieur du Niger

Disponibilité de données

Les données disponibles sur la situation du bétail dans le Delta Intérieur du Niger sont nombreuses et variées. Elles ont été fournies en partie au niveau des cercles (rapports annuels de la Direction Générale de l'Élevage publiés depuis 1980) et en partie au niveau des régions (rapports annuels de la Direction Générale de la Réglementation et du Contrôle [DGRC] et de l'Office Malien du Bétail et de la Viande [OMBEVI]). La présente étude porte essentiellement sur les régions de Mopti et Tombouctou, car toutes deux sont situées dans le Delta

Intérieur du Niger. Les données proviennent de deux principales sources: 1) les données annuelles de la Direction Générale de l'Élevage; 2) les rapports annuels produits par la DGRC/OMBEVI au cours la période 1984-99. Bien qu'il existe de légères différences entre les chiffres absolus cités par l'une et l'autre source en ce qui concerne le cheptel, il n'en demeure pas moins qu'il existe une forte corrélation entre les deux. Par exemple, le nombre de bovins dans la région de Mopti au cours de la période 1984-99, tel qu'indiqué par les statistiques provenant des deux sources, donne lieu à un ajustement $R^2 = 0,91$.

Les écarts entre les données portent à la fois sur le temps et les espèces. Pour Tombouctou, les sources sont: les Rapports annuels de la Direction générale de l'élevage et de la Direction Régionale de l'Appui au Monde Rural de Tombouctou, ainsi que de la Cellule de Planification et de la Statistique du Ministère du Développement Rural.

Les données les plus complètes concernent les bovins,

les ovins et les caprins. Etant donné que ceux-ci constituent également de la composante du bétail la plus importante, l'étude sera essentiellement axée sur ces trois espèces. Pour la région de Mopti, il existe suffisamment d'informations sur les bovins, ainsi que l'ensemble du cheptel. La corrélation entre le nombre de bovins et l'ensemble du cheptel est très bonne ($R^2 = 0,973$). Par conséquent, la population de bovins constitue un bon indicateur de l'effectif total du cheptel.

Cheptel total

La Fig. 7.1 présente la répartition des espèces animales (en nombre de têtes) entre les différentes régions du Mali. Le cheptel est constitué essentiellement de bovins, d'ovins et de caprins. La figure illustre également l'importance relative des régions de Mopti, Ségou et Tombouctou en matière d'élevage au Mali. Par ailleurs, il en ressort clairement que ces trois régions constituent des pôles de l'élevage au Mali.

7.3 Facteurs expliquant les variations des effectifs du cheptel

Précipitations et éleveurs en Afrique de l'Ouest

Les éleveurs sont des populations qui tirent l'essentiel de leur subsistance de l'élevage d'animaux domestiques (viande, lait, sang et vente des produits animaux). Ils vivent essentiellement dans les zones de savane et désertiques, ce qui les amène à effectuer des déplacements saisonniers, à la recherche d'eau et de pâturages (Deshmukh, 1986). Les pasteurs nomades sont passés maîtres dans l'art de conquérir les environnements complexes et hostiles et dans l'exploitation des rares ressources sujettes à des fluctuations constantes, afin d'assurer leur survie. En d'autres termes, ils sont passés maîtres dans l'art de l'assurance. De nombreuses tribus combinent différentes espèces de bétail. Les bovins et les ovins se portent mieux lorsque les pluies ou les crues sont abondantes. Dans le cas contraire, les espèces plus résistantes, notamment les caprins et les camélidés ont plus de chances de survivre (Harrison, 1987). Afin d'assurer une répartition des risques sur une zone plus vaste, l'usage veut que les troupeaux soient répartis entre les parents proches ou prêtés à d'autres familles. Par ailleurs, en vue d'assurer la survie pendant une période de sécheresse, la tendance générale consiste à optimiser la taille des troupeaux (Harrison, 1987). Les périodes de grande sécheresse peuvent décimer le cheptel. Plus la taille du troupeau est importante, plus les chances sont grandes de se retrouver avec un nombre viable de têtes de bétail en temps normal. Les éleveurs et leurs troupeaux payent un lourd tribut à la sécheresse. Les pâturages et les étangs s'assèchent, les distances entre les points d'eau s'allongent, ainsi que le temps de déplacement. La baisse de la production de lait entraîne une pénurie de nourriture pour les jeunes, ce qui peut se traduire par une hausse du taux de mortalité de ceux-ci, atteignant de 36%, pendant les années de sécheresse (Harrison, 1987).

La zone semi-aride située au Nord du Delta Intérieur du Niger enregistre une hauteur moyenne de pluies de 100 mm. Toutefois, il n'est pas toujours aisé de prévoir

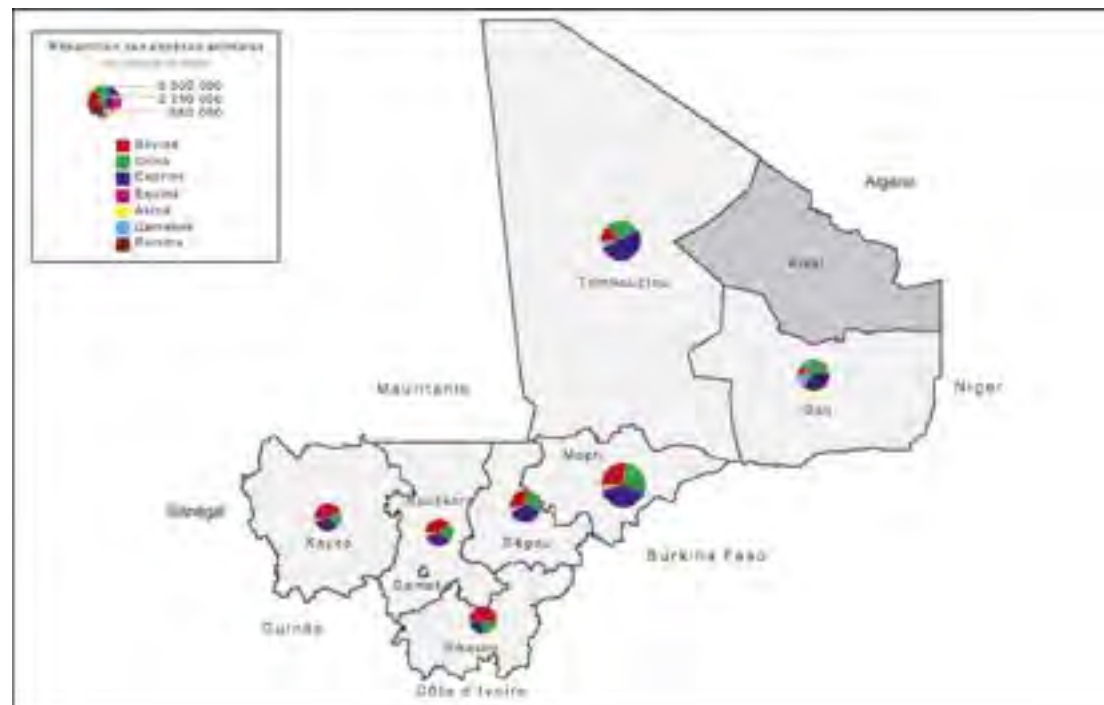


Fig. 7.1. Composition du bétail et importance relative du cheptel dans les différentes régions du Mali. Source: CPS/MDR.

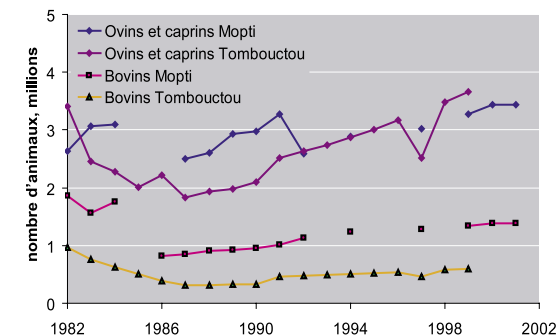


Fig. 7.2. Cheptel total des bovins dans les trois régions, au cours de la période 1977-2001.

La Fig. 7.2 présente l'évolution de la taille du bétail dans les deux régions au cours de la période 1982-2002. En dépit de l'indisponibilité de certaines données pour la période, elle fait apparaître clairement la baisse drastique du nombre d'animaux enregistrée suite à la Grande Sécheresse du début des années 80.



ce niveau de précipitations. La probabilité pour que la hauteur moyenne de pluies annuelle soit inférieure à la moitié de cette moyenne est d'environ 10%. Plus au sud, là où la hauteur moyenne des précipitations annuelles est de 750 mm, cette probabilité n'est que de 1%. Chaque année, les éleveurs du Delta doivent décider jusqu'où ils se déplaceront vers le nord, au début de la saison des pluies. Après la petite saison des pluies, l'herbe se dessèche et les éleveurs se dirigent à nouveau vers le sud où, s'ils ne retournent pas trop tôt, ils peuvent laisser leurs bêtes paître sur les terres agricoles. En dehors du Delta, le bétail survit pendant la saison sèche en se nourrissant des chaumes de riz, de mil, de sorgho, ou de l'herbe de la savane. Le bétail vivant dans le voisinage du Delta Intérieur est mieux loti, dans la mesure où il peut paître dans les plaines alluviales asséchées. C'est la raison pour laquelle sur les 5 millions de têtes de bétail que compte le Mali, trois millions sont concentrées dans les régions de Mopti et Tombouctou où sont situées les plaines alluviales du Delta Intérieur.

Disponibilité d'aliments pour le bétail dans le Delta Intérieur du Niger

Les plaines alluviales du Delta Intérieur sont couvertes, pour l'essentiel, d'un tapis flottant de plantes aquatiques: le riz sauvage (*Oryza longistamina*), le riz flottant planté pour la consommation (*Oryza glaberrima*) et deux espèces connues au niveau local sous le nom de didéré (*Vossia cuspidata*) et bourgou (*Echinochloa stagnina*). Les plaines

alluviales sont immergées sous plusieurs mètres d'eau et, par conséquent, inaccessibles au bétail en période de crue. Cependant, une solution de rechange existe pour ces bêtes pendant cette même période. Pendant la saison des pluies, il existe des pâturages temporaires dans les zones exondées avoisinantes. Entre décembre et mars, lorsque l'eau commence à se retirer, baissant de 3 à 5 cm par jour, une source de nourriture très riche devient progressivement disponible.

Compte tenu de la présence de nombreux agriculteurs dans le Delta Intérieur, les éleveurs ne sont pas autorisés à y entrer avant la récolte du riz (voir Encadré 7.1). A mesure que le niveau de l'eau baisse, l'herbe et les Cyperaceae commencent à pousser en abondance. Ces prairies verdoyantes représentent un lieu de pâturage temporaire très attractif entre fin janvier et début mai. Le bourgou est récolté et utilisé comme aliment pour le bétail. De juillet à septembre, lorsque la crue submerge les plaines alluviales, les éleveurs se replient progressivement vers les zones exondées où le bétail peut à nouveau se nourrir de jeunes pousses, suite aux pluies.

De Leeuw & Milligan (1983) ont été les premiers à procéder à un recensement aérien des bovins dans le Delta Intérieur. Ce recensement a été effectué entre février 1980 et mars 1981 et couvre l'ensemble de la moitié sud du Delta Intérieur. Ainsi qu'il apparaît sur la Fig. 7.3, basée sur les travaux de De Leeuw & Milligan (1983), 1,2 million de bovins partent des «zones d'attente», situées à la périphérie de la zone inondée, pour pénétrer dans la partie méridionale du Delta Intérieur, pendant la période de décrue. Enfin, lorsque l'eau descend jusqu'à son niveau minimal, la plupart des troupeaux se regroupent dans la zone située au sud du Lac Debo-Walado. Le recensement effectué par De Leeuw & Milligan corrobore les conclusions de Gallais (1967) selon lesquelles environ 500 000 bovins entrent dans la partie méridionale du Delta Intérieur à partir du sud et du nord-est, tandis que 650 000 autres pénètrent dans le Delta à partir du nord et de l'ouest.

En fonction du niveau des crues, le bétail paît uniquement dans certaines zones spécifiques des plaines alluviales. A cet égard, selon de Leeuw & Milligan (1983), la densité au niveau des pâturages est de 100 animaux au km² au minimum. Par ailleurs, ces mêmes chercheurs ont établi que 400 000 ovins et caprins migrent vers la partie méridionale du Delta Intérieur pendant la décrue. Cependant, leur mouvement est plus lent et, par



Fig. 7.3. Déplacements de plus d'un million de bovins dans la partie méridionale du Delta Intérieur, pendant la décrue. Source: De Leeuw & Milligan (1983).

conséquent, une longue distance les sépare des bovins. Mais, ils finissent par rattraper ces derniers et paissent dans la même zone qu'eux, avec une densité d'au moins 30 animaux au km². Compte tenu du fait que les zébus pèsent en moyenne 250 kg et les ovins et caprins 20 kg, la pression totale sur les pâturages équivaut à 26 tonnes/km². Ce chiffre est élevé par rapport aux 2 à 4 tonnes/km² enregistrés sur les prairies du Sahel occidental (Penning de Vries & Djitéye, 1982).

Le phénomène de la transhumance au Sahel a fait l'objet de nombreuses études. En outre, de nombreux articles ont été consacrés à l'alimentation du bétail dans les plaines alluviales du Delta Intérieur. Hiernaux et Diarra (1983, 1986) et François et al. (1989) ont mesuré la variation saisonnière de la biomasse du bourgou. Pendant la crue, la biomasse s'accroît, atteignant

20 à 30 tonnes de matière sèche par ha, dont environ 5 tonnes de feuilles et de tiges au-dessus de la surface de l'eau et 15 à 25 tonnes par ha de tiges en dessous de la surface. Les tiges de bourgou poussant sous l'eau jouent un rôle important. Le rythme de croissance du bourgou est de 3 à 4 cm par jour, pendant au moins quatre mois. Avec l'élévation du niveau de l'eau, sa tige peut croître à hauteur de 3 à 6 mètres.

Les populations locales plantent le bourgou en raison de sa productivité élevée et de sa valeur nutritive. Cependant, sa digestibilité varie en fonction des saisons (François et al. 1989). Les repousses qui poussent pendant la saison sèche, après que les plantes aient été coupées, ont une très grande qualité nutritive. Leur productivité est estimée à 3 à 5 tonnes/ha dont 85 à 90% sont consommées par les bovins (Hiernaux et Diarra, 1986).

Au cours de cette période, le bétail se désintéresse des anciennes tiges de riz, en raison de leur faible digestibilité. Le fait de brûler les tiges de riz permet d'accélérer le processus de repousse. Malgré tout, en raison de la faible qualité nutritive de ces tiges de riz, le bétail n'en consomme que 5 à 10% (Hierraux et Diarra, 1986).

Le bourgou planté pousse au moins d'un mètre plus en profondeur que le bourgou sauvage. Cette profondeur permet aux populations locales d'en accroître artificiellement la productivité. La variation annuelle de la productivité du bourgou n'a pas encore été quantifiée. Il reste que, pour un certain nombre de raisons, il est probable que le niveau de la crue ait un impact positif sur la productivité moyenne de cette plante.

Tout d'abord, tel qu'indiqué plus haut, les tiges poussent plus en longueur lorsque le niveau de l'eau est élevé. Ensuite, le niveau élevé de l'eau contribue à allonger de plusieurs mois la durée de la crue et partant, la période de croissance du bourgou (voir Section 3.7).

Diarra & Hiernaux (1986) ont comparé la productivité des principales espèces végétales du Delta Intérieur sur deux années (1982 et 1984). En 1982, le niveau de la crue a été faible, le niveau maximum enregistré à Akka étant de 406 cm. En 1984, ces chiffres ont été encore plus faibles, avec 336 cm à Akka. La différence de productivité des espèces végétales a été spectaculaire. Celle du bourgou a baissé de 85%, tandis que la production de riz a chuté de 90%.



Encadré 7.1

Prévention des conflits entre éleveurs et agriculteurs dans le Delta Intérieur

Au moment de la décrue, lorsque les plaines alluviales deviennent accessibles au bétail, la récolte du riz n'a pas encore été effectuée par les agriculteurs. Cependant, les éleveurs sont intéressés à arriver le plus tôt possible dans les plaines alluviales inondées, car la qualité des fourrages disponibles décroît en l'espace de quelques semaines, en raison de la chaleur qui brûle la végétation. De toute évidence, les agriculteurs voient d'un mauvais œil l'arrivée des bovins dans leurs rizières avant les récoltes. La Dina, une loi introduite par les Peulhs (voir Chapitre 4.1) au 19^e siècle, permettait de trouver un compromis pour la résolution de ces situations de conflit d'intérêt. Bien qu'elle ait perdu de son importance pendant la période coloniale, il a été décidé, au cours d'une réunion tenue en 1966, de la remettre en vigueur afin de régir le pâturage dans le Delta Intérieur. Dans sa version moderne, c'est au Gouverneur de la région de Mopti, qu'est dévolue la responsabilité de convoquer et d'organiser la réunion annuelle de la campagne sur les bourgoutières. L'objet de la réunion annuelle est de déterminer à quel moment le bétail est autorisé à entrer dans les différentes zones du Delta Intérieur. Elle se tient avant le début de la décrue afin de veiller à ce que le calendrier de déplacement, également connu sous le nom de «calendrier de traversée» ou «calendrier de la campagne des bourgoutières» puisse être établi en fonction de la date prévue pour la disponibilité des plaines alluviales, en tenant compte de l'effet des pluies locales.

Les éleveurs et leurs troupeaux doivent traverser le fleuve. Il existe 32 points de traversée habituels. La traversée

du fleuve donne lieu, chaque année, à l'organisation d'une fête populaire, notamment, le «Jaaral jafaradji» à Diafarabé et le «Deggal Diali» à Dialloubé. Les dates de traversée du fleuve varient en fonction des points de passage officiels. Par exemple, la traversée à Sendégoué a lieu généralement une ou deux semaines après celle de Kontza. Etant donné que les plaines alluviales situées au sud-ouest du Delta Intérieur sont accessibles avant celles situées dans la partie centrale, l'accès est autorisé dès novembre à Diafarabé. Quatre-vingt-dix à cent dix jours après, la zone riveraine du lac Debo-Walado est ouverte au pâturage. Au début de l'hivernage, le bétail part du Delta Intérieur en direction des pâturages d'hivernage des zones exondées. Normalement, les animaux paissent dans la zone du Delta jusqu'à fin juin. Mais, pendant les années de sécheresse, ils y restent plus longtemps.

Les dates d'entrée varient également en fonction des années. Après la faible crue de 1984, les bovins ont été autorisés à entrer dans les plaines alluviales environ quatre semaines plus tôt par rapport à la période de grande crue de 1994. En comparant les dates d'entrée depuis 1980 et les niveaux de crue, il apparaît clairement que les critères retenus pour fixer la date d'entrée ne sont pas uniquement liés au niveau d'eau. Chaque année, le calendrier de déplacement fait l'objet d'après discussions entre les différentes parties prenantes.

Source: Nouhmou Diakité (comm. pers.), Moseley et al. (2002)

En dépit de l'insuffisance des informations disponibles sur les corrélations entre productivité des plantes et crue, il est possible de faire des approximations à ce sujet. Le bourgou et les autres plantes aquatiques ne poussent pas dans une zone fixe. A l'aide d'une série d'images-satellite, Zwartz & Diallo (2002) ont démontré que le lac Walado avait été colonisé par le bourgou en 1985 et 1986. Cette période faisait suite à plusieurs années de faible crue. Apparemment, il a fallu une ou deux années pour que le bourgou descende à son niveau de profondeur optimal. Après une succession de fortes inondations au cours des années 90, cette espèce a automatiquement disparu du lac Walado, dont les eaux étaient devenues trop profondes pour lui permettre de survivre. Pendant la période où le bourgou a envahi la zone la plus profonde du Delta Intérieur, dans d'autres parties du Delta, des bourgoutières beaucoup plus étendues ont été remplacées par le didéré, une espèce poussant dans les eaux moins profondes. Il ressort de ces observations que la surface occupée par le bourgou se rétrécit considérablement lorsque le niveau de la crue change soudainement. Il faut un ou deux ans pour que le bourgou descende à son niveau de profondeur optimal.

En supposant que le bourgou colonise la zone de profondeur optimale, il est possible d'évaluer la perte d'habitat de cette plante lorsque le niveau de l'eau baisse. Le bourgou est généralement planté à près de 0 cm du point de référence à Akka. Le niveau moyen de l'eau au cours des 30 dernières années étant de 450 cm,

l'on peut en déduire que la profondeur optimale pour le bourgou se situe entre 4 et 5 m. Les bourgou sauvage se trouve généralement 1 m moins en profondeur: 3 à 4 m. Bien que le bourgou puisse survivre à 5-6 mètres en dessous de la surface de l'eau, il s'agit là d'une profondeur sous-optimale, car nombre d'espèces de bourgou périssent à une telle profondeur.

En utilisant le modèle d'inondation digital présenté à la Section 3.5, il est possible de calculer, pour chaque niveau d'eau, la surface de la zone optimale, ainsi que la zone occupée par le bourgou profond et moins profond. Fig. 7.4 montre clairement que la superficie de l'habitat idéal du bourgou augmente en fonction du niveau de la crue. La limite de profondeur optimale est atteinte lorsque le niveau de l'eau dépasse 510 cm. Par ailleurs, si la profondeur de l'eau est inférieure à 420 cm, la superficie de l'habitat optimal du bourgou est réduite de 100 à 200 km², chaque fois que le niveau de l'eau baisse de 10 cm. Lorsque le niveau de l'eau est de 340 cm, l'habitat bourgou se situe presque entièrement dans une zone peu profonde. C'est la raison pour laquelle pendant la Grande Sécheresse, lorsque le niveau maximal des crues est tombé jusqu'à 336 cm, le Delta Intérieur a cessé d'être un habitat optimal pour le bourgou.

Le rapport entre la superficie de l'habitat optimal du bourgou et la profondeur maximale de l'eau à Akka,

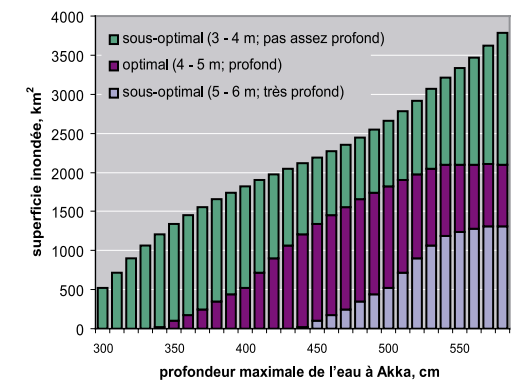


Fig. 7.4. Superficie (km²) des plaines alluviales du Delta Intérieur où la profondeur de l'eau est de 3-4 m, 4-5 m ou 5-6 m, en fonction du niveau d'eau à Akka. Le bourgou est présent à toutes ces trois profondeurs. Mais, sa zone de prédilection est celle où le niveau de l'eau est de 4-5 m.



pour une valeur comprise entre 320 et 530 cm, est exprimée par l'équation:

$$y = -0,0007 x^3 + 0,8506 x^2 - 331,27x + 41863 \quad (R^2 = 0,993) \quad 7.1$$

où:

y = superficie de l'habitat optimal du bourgou (en km²)

x = profondeur maximale de l'eau à Akka (en cm)

Surpâturage

La disparition du bourgou pendant la Grande Sécheresse n'était pas uniquement liée à la perte de son habitat, mais du fait de la baisse drastique de la crue. Elle était également une conséquence de la pression excessive sur les repousses qui commencent à pousser en saison sèche, après leur exploitation par les animaux ou le fauchage des plantes. Une comparaison des images-satellite prises ces dernières années permet de reconstituer l'évolution des bourgoutières dans le Lac Debo. Après vérification auprès des populations locales, il semble que le rétrécissement de celles-ci soit lié au surpâturage au moment de l'apparition des repousses. Ces populations sont convaincues que le surpâturage constitue la principale cause de la disparition des bourgoutières de parties entières des zones basses du Delta Intérieur pendant la Grande Sécheresse. S'il est établi que le surpâturage constitue un facteur important qui affecte la croissance du bourgou, le stock disponible pour l'alimentation du bétail est fonction non seulement du niveau de la crue de l'année en cours, mais également du degré de surpâturage dans l'année précédente. L'équation est rendue encore plus complexe par le fait que, depuis le début des années 80,

les populations (re)plantent régulièrement le bourgou.

En résumé, il est clair que le rétrécissement de 85% des bourgoutières pendant la Grande Sécheresse, est dû en partie à la faiblesse des inondations, qui s'est traduite par la perte par cette plante d'une grande partie de son habitat optimal, et en partie au surpâturage, qui a entraîné une réduction considérable de la capacité de charge des plaines alluviales.

Corrélations entre pluies et crues

Une autre difficulté rencontrée réside dans l'appréciation du rapport entre la taille du troupeau et le niveau des crues dans le Delta Intérieur du Niger. De juillet à novembre, le bétail trouve sa subsistance dans les pâturages des zones exondées avoisinantes du Delta Intérieur. Lorsque les précipitations sont faibles à l'échelle locale, l'embonpoint des bovins s'en trouve négativement affectée. Cependant, les années de faibles précipitations coïncident avec des crues faibles dans le Delta Intérieur (Fig. 2.5 & 2.6). Il est, par conséquent, difficile de distinguer les effets des précipitations de ceux des inondations. Il existe deux moyens d'élucider ce problème. Tout d'abord, il est possible de déterminer de façon plus détaillée le rôle précis des inondations en comparant les pertes de bétail avec celles enregistrées pendant la Grande Sécheresse au niveau des cercles. Ensuite, l'impact relatif des précipitations et des inondations sur le cheptel des bovins peut être quantifié par le biais d'une analyse de régression multiple. Ces deux approches sont examinées en détail dans la section ci-après.

7.4 Cheptel et inondations

Réduction du cheptel pendant la Grande Sécheresse

Les résultats de recensements annuels du bétail par cercle sont publiés depuis 1980 dans les rapports annuels de la Direction Générale de l'Élevage. Le dénombrement est effectué entre octobre et février, période de vaccination obligatoire du bétail contre la pneumonie et la peste. Le Tableau 7.1 présente une comparaison du nombre moyen de têtes de bovins enregistré en 1980-82 avec ceux de 1986 à Ségou et Mopti et 1987 à Tombouctou. Il convient de souligner qu'aucun chiffre n'est disponible en ce qui concerne la région de Tombouctou pour l'année 1986. La Fig. 7.9 présente la distribution spatiale des informations fournies au Tableau 7.1.

Une réduction importante du nombre de têtes de bétail a été enregistrée dans 17 des 19 cercles. Des recensements similaires effectués dans d'autres régions du Mali montrent que les éleveurs menaient leurs troupeaux plus au Sud. L'effectif le plus élevé d'animaux dans la partie méridionale du Mali (i.e. Sikasso) a été recensé en 1985 et au cours des années suivantes. Les éleveurs descendaient plus au Sud, jusqu'au Nord de la Côte d'Ivoire. Ceci laisse à supposer que la baisse indiquée au Tableau 7.1 est due en partie au déplacement de la transhumance plus au Sud. Toutefois, la principale raison de la réduction du cheptel demeure le taux de mortalité très élevé du bétail pendant la Grande Sécheresse.

Un certain nombre d'observations supplémentaires se dégagent du Tableau 7.1 et de la Fig. 7.5.

- Le nombre de bovins a augmenté à Niono, dans la mesure où les ouvrages d'irrigation de l'Office du Niger ont mis le bétail de cette localité à l'abri de la sécheresse.
- La réduction moyenne du cheptel enregistrée dans les cercles situés en zone subaride est plus importante que celle des cercles les mieux arrosés par les pluies. A Tombouctou, par exemple, celle-ci est de 62,5% (de 1,1 à 0,4 million de bovins). A Ségou, elle n'est que de 20,4% (de 0,7 à 0,55 million). Les chiffres

concernant Mopti se situent entre ceux de ces deux cercles, soit une réduction de 51,9% (de 1,5 à 0,7 million).

- Par rapport aux zones exondées environnantes, le Delta Intérieur a enregistré une moyenne plus faible. La réduction du nombre de bovins dans quatre cercles de la région de Mopti situés en dehors du Delta Intérieur (Bandiagara, Bankass, Douentza et Koro) est de 67,3% (de 0,83 à 0,27 million de têtes), contre 32,6% pour les cercles situés à l'intérieur du Delta Intérieur (de 0,66 à 0,45 million à Djenné, Mopti, Ténenkou et Youvarou).
- La réduction est plus forte dans la partie septentrionale du Delta Intérieur que dans la partie méridionale. Tel qu'indiqué au Chapitre 4, la faiblesse des niveaux d'inondation a affecté davantage les cercles situés dans la partie nord du Delta Intérieur que ceux situés au Sud, non seulement parce que la réduction de la superficie des zones inondées était plus importante

Tableau 7.1. Effectif des bovins dans les 19 cercles des régions de Tombouctou, Mopti et Ségou entre 1980 et 1982 (moyenne des trois années) par rapport à celui de 1986 (Mopti, Ségou) ou 1987 (Tombouctou). Source: Rapports annuels de la Direction Générale de l'Élevage.

Cercle	1980-82	1986	% changement
Diré	73.667	45.000	-38,9
Gourma Rharous	461.667	110.000	-76,2
Goundam	196.000	124.000	-36,7
Niafunké	273.000	109.200	-60,0
Tombouctou	73.333	16.000	-78,2
Bandiagara	155.500	46.000	-70,4
Bankass	270.000	94.200	-65,1
Djenné	95.000	80.000	-15,8
Douentza	236.000	51.304	-78,3
Koro	167.500	79.563	-52,5
Mopti	222.500	134.933	-39,4
Ténenkou	204.500	125.995	-38,4
Youvarou	141.030	105.773	-25,0
Barouéli	94.000	85.000	-9,6
Bla	97.000	98.000	+1,0
Macina	130.667	84.000	-35,7
Niono	74.333	99.000	+33,2
San	63.667	53.000	-16,8
Segou	147.000	85.000	-42,2
Tomianian	89.333	50.000	-44,0

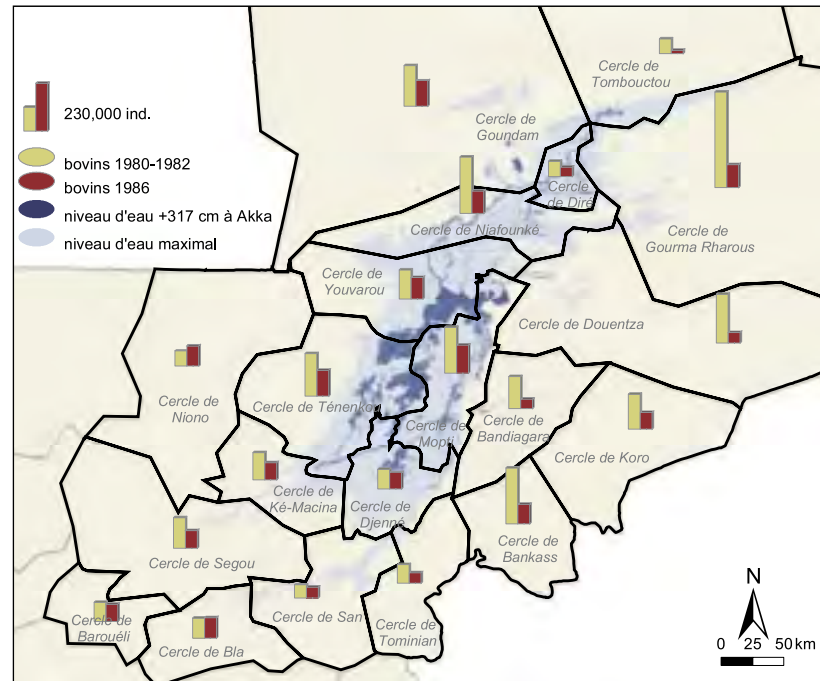


Fig. 7.5. Pourcentages de changement de l'effectif du bétail par cercle pendant la Grande Sécheresse; données originelles fournies au Tableau 7.1.

au Nord qu'au Sud, mais essentiellement parce que le niveau d'inondation était insuffisant pour remplir les lacs permanents. Avant la Grande Sécheresse, le nombre le plus élevé de bovins (0,5 million) a été recensé dans le cercle de Gourma. Suite à la sécheresse, ce chiffre a chuté pour s'établir à 0,1 million.

- La réduction considérable du cheptel en dehors du Delta Intérieur du Niger démontre que la faiblesse des précipitations enregistrées pendant la Grande Sécheresse a eu une incidence majeure sur la taille des troupeaux. Le fait que la réduction du cheptel dans les plaines alluviales encore intactes du Delta Intérieur soit nettement plus faible démontre l'importance du rôle que joue la zone inondable dans les situations de déficit pluviométrique.

Analyse de régression

Les éleveurs et leurs troupeaux sont fortement tributaires de l'eau du Delta Intérieur du Niger pour leur

subsistance. Ainsi qu'expliqué à la section précédente, en l'absence d'inondation, il n'y a pas suffisamment de nourriture pour le bétail, ce qui a pour effet de réduire la taille des troupeaux. Ceci est illustré à la Fig. 7.2 qui montre que les périodes de sécheresse grave sont suivies d'une perte de bétail.

Afin de déterminer le degré de dépendance du bétail de la disponibilité de l'eau, une corrélation a été établie entre le nombre de têtes de bétail et un certain nombre de paramètres hydrologiques. Etant donné que dans les régions africaines, les animaux de pâture dépendent des précipitations, la pluviométrie est un paramètre à prendre en considération. Il convient de souligner, cependant, que la situation dans le Delta Intérieur du Niger a ceci de particulier que celui-ci compte une zone inondable très vaste. Les pasteurs nomades pénètrent dans le Delta pendant la décrue. Il est, par conséquent, probable qu'il existe des corrélations plus étroites entre le nombre d'animaux et des variables telles que la hauteur des

Tableau 7.2. Corrélations entre le bétail et cinq paramètres dans les deux régions.

	Mopti		Tombouctou		Moyenne
	Bovins	Ovins et caprins	Bovins	Ovins et caprins	
R ² durée crue	0,79	0,51	0,51	0,74	0,64
R ² bourgou	0,69	0,43	0,44	0,51	0,52
R ² niveau d'eau	0,59	0,23	0,47	0,53	0,46
R ² zone d'inondation	0,55	0,19	0,45	0,52	0,43
R ² pluviométrie	0,19	0,04	0,14	0,19	0,14

Tableau 7.3. Fonctions de production pour un certain nombre d'espèces et superficie de l'habitat optimal du bourgou.

	Mopti	R ²	Tombouctou	R ²
Bovins	$y = 393x + 797.389$	0,69	$y = 149x + 332.511$	0,44
Ovins et caprins	$y = 506x + 2.572.123$	0,43	$y = 947x + 160.717$	0,51

eaux du fleuve et la superficie de la zone inondable.

Cette hypothèse est vérifiée à partir d'une analyse de régression chronologique entre la taille du cheptel dans le Delta Intérieur du Niger et quatre paramètres hydrologiques (précipitations, niveau d'eau maximal à Akka, superficie maximale de la zone inondable et durée de la crue, sur la base de la hauteur des eaux du fleuve mesurée à Mopti), ainsi que l'habitat du bourgou. En procédant au calcul de régression des cinq paramètres, une distinction est établie entre la période de sécheresse des années 80 et la période de reprise qui a suivi, car les fluctuations du cheptel montrent des tendances tout à fait différentes avant et après 1987 (voir Fig. 7.2).

La durée de la crue explique l'essentiel des variations constatées au niveau de l'effectif du cheptel (voir Tableau 7.2). Le nombre de bovins, d'ovins et de caprins augmente en fonction de la durée des crues. Un autre facteur qui explique le mieux cette variation est le niveau d'eau maximal mesuré à Akka.

Etant donné que la durée des crues constitue le facteur le plus déterminant de l'évolution du cheptel dans le Delta Intérieur du Niger, il serait également judicieux de retenir cette variable aux fins des simulations effectuées au titre de quatre scénarios différents. Toutefois, il semble quasiment impossible d'effectuer des prévisions

hydrologiques avec une résolution temporelle estimée en jours. C'est la raison pour laquelle il est préférable de se concentrer sur la «meilleure option suivante», qui consiste à considérer l'habitat approprié du bourgou comme variable permettant d'estimer les variations au niveau de l'effectif du bétail, pour chacune des quatre scénarios.

Fonctions de production dans les deux régions

Une estimation des fonctions de production a été effectuée pour les régions de Mopti et Tombouctou, en tenant compte des relations entre le nombre de têtes de bétail (bovins et ovins/caprins) et la superficie de l'habitat optimal du bourgou. Etant donné que les données disponibles ne permettent pas d'établir une distinction entre les ovins et les caprins, ces deux espèces sont regroupées sous la même rubrique. De même, étant donné que les tendances étaient très irrégulières au cours de la période de crise du début des années 80, toutes les analyses de régression ont porté sur la «période de reprise» qui a suivi la Grande Sécheresse. Les fonctions de production pour les trois régions sont présentées à la Fig. 7.6 not found. Les autres graphiques relatifs à la production au cours de la période d'après sont présentés à l'Annexe 7.

7.5 L'élevage selon quatre scénarios

Les fonctions de production présentées de façon détaillée ci-dessus, ainsi que la superficie estimative de l'habitat optimal du bourgou, tel que décrite à la Section 7.3, ont permis d'effectuer une analyse d'impact sur le bétail au titre de quatre scénarios. Cette analyse a été répétée pour deux autres variables, en l'occurrence le niveau d'eau maximal à Akka et la zone inondable estimative, afin de vérifier si ces opérations permettent d'aboutir aux mêmes conclusions. Les résultats obtenus sont décrits en détail ci-dessous pour chacune des régions.

Mopti

Les résultats obtenus pour la région de Mopti font l'objet des Tableaux 7.4 à 7.6. En comparant de la situation actuelle (scénario 2) à une situation future où l'Office du Niger cesserait de prélever de l'eau du Niger (scénario 1), l'on note une légère hausse de l'effectif total du bétail dans la région de Mopti (environ 1%). Compte tenu des incertitudes liées aux corrélations imparfaites concernant cette variable hydrologique, cet effet est négligeable. Dans un deuxième cas de figure, qui exclut l'Office du Niger et le réservoir de Sélingué



(scénario 0), l'augmentation moyenne du nombre de têtes de bétail s'établit à 5%, chiffre qui correspond à celui enregistré au cours de la période 1987-2001. L'augmentation est moins importante pour les ovins et caprins (2%). Enfin, en partant de la situation actuelle et en supposant que le barrage de Fomi existe, l'on obtient une baisse de 5% du nombre de têtes de bétail (bovins, ovins et caprins).

La Fig. 7.6 présente l'évolution du cheptel à Mopti au titre des différents scénarios, selon les estimations. Les chiffres réels (provenant de nos sources) sont également indiqués.

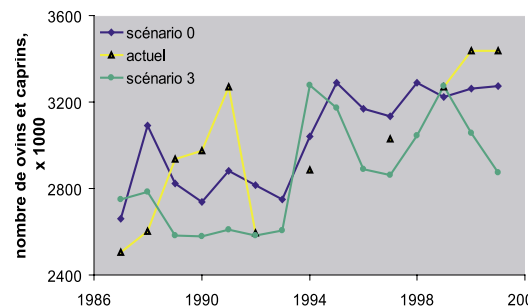
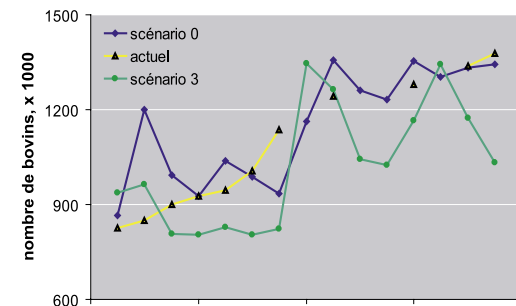


Fig. 7.6. Evolution du nombre de bovins (gauche) et d'ovins et caprins (droite) dans la région de Mopti, déterminée sur la base d'estimations des fonctions de production et de l'impact prévu des différents scénarios sur la superficie du bourgou.

Tableau 7.4. Impact prévu des différents scénarios sur le bétail à Mopti, en fonction de la variable de l'évolution du bourgou.

Mopti	Scénario 2-> Scénario 1		Scénario 2-> Scénario 0		Scénario 2-> Scénario 3	
	Bovins	% changement	Bovins	% changement	Bovins	% changement
moyenne	16.403	1,7	41.850	4,5	-128.922	-3,7
Ecart type	26.740	2,5	89.621	8,4	131.677	3,8
	Ovins & caprins	% changement	Ovins & caprins	% changement	Ovins & caprins	% changement
moyenne	21.116	0,7	53.875	2,0	-165.965	-5,4
Ecart type	34.423	1,2	115.372	3,9	169.512	5,5

Tableau 7.5. Impact prévu des différents scénarios sur le bétail à Mopti, en fonction de la variable du niveau d'eau maximal à Akka.

Mopti	Scénario 2-> Scénario 1		Scénario 2-> Scénario 0		Scénario 2-> Scénario 3	
	Bovins	% changement	Bovins	% changement	Bovins	% changement
Moyenne	18.292	1,67	56.281	5,1	-148.839	-4,69
Ecart type	3.345	0,48	10.208	1,49	37.153	1,30
	Ovins & caprins	% changement	Ovins & caprins	% changement	Ovins & caprins	% changement
Moyenne	18.334	0,57	56.410	1,78	-149.180	-4,70
Ecart type	3.352	0,13	10.232	0,39	37.238	1,30

Tableau 7.6. Impact prévu des différents scénarios sur le bétail à Mopti, en fonction de la variable de la superficie de la zone inondable.

Mopti	Scénario 2-> Scénario 1		Scénario 2-> Scénario 0		Scénario 2-> Scénario 3	
	Bovins	% changement	Bovins	% changement	Bovins	% changement
moyenne	15.673	1,4	49.689	4,4	-115.127	-4,4
Ecart type	1.178	0,16	6.766	0,62	25.337	0,91
	Ovins & caprins	% changement	Ovins & caprins	% changement	Ovins & caprins	% changement
moyenne	15.046	0,6	47.702	1,8	-110.522	-4,3
Ecart type	1.131	0,04	6.495	0,23	24.324	0,87

Tombouctou

A Tombouctou, les effets sont plus marqués. Les Tableaux 7.7 à 7.10 présentent un résumé des principaux résultats obtenus pour les quatre scénarios, sur la base des trois variables testées: bourgou, niveau d'eau maximal à Akka et superficie de la zone inondable.

La Fig. 7.7 présente l'évolution du cheptel à Tombouctou, au titre des différents scénarios, selon les estimations. Les chiffres réels (provenant de nos sources) sont également indiqués.

Tel qu'il ressort de cette figure, le scénario 3 pourrait avoir un impact considérable sur le nombre des ovins et caprins à Tombouctou (10 à 15%). Bien que l'impact sur les bovins soit légèrement plus élevé à Mopti (réduction de 4%) qu'à Tombouctou (réduction de 2%), l'effet global paraît négligeable.

Toutefois, les données des Tableau 7.1 and Fig. 7.2 montrent la réduction de la taille des troupeaux au cours de la Grande Sécheresse qui a eu des effets quasi-dévastateurs. Le scénario 3 pourrait avoir à la fois un

Tableau 7.7. Impact prévu des différents scénarios sur le bétail à Tombouctou, en fonction de la variable de l'évolution du bourgou.

Tombouctou	Scénario 2 -> Scénario 1		Scénario 2 -> Scénario 0		Scénario 2 -> Scénario 3	
	Bovins	% changement	Bovins	% changement	Bovins	% changement
moyenne	6.237	1,6	15.913	4,1	-49.020	-1,7
Ecart type	10.167	2,4	34.077	7,8	50.067	1,7
	Ovins & caprins	% changement	Ovins & caprins	% changement	Ovins & caprins	% changement
moyenne	39.546	1,6	100.898	4,6	-310.819	-11,2
Ecart type	64.467	2,6	216.069	8,6	317.461	11,6

Tableau 7.8. Impact prévu des différents scénarios sur le bétail à Tombouctou, en fonction de la variable du niveau d'eau maximal à Akka.

Tombouctou	Scénario 2 -> Scénario 1		Scénario 2 -> Scénario 0		Scénario 2 -> Scénario 3	
	Bovins	% changement	Bovins	% changement	Bovins	% changement
moyenne	7.910	1,78	24.338	5,5	-64.363	-2,50
Ecart type	1.446	0,53	4.414	1,63	16.066	0,89
	Ovins & caprins	% changement	Ovins & caprins	% changement	Ovins & caprins	% changement
moyenne	49.771	1,90	153.136	5,94	-404.974	-15,72
Ecart type	9.100	0,59	27.776	1,84	101.090	5,58

Tableau 7.9. Impact prévu des différents scénarios sur le bétail à Tombouctou, en fonction de la variable de la superficie de la zone inondable.

Tombouctou	Scénario 2 -> Scénario 1		Scénario 2 -> Scénario 0		Scénario 2 -> Scénario 3	
	Bovins	% changement	Bovins	% changement	Bovins	% changement
moyenne	6.942	1,51	22.008	4,8	-50.990	-1,92
Ecart type	522	0,19	2.997	0,71	11.222	0,40
	Ovins & caprins	% changement	Ovins & caprins	% changement	Ovins & caprins	% changement
moyenne	43.794	1,63	138.843	5,25	-321.691	-12,13
Ecart type	3.292	0,22	18.906	0,80	70.798	2,53

Tableau 7.10. Impact prévu des différents scénarios sur le bétail à Tombouctou, en fonction de trois variables.

Méthode utilisée	Scénario 2 -> Scénario 3 Mopti (% changement)		Scénario 2 -> Scénario 3 Tombouctou (% changement)	
	Bovins	Ovins & caprins	Bovins	Ovins & caprins
	Bourgou	-3,7	-4,7	-1,7
Niveau d'eau maximal	-4,6	-4,7	-2,5	-15,7
Zone d'inondation	-4,4	-4,3	-1,9	-12,1

léger impact sur la taille maximale des troupeaux, ainsi que des conséquences sur la viabilité du cheptel restant, après les périodes de sécheresse. Par ailleurs, la baisse du niveau des crues pourrait avoir des répercussions sur la fréquence des périodes de sécheresse.

7.6

Conclusions

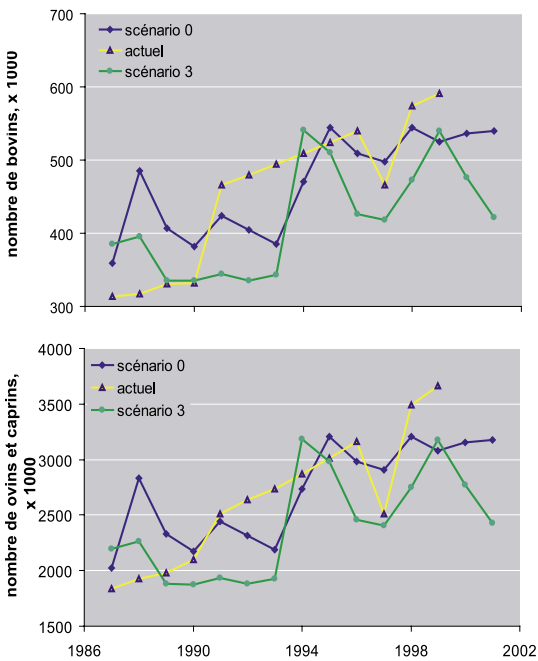


Fig. 7.7. Evolution du nombre de bovins (haut) et d'ovins et caprins (bas) dans la région de Tombouctou, déterminé sur la base d'estimations des fonctions de production et de l'impact prévu des différents scénarios en fonction de la variable de l'évolution du bourgou.

L'analyse ci-dessus indique, une fois de plus, la mesure dans laquelle l'économie locale dans le Delta Intérieur du Niger est particulièrement sensible aux fluctuations du régime des crues. En dépit de la grande mobilité du bétail, qui permet d'atténuer dans une certaine mesure les effets de la réduction de la disponibilité de l'eau, d'importantes pertes de bétail sont inévitables pendant les périodes de sécheresse. Bien que les résultats de l'analyse soient sujets à l'exactitude des données statistiques, il s'en dégage plusieurs conclusions.

- L'effectif du bétail augmente en fonction de la hauteur des eaux du fleuve dans le Delta Intérieur du Niger. Les éleveurs nomades ont tendance à accroître la taille de leurs troupeaux lorsque l'eau est disponible. Ceci signifie que l'effectif viable maximal du bétail est déterminé par le débit de l'eau à travers le Delta Intérieur.
- Le barrage de Fomi pourrait avoir un impact majeur sur la taille maximale du cheptel (scénario 3). Les espèces susceptibles d'être les plus durement touchées sont les ovins et caprins dans la région de Tombouctou, où la réduction de la taille moyenne des troupeaux oscille entre 10 et 15%. Pour les bovins, celle-ci se situe entre 2 et 4%.
- En l'absence de l'Office du Niger et du réservoir de Sélingué, le nombre de bovins, ovins et caprins dans les régions de Mopti et Tombouctou, devraient augmenter de 4 à 5% par an en moyenne.

8 PRODUCTION RIZICOLE DANS LE DELTA INTÉRIEUR DU NIGER

Leo Zwarts
Bakary Kone

8.1 Introduction

Des camions de riz sont arrivés à Sévaré, en août 2002, afin de remplir les entrepôts de nouvelles provisions alimentaires d'urgence du Programme Alimentaire Mondial (PAM). Avait-on déjà prévu une pénurie alimentaire suite aux faibles précipitations enregistrées au cours des semaines précédentes? Ou savait-on déjà en août que les prochaines inondations seraient insuffisantes? Grâce aux nouvelles technologies, il est possible, en effet, de prévoir l'inondation dans le Delta Intérieur du Niger deux, voire trois mois à l'avance. Les satellites météorologiques enregistrent en permanence les données relatives aux nuages à travers le monde qui sont ensuite utilisées pour évaluer la pluviométrie journalière. Ces informations ont été enregistrées par les systèmes d'alerte rapide afin de prévoir les pénuries alimentaires dans les zones semi-arides (Système mondial d'alerte rapide sur l'alimentation et l'agriculture: www.fao.org/gIEWS). Ainsi, les organismes d'aide alimentaire peuvent avoir été informés que les précipitations dans la zone de captage du Haut Niger étaient faibles en août 2002 et que, par conséquent, le débit de pointe du fleuve serait faible en septembre, ce qui aurait pour effet de réduire le niveau maximum des crues dans le Delta Intérieur du Niger, d'octobre à novembre. Les experts de la FAO à Rome peuvent savoir avant les agriculteurs du Delta Intérieur du Niger que des pénuries alimentaires se profilent à l'horizon.

Le présent chapitre présente l'incidence de l'inondation sur la production rizicole annuelle. Une fois cette incidence démontrée, il est possible de quantifier l'impact sur la production rizicole dans le Delta Intérieur du Niger en fonction de la consommation d'eau de Sélingué et de l'Office du Niger. Pour ce faire, il est convenant d'établir une distinction entre l'incidence des précipitations au niveau local sur la production rizicole et celle de l'inondation elle-même.

Le présent chapitre est structuré comme suit: la Section 8.2 démontre la dépendance de l'économie rurale du Mali des précipitations; la Section 8.3 fournit des informations de base sur la riziculture dans les plaines inondables; la Section 8.4 traite de la production rizicole dans les plaines inondables et montre que, dans le Delta Intérieur du Niger, les pluies ont une faible incidence sur la production rizicole, tandis que celle-ci dépend, dans une large mesure, de l'inondation; la Section 8.5 conclut que le réservoir de Sélingué et l'irrigation assurée par l'Office du Niger ont une incidence considérable sur la production rizicole dans le Delta Intérieur du Niger et que le futur barrage de Fomi aura un impact très important.



8.2 Production céréalière annuelle et précipitations

À l'instar de celle des autres pays sahéliens, la production rurale au Mali varie selon les années, en fonction de la fluctuation des précipitations. La Cellule de Planification et de la Statistique (CPS), un service basé au sein du Ministère du Développement Rural (MDR), a publié en 2001 un document qui résumait la plupart des statistiques relatives au monde rural (CPS-DMR 2001). Les données étaient tirées des rapports annuels de la DNAMR (Direction Nationale de l'Appui au Monde Rural) et de la DNSI (Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique). Le texte de la présente section repose sur les données fournies par la CPS-DMR (2001).

La production totale de céréales au Mali varie entre un et trois millions de tonnes (Fig. 8.1). Le mil et le sorgho constituent l'essentiel de cette production, bien que la production de riz et de maïs ait augmenté au cours des dernières années. Lorsqu'on représente graphiquement la production totale de céréales en fonction

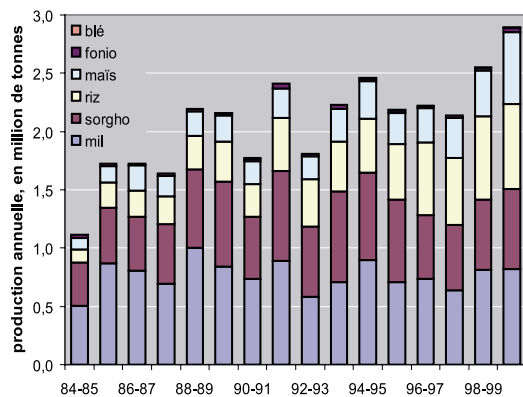


Fig. 8.1. Production céréalière au Mali. Source: CPS-DMR (2001).

des précipitations annuelles, la relation semble être curviligne (Fig. 8.2). La production augmente d'environ 60 %, lorsque les hauteurs de pluies atteignent 300, voire 450 mm. Cependant, lorsque les hauteurs de pluies sont de 150 mm supérieures, on enregistre rarement une incidence supplémentaire sur la production totale. Toutefois, la production céréalière n'est pas simplement une fonction curviligne des hauteurs de pluies, car il existe de nombreux autres facteurs qui entrent en ligne de compte, dont cinq sont indiquées ci-après :

- étant donné qu'une partie du riz et du blé est cultivée sur des périmètres irrigués, l'incidence des précipitations serait moindre sur ces deux céréales que sur d'autres cultures;
- une partie du riz est cultivée dans les plaines inondables et, tel qu'indiqué plus loin dans le présent chapitre, cette production est indépendante des précipitations, mais fortement tributaire du niveau des crues;
- la production totale de céréales croît progressivement au fil des ans. La Fig. 8.2 la présente séparément avant et après 1992. L'incidence des précipitations est évidente pour les deux périodes, mais la production a crû pendant les années les plus récentes. Cette croissance est due en partie à l'extension et à l'amélioration des périmètres irrigués (Chapitres 10 et 11), et en partie à l'extension de la superficie des terres agricoles. En l'espace de 16 ans, le périmètre rizicole a presque doublé, tandis que la superficie affectée à la culture du maïs a quadruplé;
- la relation générale présentée à la Fig. 8.2 pour l'ensemble du territoire malien, en général, diffère selon les zones climatiques. Les précipitations dans des régions du Nord, telles que Gao ou Tombouctou, ne représentent que le quart de celles enregistrées dans des régions du Sud telles que Sikasso (Fig. 2.4). Par ailleurs, plus la hauteur moyenne des pluies est faible, plus les variations annuelles sont importantes. Il s'ensuit que la production céréalière dans la moitié sud du Mali fluctue moins que celle de la moitié semi-aride du pays.

La CPS-DMR (2001) présente séparément la production céréalière annuelle par région et ceci permet d'analyser si la variable climat a un impact plus important sur la production céréalière dans les régions semi-arides que dans la zone sahélienne du Sud. La Fig. 8.3 présente une comparaison de l'incidence des précipitations sur la

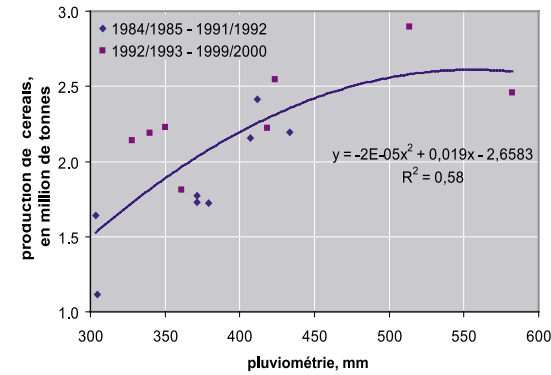


Fig. 8.2. Production annuelle totale de céréales au Mali (mêmes données qu'à la Fig. 8.1) en fonction des précipitations annuelles. Source: CPS-DMR (2001). La figure en encadré indique les 28 stations météorologiques qui ont été utilisées pour le calcul des hauteurs annuelles de pluies. Sources: IER, ORS, ORM, etc.

production pour les régions de Tombouctou, Mopti et Ségou. La production moyenne est faible dans la région sèche de Tombouctou et élevée dans la région relativement humide de Ségou. Dans ces trois régions, les pluies ont une incidence importante sur la production. Lorsque les précipitations sont faibles, la production à Ségou baisse, passant de 0,8 à 0,4 million de tonnes, ainsi qu'à Mopti où elle baisse également de moitié, passant de 0,4 à 0,2 million de tonnes. L'incidence est la plus marquée à Tombouctou où la production baisse, passant de 0,1 million de tonnes à une production quasi nulle. La production dans ces trois régions n'est pas totalement déterminée par les précipitations. Il existe des périmètres irrigués dans la région de Tombouctou (Encadré 3.1) et une part substantielle des céréales produites à Ségou provient du périmètre irrigué de 740 km² au niveau du Delta mort (Chapitre 11). Les agriculteurs du Delta Intérieur du Niger peuvent atteindre des niveaux de production élevés, même en temps de faibles pluies, tant que leurs terres restent suffisamment inondées.

Pour la région de Tombouctou, la DRAMR (Direction Régionale de l'Appui au Monde Rural) distingue la production de mil et de sorgho cultivés dans les plaines inondables, pendant la décrue, et en dehors de ces écosystèmes. Au cours des cinq dernières années, la production de mil dans les plaines inondables (mil de décrue) a oscillé entre 7 100 et 9 500 t. Au cours de la même période, la production en dehors des plaines alluviales (mil

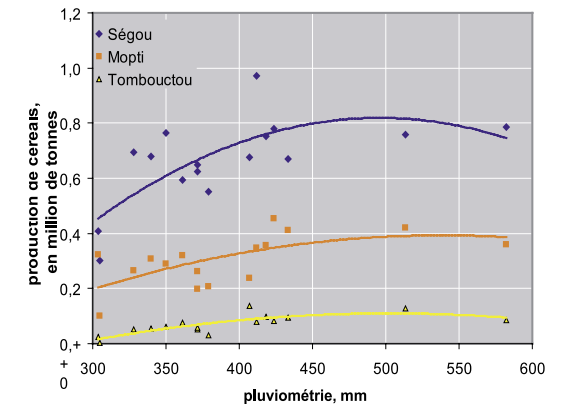


Fig. 8.3. Production annuelle totale de céréales dans les régions de Ségou, Mopti et Tombouctou, en fonction des précipitations annuelles dans la zone sahélienne (mêmes données qu'à la Fig. 8.2). Source: CPS-DMR (2001).

pluvial) se situait entre 11 400 et 32 800 t. La culture du mil est plus sûre dans la zone de décrue (rendement: 297-529 kg/ha) qu'en dehors des plaines inondables (107-436 kg/ha). La production annuelle de mil de 4 500 tonnes dans la zone de décrue est, pour ainsi dire, dérisoire à côté de la production moyenne de 220 000 tonnes enregistrée dans les régions de Tombouctou et Mopti. Sur les 258 000 t de sorgho produites en

2001-02 dans la région de Mopti, 177 000 provenaient des cercles de Bandiagara, Bankass, Douentza et Koro, par conséquent, en dehors du Delta Intérieur du Niger, de même que le sorgho: 21 000 t sur 32 000.

La principale conclusion que l'on peut tirer de cette section est que les précipitations ont toujours eu une grande influence sur l'économie rurale du Mali. C'est encore le cas de nos jours, en dépit de la quantité croissante de céréales produites dans les zones irriguées. Les sections suivantes porteront essentiellement sur la production agricole dans les plaines inondables. Une partie du mil et du sorgho est cultivée pendant la décrue dans les plaines inondables exposées. Mais, étant donné que la plupart de ces cultures sont produites ailleurs que dans ces plaines proprement dites, nous limiterons notre analyse à la production rizicole.

L'agriculture n'est guère facile dans le Delta Intérieur et ceci s'applique certainement à la riziculture. Il faut de l'expérience pour s'adapter à ces conditions difficiles. Ceci a été amplement démontré par Maïga et al. (2002) qui ont estimé que, dans une même zone, les riziculteurs traditionnels, en l'occurrence les Rimaïbe, Chérif ou Marka, obtenaient de nos jours une production de riz plus élevée à l'hectare que les agro-pêcheurs (Bozo et Somono) et un rendement beaucoup plus élevé que les agro-pasteurs (Peul).

Les agriculteurs qui exploitent les plaines inondables cultivent une variété de riz ouest-africaine, *Oryza glaberrima*, connu sous le nom de riz flottant, qui est susceptible de croître en même temps que la lame d'eau, pendant la crue. Cependant et en principe, les semences doivent avoir germé avant la crue. En d'autres termes, les agriculteurs doivent semer le riz avant la première pluie, en espérant que les pluies arriveront avant la crue et, par conséquent, que le riz aura germé avant. A la faveur de la

8.3 Contraintes à la production rizicole

crue, la colonne d'eau croît de plusieurs centimètres par jour. Les jeunes plans de riz peuvent croître au rythme de 3 à 4 cm par jour, suite à la crue. Bien que les tiges puissent atteindre 5 m, en général, elles mesurent 2 m. Après une période de crue d'environ 3 mois, le riz est récolté pendant la décrue. Ce système comporte de nombreuses difficultés notamment:

- s'il ne pleut pas avant que les plaines inondables ne soient inondées, les semences ne pourront germer avant que la zone ne soit recouverte par l'eau;
- même s'il y a suffisamment de pluies pour faire germer les semences, le riz aura toujours besoin d'eau. C'est la raison pour laquelle il est indispensable que la crue intervienne au plus tard deux semaines après les dernières pluies;
- même lorsque le moment et la quantité de pluies sont appropriés, si la crue est faible, les plants de riz se développeront, mais le rendement sera faible en raison de la brièveté de la saison de croissance. Une crue minimum de 3 mois est nécessaire;
- s'il y a suffisamment de pluies, mais le niveau de la crue est plus élevé que prévu, la production baisse également. La profondeur maximale de l'eau est d'environ 2 m;
- même si le riz parvient à maturité, les grains doivent être protégés par la suite contre les oiseaux granivores appelés, à juste titre, «mange-mil».

Le niveau de la crue maximale annuelle dans le Delta Intérieur du Niger se situe autour de 230 cm, selon l'échelle d'Akka (Fig. 8.4). Pendant la Grande sécheresse, le niveau maximal moyen était de 360 cm, tandis qu'il était de 580 cm au cours de la longue série d'années humides antérieures à 1967. Pour une profondeur d'eau optimale de 2 m, le riz devait être cultivé, cela correspond à un niveau de 160 cm pendant la Grande sécheresse et de 380 cm dans les années 50. Peut-être que la durée de la crue est encore plus importante que la profondeur de la colonne d'eau. Pour chaque année, nous avons calculé le niveau d'eau auquel une zone est immergée pendant 3 mois. Tel qu'indiqué à la Fig. 8.4, ce niveau varie également pendant l'année, selon le niveau d'eau maximal. Le niveau auquel l'immersion dure trois mois, mois3, est fonction du niveau d'eau maximal, cmmax (tous deux en cm d'Akka):

$$\text{mois3} = 1,0625 \text{ cmmax} - 108 \quad R^2 = 0,9225 \quad 8.1$$

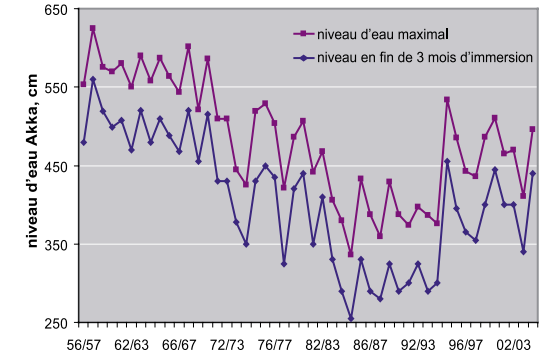


Fig. 8.4. Niveau d'eau maximal à Akka et niveau d'eau à partir duquel la zone est recouverte d'eau pendant 3 mois (25 % de l'année).

L'équation 8.1 montre que le temps d'immersion minimal du riz est atteint lorsque la colonne d'eau est de 85 cm, avec une profondeur d'eau maximale de 360 cm, qui tombe à 71 cm pour un niveau maximal de 580 cm. Cela signifie que si les agriculteurs cultivent le riz dans une zone qui est inondée par une colonne d'eau de 1 à 2 m, la période de crue est toujours suffisamment longue.

Les agriculteurs doivent décider de l'endroit où semer le riz. Naturellement, ils préfèrent le faire sur leurs propres terres qu'ils cultivent jadis. Cependant, pendant la Grande sécheresse, de nombreux agriculteurs ont décidé d'abandonner leur périmètre rizicole traditionnel et d'aménager de nouvelles rizières un peu plus bas, dans la zone d'inondation. Les populations de Pora ont indiqué avec précision, sur le terrain, comment entre 1973 et 1987, elles ont coupé progressivement la quasi-totalité des forêts inondées au Sud de Kouakourou afin de s'adapter à la baisse du niveau de la crue. Lorsque les crues sont redevenues plus élevées, à compter de 1994, ils sont revenus progressivement à leurs périmètres rizières traditionnels. La même histoire nous a été racontée par les agriculteurs ailleurs dans le Delta Intérieur du Niger. Gallais (1967) a déjà souligné que les riziculteurs étaient contraints de devenir semi-nomades, en raison de la fluctuation du niveau des crues. Naturellement, ils ne peuvent prévoir les niveaux de crue au moment des semis. Par ailleurs, le niveau des crues dans le Delta Intérieur du Niger a fluctué pendant longtemps au cours



Riz flottant



Riz sauvage

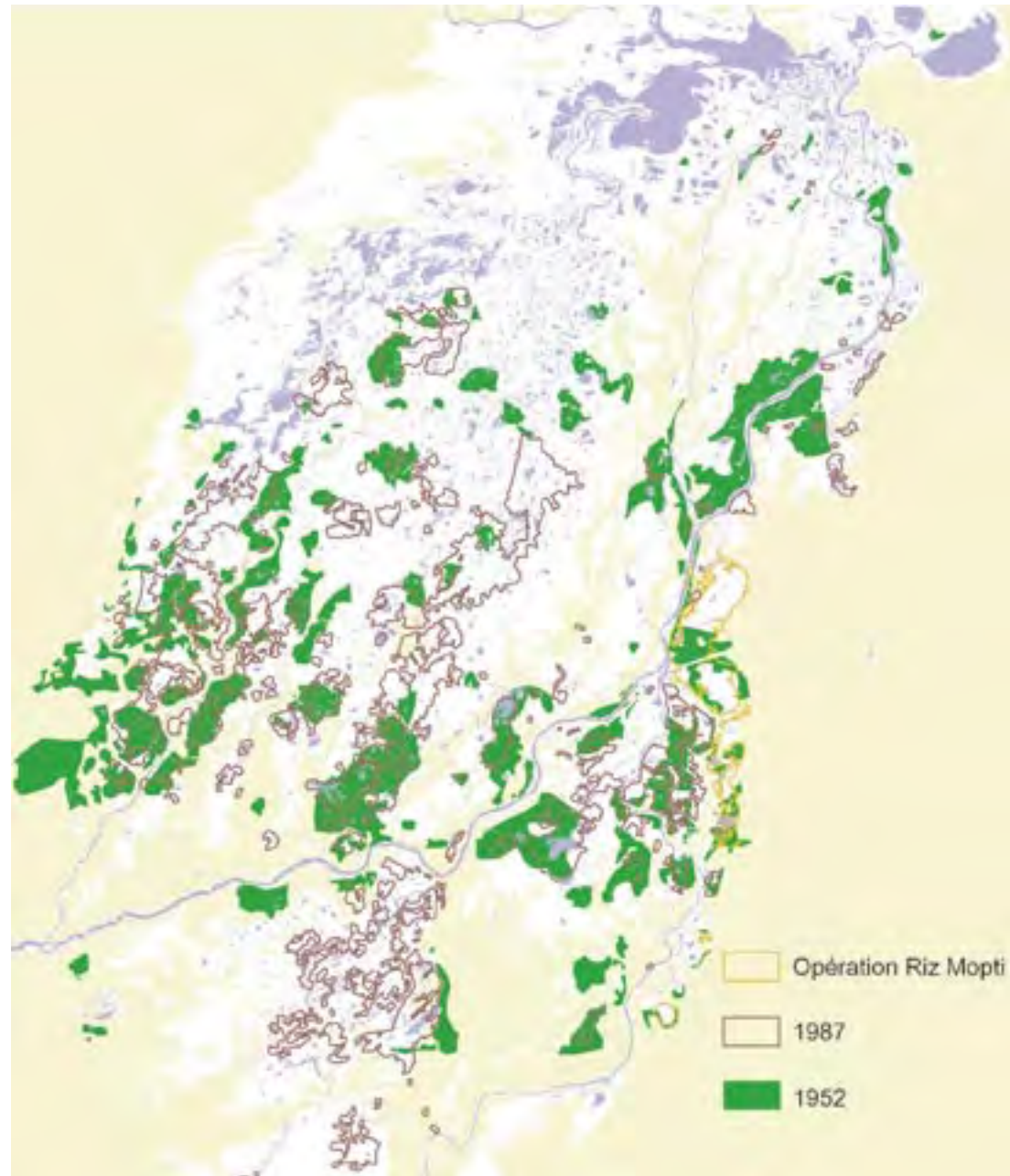


Fig. 8.5. Zone cultivée en riz en 1952 et 1987. Les casiers de l'Opération Riz Ségou (ORS) et Opération Riz Mopti (ORM) sont indiqués. Sources: cartes topographiques IGN pour le riz en 1952 et Marie (2000) pour le riz en 1987.

des 80 dernières années (Figures 2.5 et 8.4). Ainsi, le niveau des crues au cours des 5 à 10 dernières années pourrait servir de référence afin de décider de l'endroit où cultiver le riz. Le modèle d'inondation numérique (Chapitre 3) permet de quantifier ces données.

La Fig. 6.3 présente la distribution des périmètres cultivés en riz dans le Delta Intérieur du Niger. En combinaison avec le modèle d'inondation numérique, elle a permis de savoir qu'au cours de la campagne 2002-03 les rizières se situaient à un niveau oscillant entre 200 et 400 cm selon l'échelle d'Akka. La profondeur d'eau maximale moyenne était de 470 cm au cours des cinq années précédentes. Par conséquent, les rizières, au cours de cette période, se situaient dans les mêmes zones. Nous sommes parvenus à la conclusion qu'à la fin des années 90, la profondeur d'eau moyenne dans les rizières était de 178 cm, lorsque la crue était à son niveau maximum.

La distribution des rizières est également connue pour 1952, année au cours de laquelle des photographies aériennes ont été prises et sur lesquelles reposent les cartes topographiques de l'IGN. Les rizières, telles qu'indiquées sur les cartes topographiques, ont été numérisées et combinées au modèle d'inondation numérique. Il en a été de même pour les données de Marie (2002) qui établit une carte des rizières en 1987. Les rizières en 1952 et 1987 sont présentées à la Fig. 8.5. Il ressort clairement que les rizières en 1952 étaient davantage à la périphérie du Delta méridional et que celles de 1987 étaient beaucoup plus à l'intérieur. L'altitude des rizières, selon la jauge d'Akka, est indiquée à la Fig. 8.6. La plupart des rizières étaient situées à une altitude de 230 à 360 cm en 1952 et de 310 à 410 cm en 1987. Ainsi, en dépit du fait que le niveau d'inondation se situait 220 cm plus bas, les riziculteurs sont descendus d'environ 80 cm. Par conséquent, les rizières étaient couvertes de beaucoup moins d'eau en 1986 qu'en 1952. La Fig. 8.7 convertit les données de la Fig. 8.6 afin de montrer la profondeur de l'eau dans les rizières. En 1987, le riz a poussé dans 47 cm d'eau et un quart des rizières n'ont nullement été couvertes par la crue. En 1952 et 2003, les rizières ont été couvertes par 178 et 149 cm d'eau (valeurs moyennes).

Pourquoi, après une série de cinq crues faibles, les agriculteurs n'ont-ils pas continué à cultiver de riz à une altitude moins basse dans la zone d'inondation dans les années 80? Il existe plusieurs réponses à cet égard:

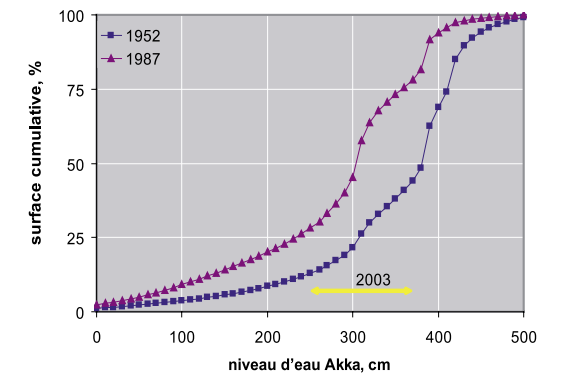


Fig. 8.6. Altitude (niveau selon l'échelle d'Akka) à laquelle le riz a été cultivé au cours de trois années différentes, indiquée sous forme de distribution fondée sur la fréquence cumulée (1952 et 1987) ou de fourchette (2003). La distribution fondée en fonction de la fréquence de la profondeur est déterminée pour les rizières (Fig. 8.4 pour 1952 et 1987 et Fig. 6.3 pour 2003) à l'aide du modèle d'inondation numérique (Chapitre 3).

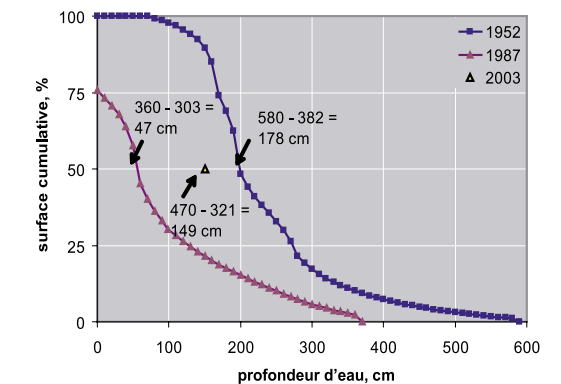


Fig. 8.7. La distribution selon la fréquence cumulée de la profondeur d'eau dans les rizières en 1952 ou 1987 (Fig. 8.4), telle que tirée de la Fig. 8.5, en tenant compte du niveau d'eau, qui était de 580 cm au début des années 50, 360 cm au milieu des années 80 et 470 cm au cours des années précédant 2003 (Fig. 8.6). La profondeur d'eau moyenne est indiquée en gras, y compris pour 2003 (Fig. 6.2).

- les agriculteurs sont demeurés optimistes et espéraient que la crue deviendrait meilleure l'année suivante;
- bien que de nombreux agriculteurs aient cultivé de nouvelles parcelles, la plupart d'entre eux sont restés dans le même village (Marie 2000, Maïga et al. 2002). Leurs nouvelles rizières étaient plus éloignées de leur village que les anciennes. Par conséquent, la distance peut avoir constitué une contrainte en ce qui concerne le choix de l'endroit où cultiver le riz au cours d'une période de faible crue;
- il n'existait pas suffisamment de terres adaptées à la riziculture en cas de faible crue. Le modèle d'inondation numérique (Chapitre 3) a été utilisé pour vérifier si tel était réellement le cas (Fig. 8.8).

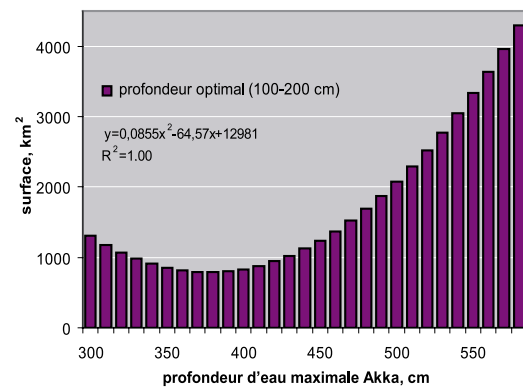


Fig. 8.8. Superficie maximale potentielle du périmètre rizicole, avec une profondeur d'eau de 100 à 200 cm, par rapport à la profondeur d'eau maximale à Akka. Le calcul repose sur le modèle numérique (Chapitre 3).

La Fig. 8.8 présente la superficie de la zone où la profondeur d'eau atteint de 100 à 200 cm par rapport au niveau d'eau maximal à Akka. A un niveau d'eau de 580 cm, 4 300 km² seraient adaptés à la riziculture compte tenu de la profondeur de l'eau. Ce chiffre baisse de 80 %, passant à 800 km² lorsque le niveau d'inondation est de 360 cm. Marie (2002) a effectué le même type de calcul et est également parvenu à la conclusion que la superficie de l'habitat potentiel du riz se réduisait lorsque le niveau d'inondation était inférieur. En outre, Marie (2002) a comparé la superficie totale réelle des rizières à la superficie estimative de la zone, avec une profondeur d'eau optimale. Sa conclusion était que les habitats qui présentaient une profondeur d'eau appropriée n'étaient pas tous adaptés à la riziculture. Par exemple, le riz pousse difficilement dans les fonds sableux qui sont moins fertiles que les substrats argileux. Le fait que la zone cultivée en riz soit concentrée dans la partie méridionale du Delta (Fig. 8.4), où la teneur en argile du substrat est plutôt élevée n'est guère fortuit. Les agriculteurs du Delta Intérieur du Niger n'utilisent pas d'engrais artificiels. Ils dépendent, par conséquent, de la fertilité naturelle du sol. Il conviendrait donc d'intégrer les données relatives au modèle d'inondation numérique aux informations éparpillées concernant le sol (notamment Makaske 1998) et les nutriments (exemple Orange 2002b) afin de présenter les limites absolues d'une extension du périmètre rizicole en compte tenu des différents niveaux de crue.

La superficie des rizières a crû au cours des 80 dernières années (Tableau 8.1). Les chiffres au Tableau 8.1 ne sont pas tout à fait comparables. La superficie estimative pour 2003 est relativement limitée, dans la mesure où toutes les zones nues dans les rizières ou les zones recouvertes d'herbes ne sont pas considérées comme des

rizières. En revanche, ces zones sont prises en compte par Marie et sur la carte IGN. C'est probablement pour cette même raison que les estimations de Gallais pour la même année sont beaucoup plus faibles. La tendance est claire, cependant: la superficie des rizières a augmenté au cours des 80 dernières années. Cette augmentation pourrait s'expliquer par l'accroissement de la population (Marie 2002). En 1957, l'on dénombrait 78 000 riziculteurs et 170 000 personnes, y compris les femmes et les enfants, vivaient de la riziculture. En 1987, la population avait doublé, passant à 340 000 habitants, et la superficie cultivée était deux fois plus importante (Tableau 8.1). Par conséquent, la superficie par personne est demeurée la même, soit environ demi-hectare par personne. Etant donné que le rendement est également demeuré constant, en moyenne, au cours des 50 dernières années, s'établissant à environ 1 000 kg/ha (Gallais 1967; rapports annuels de la DRAMR), la production de riz par personne, bien que variant d'une année à une autre, est également restée stable.

Marie (2000, 2002) donne trois autres chiffres estimatifs pour la superficie cultivée en riz dans la partie méridionale du Delta Intérieur du Niger: 596, 986 et 770 km² en 1952, 1975 et 1989, respectivement. Ceci indique qu'au cours de la Grande sécheresse, l'extension de cette superficie a pris fin ou qu'il y a eu même une baisse temporaire.

De ce qui précède, il ressort clairement que les riziculteurs du Delta Intérieur du Niger sont de plus en plus en concurrence pour les terres propices à la riziculture. Les faibles niveaux de crue enregistrés ces dernières années n'ont fait qu'empirer la situation. Marie (2002) et Moseley et al. (2002) ont mis en exergue, tous deux, une implication majeure. Si les agriculteurs décident de cultiver le riz plus bas dans la zone d'inondation, ils doivent sacrifier les pâturages de bourgou existants. Le bourgou pousse en eau plus profonde par rapport au riz. Par conséquent, les riziculteurs seront amenés à faire disparaître les végétations de bourgou dans les zones où l'eau est la moins profonde. Tel qu'indiqué au Chapitre 7, le bourgou est une plante très productive qui revêt une importance primordiale pour la survie d'un grand nombre de bovins. Ceci signifie que les riziculteurs et les éleveurs sont en concurrence et que cette compétition croît avec la réduction du niveau d'inondation.

8.4 Production annuelle de riz

Les riziculteurs du Delta Intérieur du Niger produisent en moyenne 86 000 t de riz. Mais, cette production varie considérablement d'une année à une autre (Fig. 8.9). Les agriculteurs consomment eux-mêmes la quasi-totalité du riz qu'ils produisent, seule une infime quantité étant vendue. Kuper & Maïga (2002), qui ont effectué une excellente étude approfondie sur le commerce du riz dans le Delta Intérieur du Niger, sont arrivés à la conclusion qu'en année faste, au maximum 10 % du riz produit est vendu, la quantité vendue étant pratiquement nulle en année de mauvaises récoltes. L'étude de Kuper & Maïga (2002) reposait en partie sur les statistiques annuelles obtenues auprès de la DRAMR à Mopti. De même notre analyse repose non seulement sur les rapports annuels de la DRAMR-Mopti depuis 1987, mais également sur ceux de la DRAMR-Tombouctou. L'analyse pourrait être étendue à une période plus longue, étant donné que l'Opération Riz Ségou (ORS) publie, depuis 1970, des rapports annuels qui renferment toutes leurs statistiques importantes relatives au monde rural. Par ailleurs, l'Opération Riz Mopti (ORM) publie des rapports annuels depuis 1981.

La Fig. 8.9 présente la variation annuelle de la production de riz dans les périmètres non irrigués dans trois zones: les zones gérées par l'ORS et par l'ORM, ainsi que les plaines inondables de la région de Mopti. La DRAMR distingue des zones où le riz est cultivé de différentes manières (Tableau 8.2). La Fig. 8.9 présente la variation annuelle pour trois des huit catégories indiquées au Tableau 8.2; les trois sont imprimées en gras. Les rizières irriguées ne sont pas prises en compte dans la figure, étant donné que nous nous intéressons à la variation de la production de riz par rapport aux précipitations et au niveau des crues, et que ces deux facteurs ont peu, voire pas d'impact sur la production dans les rizières irriguées de façon active. Il existe quelques périmètres irrigués à grande échelle dans la région de Tombouctou, d'une superficie totale d'environ 110 km². La production est appréciable (36 000 à 45 000 t), ainsi que le rendement

Tableau 8.1. Six estimations de la superficie cultivée en riz dans le Delta Intérieur.

An	Surface, km ²	Source	Méthode
1920	160	Gallais 1967	Mission de terrain
1935	645	Gallais 1967	Mission de terrain
1952	790	Gallais 1967	Mission de terrain
1952	<1.648	IGN	Photos aériennes
1987	1.590	Marie 2002	Photos-satellite
2003	>1.040	Présente étude	Photos-satellite

(environ 4 000 kg/ha). Dans la région de Mopti, il existe plusieurs petits périmètres irrigués à proximité des villages. La superficie totale est estimée à 16-27 km², pour une production totale de 6 000 à 16 000 t et un rendement de 5 700 à 6 000 kg/ha.

Malheureusement, nous ne disposons pas de données complètes sur la riziculture dans les plaines inondables de la région de Tombouctou. Par conséquent, celles-ci ne sont pas prises en compte dans la Fig. 8.9 et dans l'analyse approfondie. Le riz de bas-fonds est cultivé dans la région de Tombouctou sur une superficie totale de 37 à 40 km², pour une production de 900 à 1 900 t et un rendement de 380 à 560 kg/ha. Le riz de décrue

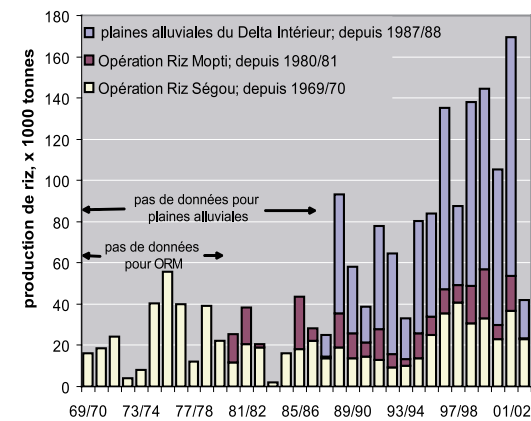


Fig. 8.9. Production annuelle de riz dans les zones de l'ORS et de l'ORM, ainsi que dans les plaines inondables (riz à submersion libre) de la région de Mopti. Sources: ORS, ORM, DRAMR.

Tableau 8.2. La production rizicole (x 1 000 t) dans trois régions et dans cinq types de rizières. La fourchette indiquée concerne la production minimale et maximale pendant quatre saisons (1999/2000-2002/03). La Fig. 8.9 présente la production annuelle pour trois catégories (en gras). Source: DRAMR-Mopti et DRAMR-Tombouctou.

Région	Ségo	Mopti	Tombouctou
Irrigué		6-16	36-45
Submersion contrôlée, ORS et ORM	23-37	1-24	
Submersion libre		19-116	5-10
Riz de bas fonds			1-2
Riz de décrue			8-13

est cultivé dans les lacs septentrionaux sur une superficie de 85 à 106 km², pour une production de 7 600 à 13 000 t et un rendement de 1 300 à 1 500 kg/ha.

La production totale des rizières non irriguées du Delta Intérieur du Niger oscille entre 40 000 et 200 000 t. Mais, comme on pourrait s'y attendre, la production des périmètres irrigués ne varie pas beaucoup, se situant entre 40 000 et 60 000 t. Dans les trois sections suivantes, nous analyserons la production rizicole de l'ORS, de l'ORM et la production de riz à submersion libre dans la région de Mopti par rapport aux précipitations locales et au niveau de crue.

Production de riz par l'Opération Riz Ségo (ORS)

L'ORS gère trois périmètres: Markala (53 km²), Dioro (150 km²) et Tamani (152 km²), pour une superficie totale de 354 km². Elle est située le long du fleuve Niger près de la ville de Ségo, dans les cercles de Ségo et Baroueli (Fig. 8.5). Il existe plus de 200 villages dans la zone de l'ORS pour une population de 200 000 habitants. L'irrigation active n'y est pas pratiquée. Il existe des digues et des écluses pour retarder, le cas échéant, l'inondation et gérer le niveau d'eau pendant la décrue. Il s'agit, par conséquent, d'une zone, un «casier». Mais, la maîtrise de l'eau est assurée de façon passive. Lorsque le niveau des crues n'est pas suffisamment élevé, la zone demeure sèche. Ce qui signifie que la production agricole dépend que des précipitations au niveau local et de la crue du fleuve.

Les précipitations au niveau local sont bien enregistrées. L'ORS mesure les hauteurs de pluies dans 14 stations. Nous avons calculé la moyenne pour 6 stations avec des séries (presque) complètes qui remontent à 1982. Malheureusement, aucune donnée relative aux

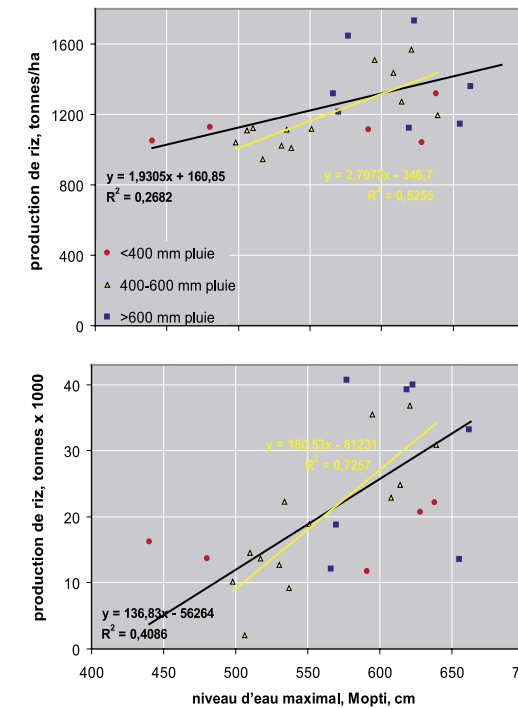


Fig. 8.10. Production de riz dans la zone de l'ORS en fonction du niveau d'inondation. Les symboles avec différentes couleurs indiquent les années aux précipitations faibles, moyennes et abondantes. La fonction est indiquée pour toutes les données (1974-2001) et pour les années ayant enregistré une pluviométrie de 400 à 600 mm (données pour 1982-2001). Source: ORS.

précipitations n'est disponible pour les années précédentes. S'agissant des niveaux de crue, nous avons pris le niveau de crue maximal de Mopti. Naturellement, Mopti est située en aval de la zone de l'ORS. Mais, compte tenu de la grande similarité entre les niveaux de crue maximaux mesurés à différents endroits, les mesures de Mopti peuvent être utilisées comme un excellent indicateur du niveau de crue annuelle.

La production annuelle totale au cours des 35 dernières années a oscillé entre 2 086 t en 1984-85 et 55 718 t en 1976-77, soit une moyenne de 22 022 t par an. Sur les 350 km² disponibles, 240 km² en moyenne sont plantés en riz chaque année, dont 171 km² produisent en moyenne suffisamment de riz à récolter. En d'autres termes, la production annuelle dans le périmètre rizi-

cole est de 932 kg/ha, en moyenne (voir Tableau 8.2).

Les rapports annuels de l'ORS indiquent clairement que la variation considérable de la production est due non seulement à une partie aux conditions climatiques très variables de la zone où la récolte est déficitaire mais aussi à une fluctuation importante du rendement du périmètre où la récolte est effectuée. La superficie cultivée sans récolte se situait entre 5 et 82 %. Le rendement moyen du périmètre récolté variait également d'une année à une autre, mais dans une moindre mesure, oscillant entre 945 et 1 750 kg/ha.

La productivité varie en fonction du niveau des crues (Fig. 8.10). La ligne de régression (en noir) indique l'écart, tel que calculé: la production augmente de 137 t, lorsque le niveau d'eau croît de plus de 1 cm. Cette fonction repose sur l'ensemble des données. Lorsque les données sont réparties en fonction des années à faible (moins de 400 mm) et forte (plus de 600 mm) pluviosité et des situations intermédiaires, il est évident que la production est toujours faible lorsque les précipitations sont peu abondantes (voir points de couleur pourpre à la Fig. 8.10). Toutes les années qui ont enregistré une production exceptionnellement élevée ont été abondamment arrosées. Toutefois, il existe également des années pluvieuses à faible niveau de production. Lorsqu'on exclut les années à faible (moins de 400 mm) et forte (plus de 600 mm) pluviosité, les niveaux de crue continuent d'avoir un impact prépondérant sur la production (voir ligne jaune et fonction imprimée en jaune).

Il existe encore des variations autour de la ligne de régression jaune présentée à la Fig. 8.10. Par conséquent, il existe, outre les niveaux de crue et les précipitations, d'autres facteurs qui entrent en ligne de compte, notamment la période des pluies et celle de la crue, qui pourraient influencer sur la production annuelle de riz. Un autre facteur potentiel pourrait être la quantité variable des engrais chimiques utilisés. Jusqu'en 1988, aucun engrais, voire peu d'engrais était utilisé dans la zone de l'ORS. Mais, depuis, l'utilisation de ces engrais a enregistré une augmentation exponentielle, passant à 2 145 t en 2004. Lorsque la quantité d'engrais utilisée par an est représentée graphiquement en fonction de l'écart avec la ligne de régression, nous n'observons aucune corrélation. Par ailleurs, le rendement moyen n'a pas augmenté au cours des 20 dernières années. Ceci nous amène à conclure que la pluie explique en partie la variation considérable observée en ce qui concerne la production

Tableau 8.3. Superficie, rendement et nombre d'agriculteurs moyens au niveau des périmètres rizicoles gérés par l'Opération Riz Ségou (ORS; 1973-2002) et l'Opération Riz Mopti (ORM; 1981-2002).

	ORS	ORM
Surface total, km ²	350	330
Surface cultivée, km ²	240	183
Surface récoltée, km ²	171	85
Production totale, tonnes	22.022	10.593
Rendement surface cultivée, kg/ha	921	616
Rendement surface récoltée, kg/ha	1.290	1.079
Nombre de cultivateurs	12.546	11.133

de riz dans la zone de l'ORS. Toutefois, la crue constitue le principal facteur.

Production de riz de l'Opération Riz Mopti (ORM)

La zone gérée par l'ORM est dotée du même type d'infrastructure que l'ORS. Les agriculteurs dépendent également du niveau de pointe des crues et des pluies au niveau local. Au total, les casiers de l'ORM ont quasiment la même superficie que ceux de l'ORS. Mais, le périmètre cultivé en riz est moins étendu et la superficie à récolter encore moins vaste (Tableau 8.2). La variation annuelle des précipitations dans la zone a été mesurée depuis 1981 au niveau de 17 sites. Il est possible, par conséquent, de décrire avec précision la hauteur moyenne des pluies dans la zone. Etant donné que la partie méridionale des zones de l'ORM est située le long du Bani avant que celui-ci ne se jette dans le fleuve Niger, nous considérons comme niveau de la crue le niveau d'eau maximal à Sofara, le long du Bani, tout juste en amont de l'ORM.

La Fig. 8.11 présente la production de riz de la zone de l'ORM en fonction du niveau de crue à Sofara. Une fois de plus, il existe une concordance très nette. Les données sont réparties en deux groupes: les années avec moins de 400 mm de pluies, d'une part, et les années avec plus de 400 mm de pluies, d'autre part. Dans tous les cas où la hauteur des pluies a été supérieure à la moyenne, la production était élevée, s'établissant à environ 1 200 t. Pour toutes ces années, cependant, le niveau de

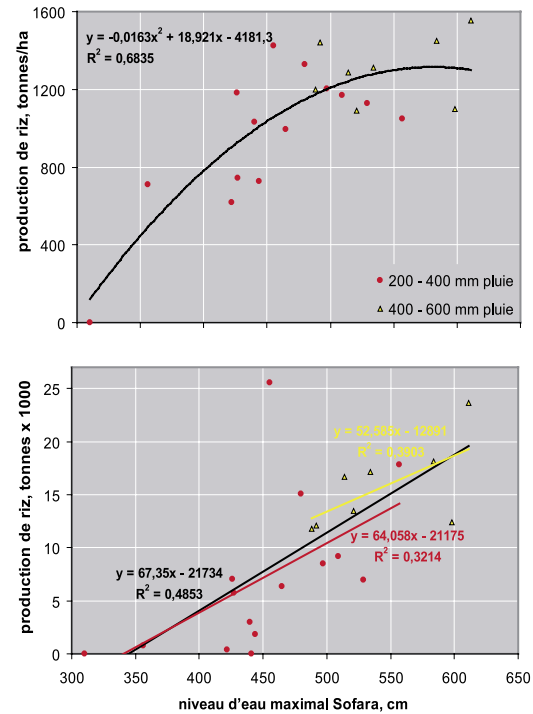


Fig. 8.11. Production de riz dans la zone de l'ORM en fonction du niveau des crues. Les symboles jaunes et pourpres, ainsi que les lignes de régression représentent les années où l'on a enregistré des hauteurs de pluies supérieures ou inférieures à 400 mm, respectivement, depuis 1981. La fonction de toutes les données (ligne de régression en noir) est indiquée pour toutes les données (1974-2001). Source: l'ORM.

crue était également élevé. Lorsque la hauteur des pluies était inférieure à la moyenne, le niveau de crue a eu une incidence prépondérante sur la production qui a oscillé entre 0 et 1 400 t. Les données de l'ORM confirment ainsi la conclusion tirée pour l'ORS, à savoir que la crue constitue le principal facteur qui détermine la production de riz dans les casiers inondés.

Production de riz dans les plaines inondables du Delta Intérieur du Niger

Les données de l'ORS et de l'ORM concernent la production de riz dans un périmètre limité de 680 km². Lorsque le niveau de crue ne suffit pas à inonder ce périmètre, la récolte de riz est très faible. On pour-

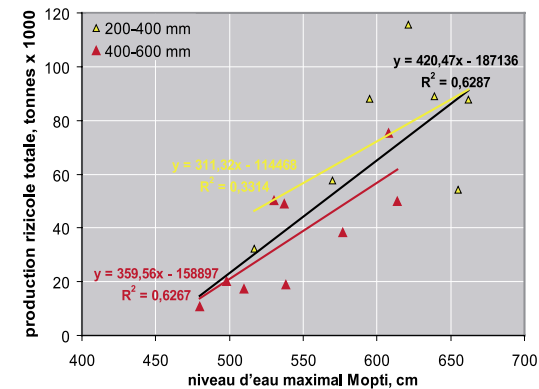


Fig. 8.12: Production totale de riz dans la région de Mopti (hormis la zone de l'ORM) en fonction du niveau de crue de pointe à Mopti. Les symboles de différentes couleurs indiquent les années où les précipitations sont supérieures et inférieures à la moyenne. La fonction est indiquée pour toutes les données (1985-2001), ainsi que pour les deux niveaux de précipitations. Source: DRAMR.

rait affirmer que les agriculteurs du Delta Intérieur du Niger pourraient obtenir de meilleurs rendements dans la mesure où ils ont davantage de possibilités de descendre vers la zone d'inondation pendant les années de faible crue. Selon les rapports annuels de la DRAMR, la superficie cultivée par les riziculteurs de la région de Mopti s'est agrandie progressivement ces dernières années, passant de 1 000 km² à 1 200 km². Le rendement est très variable et ne dépasse guère 1 000 kg/ha, même pendant les années fastes. La Fig. 8.12 présente la corrélation entre la production totale et le niveau des crues à Mopti. Les données sont réparties en deux groupes – les années avec moins de 400 mm de pluies, d'une part, et les années avec plus de 400 mm de pluies, d'autre part – en utilisant la même série de données que celle déjà utilisée pour l'ORM. La tendance est similaire à celle de la Fig. 8.12. Lorsque les pluies sont plus faibles, la production baisse de 10 000 à 20 000 t. Mais, l'impact du niveau des crues est encore plus marqué. La production ne s'élève qu'à 20 000 t, en période de faible crue, mais passe à 60 000-120 000 t en cas de forte crue.

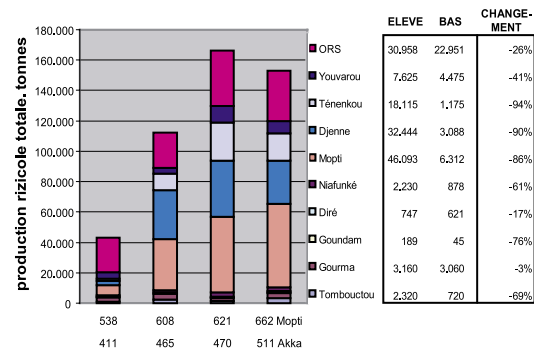


Fig. 8.13. Production totale de riz au cours de quatre années récentes, avec différents niveaux de crue maximaux à Mopti, à Akka, dans les 9 cercles du Delta Intérieur du Niger et dans la zone de l'ORS. Le tableau en face de la figure présente une comparaison de la production de 2002-03 (faible crue) avec celle des trois années précédentes (forte crue).

Production de riz par cercle

Il va sans dire que la production de riz baisse lorsque les niveaux de crue sont bas. On pourrait s'attendre à ce que cette incidence négative soit optimale pour les rizières situées dans la partie supérieure de la zone d'inondable. Etant donné que les rizières dans les cercles de Ténenkou, Djenné et Mopti sont situées à une altitude plus élevée que celle des exploitations rizicoles de Youvarou, l'impact de la baisse du niveau des crues devrait être différent également lorsque l'on compare les situations dans les différents cercles. La Fig. 8.13 présente la production totale de l'ORS et des neuf cercles du Delta Intérieur du Niger pendant trois années avec un niveau de crue relativement élevé et pour une année à niveau de crue faible. La production de riz pour les trois années à un niveau de crue élevé n'a pas beaucoup varié, tout comme celles des cercles de la zone de l'ORS, qui étaient à peu près similaires. Ces dernières années, l'on a constaté que lorsque le niveau de crue est élevé, la majeure partie du riz est cultivée dans le cercle de Mopti (y compris la zone de l'ORM), à Djenné et dans la zone de l'ORS. Avec le niveau de crue faible enregistré en 2002-03, la production de riz était de 70 % inférieure à celle des trois années précédentes. Mais, la baisse était d'environ 90 % à Ténenkou, Djenné et Mopti. Les agriculteurs de Youvarou, comme on pouvait s'y attendre, ont moins pâti de cette situation.

8.5

Scénarios

L'impact du niveau de crue sur la production rizicole dans la zone de l'ORS, l'ORM et dans les plaines inondables est manifeste (Figures 8.10-8.12). Par conséquent, l'impact de la baisse du niveau de crue imputable à Sélingué, à l'Office du Niger et à Fomi sur la production rizicole pourrait être quantifié. Le niveau de pointe de l'eau à Sofara ou Mopti a été utilisé pour mesurer le niveau de crue aux Figures 8.10-8.12. Toutefois, dans nos scénarios, nous utilisons le niveau de crue à Akka comme indicateur du niveau de crue. C'est la raison pour laquelle l'impact des barrages sur l'ensemble de la production rizicole dans le Delta Intérieur (notamment l'ORM et l'ORS) a été lié au niveau d'eau à Akka (Fig. 8.14). Compte tenu de la manque de données, la figure ne présente la production de riz que pour les campagnes 1987-88 à 2002-03. Pendant ces années, la production

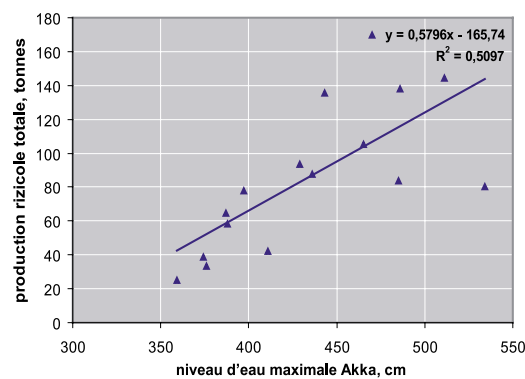


Fig. 8.14. Production totale de riz de l'ORS et de la région de Mopti (y compris l'ORM) en fonction du niveau de crue maximal à Akka. Les symboles de différentes couleurs indiquent les années où les précipitations sont supérieures et inférieures à la moyenne. La fonction est indiquée pour toutes les données combinées, ainsi que pour les deux niveaux de précipitations. Source: DRAMR, ORM et ORS.

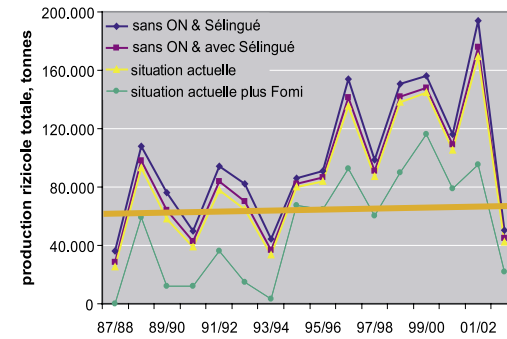


Fig. 8.15. Variation annuelle de la production totale de riz de l'ORS et dans la région de Mopti (y compris l'ORM) dans la situation actuelle et dans trois autres scénarios. La ligne droite présente la quantité de riz nécessaire pour nourrir une population en pleine croissance, qui est passée de 750 000 personnes en 1987 à 850 000 personnes en 2002, avec 80 kg de riz par personne par an.

annuelle totale a oscillé entre 10 600 et 115 700 t.

Une analyse de régression multiple a été effectuée afin de vérifier si nous pourrions obtenir une fonction dans laquelle l'effet combiné des précipitations et du niveau de crue pourrait être présenté. Les précipitations n'étaient pas abondantes. De même, les corrélations présentées dans les Figures 8.10 à 8.12 laissaient transparaître un impact (très) important du niveau de crue, tandis que les précipitations n'avaient aucun impact majeur.

En utilisant la fonction de régression combinée de la production de riz par rapport au niveau de crue maximal à Akka (présentée en noir à la Fig. 8.14), il est possible d'indiquer l'impact de Sélingué, de l'Office du Niger et de Fomi (Fig. 8.15). En moyenne, la baisse du niveau de crue due à Sélingué entraîne une réduction de la production de riz de 4 300 t, soit 4,9 %. L'impact de l'Office du Niger est plus important: 8 900 t soit 10,4 %. Fomi réduirait la production de riz de 34 500 t soit 40,1 %. L'impact diffère selon la production totale. Les trois équations suivantes pour les trois scénarios présentent l'impact par rapport à la situation actuelle.

- scénario 2 > 0 (impact de Sélingué +ON) 8.2
- +8 788 + 0,051x 8.3
- scénario 2 > 1 (impact de Sélingué) +3 396 + 0,010x 8.4
- scénario 2 > 3 (impact de Fomi) -18 610 - 0,185x

Le Chapitre 12 présentera l'impact négatif manifeste des infrastructures en amont sur la production de riz dans les plaines inondables. A ce stade, nous pouvons déjà faire deux remarques. Tout d'abord, la production de 200 000 t de riz assurée depuis 1987 en prélevant l'eau du fleuve aux fins d'irrigation dans la zone de l'Office du Niger n'est possible qu'au prix d'une réduction du niveau des crues dans le Delta Intérieur du Niger, ce qui se traduit par une perte annuelle de 8 900 t pour les agriculteurs. Cette perte au niveau du Delta Intérieur du Niger représente 10 % de la production de riz de l'Office du Niger à la fin des années 80. La production de riz de l'Office du Niger a crû (Chapitre 11), tandis que la quantité d'eau prélevée est restée la même (Chapitre 2). C'est la raison pour laquelle la perte en termes de production de riz dans le Delta Intérieur du Niger due à l'Office du Niger est tombée à 3,5 % par rapport à la production récente de l'Office du Niger. Ceci change les données de l'analyse coûts-avantages, mais pour les agriculteurs du Delta Intérieur du Niger cela n'a pas d'importance.

La deuxième remarque est que la production de riz dans le Delta Intérieur du Niger est chroniquement insuffisante pour satisfaire les besoins de la population locale. Selon Randolph (1995), chaque Malien consomme chaque année 30 kg de riz et 120 à 150 kg de mil et de sorgho. Les populations du Delta Intérieur du Niger consomment 80 kg et moins de mil et de sorgho. La population de la région de Mopti a crû entre 1987 et 1998, passant de 570 000 à 630 000 habitants (Tableau 6.1). La zone de l'ORS est cultivée par 15 000 à 17 000 agriculteurs. Ainsi, en prenant en compte leurs familles respectives, le riz qu'ils cultivent devrait suffire à nourrir 60 000 à 70 000 personnes. Au total 200 000 âmes vivent dans la zone de l'ORS. Une autoconsommation de 80 kg de riz pour 760 000 à 840 000 habitants donne une consommation annuelle de 61 000 à 67 000 t. Depuis 1987, la production réelle a été inférieure à ce niveau pendant 4 années sur 16. Ce chiffre serait de 10 années si le barrage de Fomi avait existé, réduisant le niveau de crue et partant la production de riz.

8.6

Conclusions

- Pendant la Grande sécheresse, le niveau des crues avait baissé de 2,2 m. Face à cette situation, les agriculteurs ont cultivé le riz à des niveaux inférieurs dans la zone inondée. En moyenne, ils sont descendus de 80 cm, à un niveau où l'inondation du riz a baissé de nouveau de 140 cm, en moyenne. C'est la principale raison pour laquelle la production de riz baisse au cours des périodes de faible crue.



- Tout comme dans les autres pays du Sahel, au Mali, les précipitations annuelles ont une incidence majeure sur l'économie rurale, en particulier dans la partie plus sèche du pays. La production de mil, de sorgho et de riz baisse considérablement lorsqu'elles tombent en dessous de 400 mm.
- Bien que les riziculteurs du Delta Intérieur du Niger dépendent également de la pluie au cours des semaines qui précèdent l'inondation de leurs rizières, la production est tributaire, pour l'essentiel, de la durée de la crue. La variété de riz croît au fur et à mesure que le niveau de la lame d'eau augmente et il est nécessaire que les rizières restent recouvertes d'eau pendant 3 mois. Le riz est cultivé essentiellement dans les zones inondées où le niveau de l'eau atteint un ou deux mètres.
- Lorsque le niveau des crues a baissé, les agriculteurs du Delta n'ont pu déplacer leurs cultures plus bas, car il n'existait pas suffisamment de terres adaptées à la riziculture avec un niveau d'eau aussi bas.
- La production de riz dans les zones de l'Opération Riz Ségou, de l'Opération Riz Mopti et dans les plaines inondables du Delta Intérieur du Niger varie d'une année à une autre. Cette fluctuation est imputable aux niveaux de crue et, dans une moindre mesure, aux précipitations. Au total, on estime la production à 83 000 t, en moyenne, mais lorsque les crues sont faibles, elle tombe à 10 000 t et lorsque celles-ci sont élevées, elle peut atteindre 80 000 à 120 000 t.
- Étant donné que la production de riz dans les plaines inondables et dans les zones inondées est très tributaire du niveau de crue maximal, l'impact de la réduction du niveau d'eau dû à un barrage ou à l'irrigation

peut être bien indiqué. En raison à la gestion de l'eau à Sélingué, les agriculteurs produisent en moyenne 4 300 t, soit une baisse de 4,9 %. L'irrigation assurée par l'Office du Niger réduit la production de riz dans le Delta Intérieur de 8 900 t, soit de 10,4 %. Le barrage de Fomi aurait un impact très significatif: moins 34 500 t, soit 40 % de la production moyenne actuelle dans le Delta Intérieur du Niger.



9 VALEURS ÉCOLOGIQUES DU DELTA INTÉRIEUR DU NIGER

Jan van der Kamp
Bouba Fofana
Eddy Wymenga

9.1 Introduction

Depuis des temps immémoriaux, l'élevage constitue la principale activité dans la plaine inondable du Delta Intérieur du Niger. Des espèces sauvages herbivores, notamment les gazelles ont, pour ainsi dire, disparu, ainsi que les lions et les éléphants. L'exploitation intensive de l'écosystème par l'homme, à travers la pêche, le pâturage et l'utilisation des autres ressources naturelles, ne laisse aucune place à ces animaux sauvages, bien que l'on observe encore la présence de quelques hippopotames et lamantins dans les parties profondes du fleuve Niger. En dépit de cette perte de la faune africaine et de la transformation de la plaine inondable naturelle, le Delta Intérieur du Niger peut être encore considéré comme un haut lieu de la biodiversité dans le Sahel. Sa forte concentration d'oiseaux d'eau et de colonies nicheuses de Hérons et de Cormorans constitue l'une des principales raisons pour lesquelles le Gouvernement Malien a estimé que l'ensemble du Delta Intérieur du Niger constitue une zone humide internationale importante au titre de la Convention de Ramsar (1er février 2004). D'une superficie totale de 4,1 millions ha, il constitue, à présent, l'un des sites les plus importants au titre de la Convention de Ramsar au monde (www.ramsar.org).

Les quelques plaines inondables du Sahel (Fig. 1.1) sont réputées pour les valeurs écologiques qu'elles recèlent. Celles-ci dépendent, dans une large mesure, du régime hydrologique (Welcomme 1986, présente étude) et présentent de nombreuses similitudes d'une plaine inondable à une autre. En un mot, il existe un cycle annuel de végétations aquatiques, qui est déterminé par les crues. Ces végétations renferment un certain nombre d'espèces, notamment *Nymphaea* et *Utricularia* ssp. et des «prairies» flottantes d'*Echinochloa stagnina*, *Vossia cuspidata* et *Oryza* spp., une biodiversité abondante de ressources piscicoles, d'ongulés et de reptiles, ainsi que d'autres animaux sauvages dont les populations sont en baisse. Enfin et non des moindres, elles abrite une population d'oiseaux d'eau abondante (cf. Lot 2004, Peeters 2003, Carmouze et al. 1983, Wymenga et al. 2002). Il y a lieu de souligner également que les grandes forêts inondées ont, pour ainsi dire, disparues depuis longtemps dans les plaines inondées du Sahel (Drijver & Marchand 1985).

Dans le présent chapitre, nous évaluons les valeurs écologiques du Delta Intérieur du Niger, en mettant un accent particulier sur l'importance ornithologique de la zone (Section 9.2). Dans la Section 9.3, nous nous attachons à vérifier dans quelle mesure et comment ces valeurs influent. La faune peu abondante (vertébrés autres que la faune aviaire) est étudiée à la Section 9.4. Les conclusions sont tirées à la Section 9.5. En guise de toile de fond, nous commençons par donner un bref aperçu des aspects écologiques d'une plaine inondable.



Les plaines inondables – un environnement écologique

Les plaines inondables du Sahel constituent un environnement plutôt extrême. Dans le Delta Intérieur du Niger, les variations annuelles du niveau d'eau atteignent 4 à 5 m, tandis que les plans d'eau permanents sont rares. De juin à novembre, le Delta Intérieur du Niger se métamorphose, passant de l'état d'un environnement quasi-désertique pendant l'étiage à celui d'une vaste zone humide où l'on rencontre peu d'endroits secs, lorsque le niveau de crue est élevé (Fig. 9.1). Ces conditions extrêmes exigent des adaptations complexes de la part des plantes et des animaux ou, à défaut, une migration pendant les périodes de stress environnemental. Les crues imposent des contraintes environnementales majeures aux plantes (immobiles!) et aux animaux à peine vagiles, notam-

ment les mollusques. Pendant les crues, ce phénomène concerne, en particulier, les conditions pédologiques hypoxiques et le faible taux d'oxygène dissous dans l'eau. Les plantes aquatiques, les héliophytes et de nombreuses espèces de poissons s'adaptent parfaitement à ces conditions difficiles (Keddy 2002). En particulier, dans les plaines inondables sahéliennes, la saison sèche chaude constitue un autre facteur de contrainte qui appelle des stratégies de survie.

Les adaptations à la vie dans une plaine inondable sont manifestes dans le Delta Intérieur du Niger. Les herbes flottantes, notamment le bourgou (*Echinochloa stagnina*) et le riz sauvage (*Oryza longistaminata*) commencent à pousser dès le début de la crue et enregistrent un taux de croissance de 3 à 5 cm par jour, suffisant pour suivre la montée du niveau d'eau. Chaque espèce végétale a une

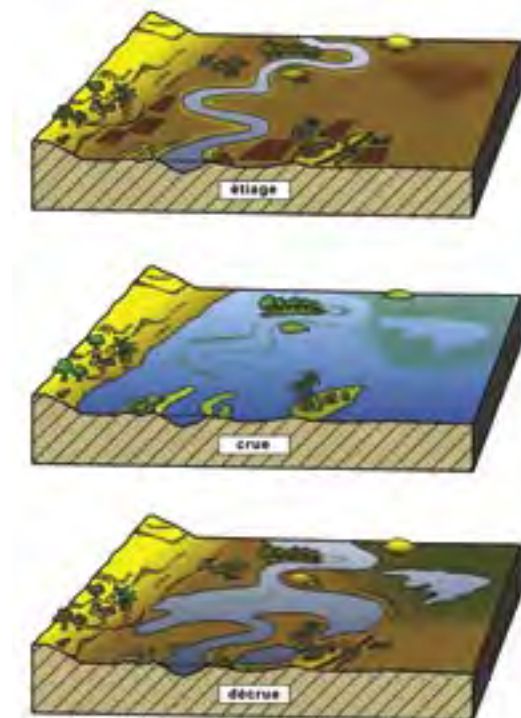


Fig. 9.1. Trois étapes du cycle des crues, en l'occurrence la montée et pointe de la crue (crue: de juillet à novembre), la baisse du niveau des eaux (décrue: de décembre à avril) et le niveau d'eau le plus bas (étiage: de mai à juin) avant le début de la saison des pluies. L'encadré dans la partie droite de la figure donne une indication des principales activités humaines et processus écologiques. Modifié à partir des travaux de Drijver & van Wetten (1994).

- Retrait des poissons et d'autres organismes aquatiques dans le lit du fleuve
- Décomposition et minéralisation des fèces et de la biomasse restante
- Concentration des oiseaux d'eau afro tropicaux près des eaux restantes
- Crue, variation annuelle maximale
- Plantation de bourgou, mais aussi du riz à petite échelle
- La croissance du bourgou et du riz sauvage
- Ponte des poissons et croissance des juvéniles dans la plaine d'inondation
- Colonisation des rives basses par les mollusques
- Colonies nicheuses de hérons et d'autres oiseaux d'eau
- Récolte limitée de bourgou par la coupe
- Pêche aussitôt que la décrue s'installe ; à la fin de la décrue, les concentrations de poissons sont fortement pêchées dans les eaux restantes.
- Paître dans les pâturages de bourgou
- Concentration des oiseaux d'eau paléarctiques qui migrent dans les zones de reproduction du Nord.

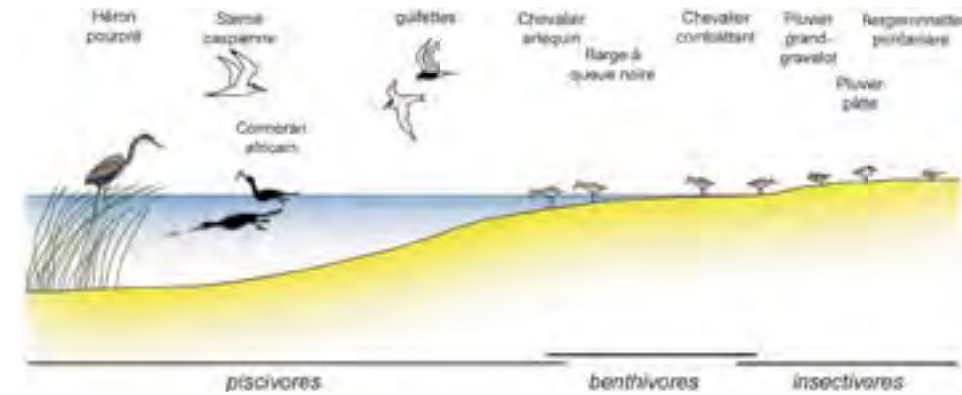


Fig. 9.2. Aire d'alimentation des oiseaux dans la partie centrale du Delta Intérieur du Niger (source: Wymenga *et al.* 2002).

position optimale dans la zone d'inondation, en fonction de la durée de la crue (Chapitre 6). La faune benthique sur les rives les plus basses de la plaine inondable comprend essentiellement trois espèces de mollusques à forte densité. Elle constitue une importante source alimentaire pour de nombreux oiseaux d'eau pendant la décrue. Bien que la quasi-totalité des mollusques soient consommés par les poissons et les oiseaux ou meurent lorsque les bancs de sable se découvrent suite au retrait de l'eau, leur système de reproduction leur permet de coloniser de nouveau les berges chaque année, pendant la crue (Zwarts 1999, van der Kamp *et al.* 2002a). Plusieurs espèces de poissons présents dans le réseau hydrographique du fleuve Niger s'accommodent particulièrement bien du faible taux d'oxygène dissous, dans certains cas, grâce à leurs branchies apparentées à des poumons ou à leur capacité d'emmagasiner de l'oxygène en surface. Leur reproduction est tributaire du cycle des crues: ces espèces pondent dès que le Delta est inondé (Welcomme 1986, Lévêque & Paugy 1999).

Les digues et autres infrastructures ne constituent, pour ainsi dire, pas un obstacle aux crues dans le Delta Intérieur du Niger, à la différence du Delta du Sénégal et de la plaine inondable du Logone (cf. Lot 2004, Scholte 1996, Peeters 2003). Toutefois, le Delta Intérieur du Niger ne peut être considéré comme un écosystème naturel intact, dans la mesure où pendant la décrue, l'ensemble de la plaine inondable fait l'objet d'une exploitation intensive sous forme de pêche et de pâturage des animaux. A la faveur de la décrue, le Delta

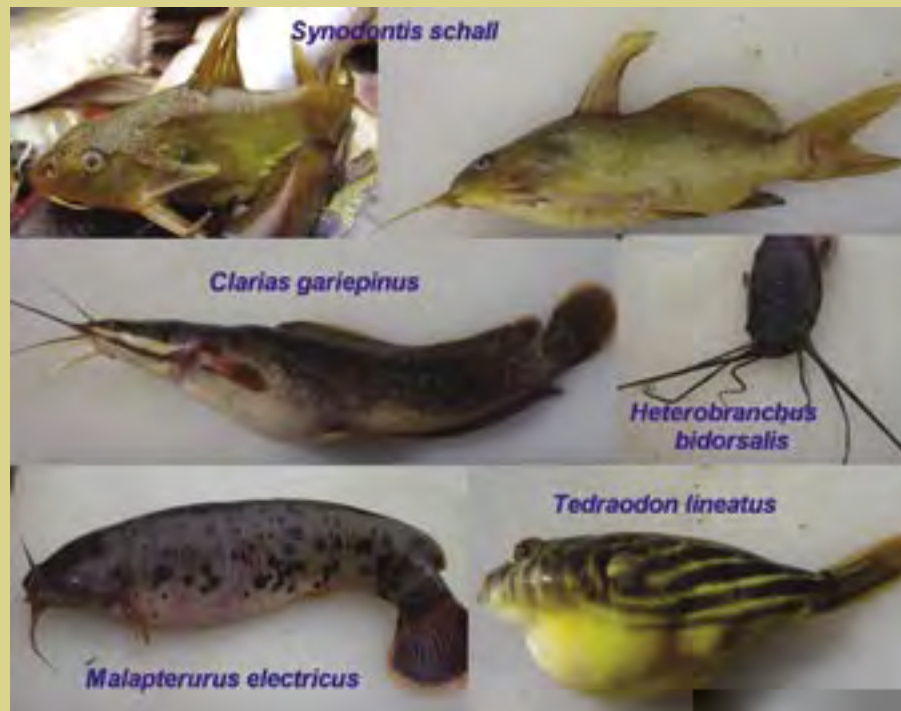
Intérieur du Niger est envahi par des troupeaux de quelques millions d'animaux domestiques qui paissent dans les pâturages ouverts. Tel qu'indiqué au Chapitre 7, la pression totale du pâturage est estimée à 26 t/km². La fumure de ces troupeaux, qui représente 12 kg N/ha (selon Masson 2002, 1 unité vivante standard = 250 kg et produit 912,5 kg de matière sèche et 1,28% de N) constitue une source alimentaire importante dans le système. Il s'agit de la production primaire (Arfi 2002) et des prairies flottantes – bourgoutières – qui constituent un habitat essentiel dans l'écosystème des plaines inondables. Non seulement l'habitat joue un rôle primordial dans le cycle de croissance (nutriments) et de pâturage, mais il tient lieu également d'aire de croissance pour les alevins et d'aire d'alimentation pour les oiseaux piscivores (Bacalbasa-Dobovrici 1971, cité dans Welcomme 1986). Ce rôle écologique majeur dans la production de la plaine inondable met également en évidence l'importance économique du bourgou, que l'on ne saurait sous-estimer.

Un autre habitat – les forêts d'inondation d'*Acacia kirkii* – était naguère un habitat naturel important du Delta Intérieur du Niger (p. ex. Guichard 1947). Mais, depuis longtemps, il a presque disparu et a été remplacé par des champs de riz ou de bourgou. Les quelques forêts restantes revêtent une importance primordiale en tant qu'habitat de repos et de reproduction pour les oiseaux d'eau. Au rang des autres habitats d'oiseaux importants, on pourrait citer les berges en basse altitude dans le Delta central (complexe du Debo) qui

Encadré 9.1

Adapté à vivre dans l'Environnement d'une plaine inondable.

Plusieurs espèces de poissons dans le Delta Intérieur du Niger sont adaptées à vivre dans l'environnement des plaines d'inondation avec souvent peu d'oxygène et une eau turbide. Une de ses espèces, *Protopterus annectans*, peut même survivre pendant les périodes de sécheresse en se retirant dans un cocon fait par elle-même et en banco. Les adaptations morphologiques importantes concernent : la manière de respiration de l'oxygène (exemple : respiration à partir de la surface), le développement de petites tentacules et organes électriques (sensoriels) facilitant l'alimentation et la localisation. Les organes électriques peuvent être aussi utilisés comme défenses. Pour plus d'information voir : Quensièrre et al. (1994) et Lévêque & Paugy (1999).



enregistrent de fortes densités de mollusques (Fig. 9.2). Hormis les oiseaux d'eau et les poissons, la biodiversité dans le Delta Intérieur du Niger est relativement limitée, du fait des conditions environnementales extrêmes et de la surexploitation et – pour les grands mammifères – en raison de l'exploitation dont ils ont été l'objet par le passé. Le Delta Intérieur abritait naguère une faune riche de mammifères, notamment les gazelles et d'autres ongulés. De nos jours, la plupart de ces espèces sont en voie de disparition (Kingdon 1997, Section 9.4). C'est la raison pour laquelle le présent chapitre, qui traite des valeurs écologiques, porte essentiellement sur l'avifaune.

9.2 Les espèces et populations d'oiseaux d'eau et leur répartition

Compte tenu des habitats disponibles, l'avifaune du Delta Intérieur du Niger est constituée, pour l'essentiel, par les espèces de zones humides. Au total, 111 espèces d'oiseaux d'eau (hormis les espèces vivant essentiellement dans les zones humides) ont été recensées par Van der Kamp et al. (2002b, 2005). Parmi ces espèces, 43 se rencontrent en nombre limité à élevé, tandis que 68 n'ont été observées que rarement ou irrégulièrement au cours de la période 1998-2004. L'avifaune comprend des espèces piscivores (Hérons, Cormorans, Sternes), benthivores et omnivores (Echassiers, Ibis) et insectivores (quelques espèces de Pluviers, Bergeronnettes), outre quelques espèces granivores (essentiellement les Canards). Ceci signifie que les oiseaux d'eau interviennent quasiment à tous les niveaux de la chaîne alimentaire dans la plaine inondable.

Dans la présente section, nous nous employons à démontrer l'importance ornithologique internationale considérable que revêt le Delta Intérieur du Niger et la manière dont le cycle des crues détermine la disponibilité des habitats et des populations d'oiseaux d'eau. Les informations reposent sur le suivi des oiseaux d'eau effectué dans le cadre de la présente étude (van der Kamp et al. 2005) et les données recueillies au cours de la période 1998-2002 par Van der Kamp et al. (2002a-c). Le suivi régulier concerne le recensement dans les aires de repos des oiseaux d'eau coloniaux et les recensements sur les zones de concentration d'oiseaux d'eau dans la partie centrale du Delta Intérieur du Niger. La zone de recensement – le complexe du Debo – couvre une superficie de 460 km² et comprend le lac Debo, le Walado-Debo et le lac Korientzé. Cette zone a été retenue, car les oiseaux vivant dans une zone étendue ont tendance à se concentrer dans cette zone de dépression pendant la décrue. Les informations relatives à cette zone pourraient servir de baromètre pour une partie importante du Delta Intérieur du Niger.

Cependant, cette approche ne s'applique pas à l'ensemble du Delta et s'avère particulièrement fiable pour les oiseaux qui vivent en groupe et ne se cachent pas dans les habitats de végétation dense. Il arrive que l'on sous-estime facilement les oiseaux non grégaires et éparpillés. Par conséquent, depuis 2002, des recensements supplémentaires de la densité des oiseaux ont été effectués (Appendice 8; van der Kamp et al. 2005). Une évaluation de la densité de l'avifaune par type de végétation – au titre de laquelle les unités de types de végétation homogènes sont recensées – permet de déterminer l'importance des différents types de végétation et d'effectuer des estimations de la population totale d'oiseaux dans le Delta Intérieur du Niger. Bien que cette méthode ne s'applique pas à la totalité des oiseaux ou ne prenne pas en compte toutes les contraintes indiquées ci-dessus, elle constitue un moyen systématique d'établir une corrélation entre ces données et la disponibilité de l'habitat.

9.2.1 Oiseaux d'eau nicheurs

Oiseaux d'eau coloniaux

Les colonies nicheuses de grands échassiers dans le Delta Intérieur vivent dans les forêts inondables d'*Acacia kirkii* dont les cimes impénétrables et les grandes épines leur offrent une excellente protection contre les prédateurs, en particulier, avec l'étendue d'eau en dessous. Au cours des dernières décennies, l'on a observé la présence de 13 à 17 espèces de grands échassiers nicheurs au nombre des colonies vivant dans les forêts d'inondation (Tableau 9.1). En outre, il existe trois autres espèces coloniales d'oiseaux aquatiques. La première – la Guifette moustac (*Chlidonias hybridus*) – qui est considérée comme un oiseau non nicheur en Afrique de l'Ouest par Borrow & Demey (2001), vit dans la zone du Debo depuis 1991 en colonies éparpillées (200 à 250 paires). Deuxièmement, il existe une petite colonie de Sternes naines (*Sterna albifrons* – van der Kamp et al. 2002c). Enfin, la Cigogne d'Abdim (*Ciconia abdimii*) niche en petites colonies dans les arbres dans certains villages à la périphérie du Delta Intérieur du Niger.

Le Tableau 9.1 présente les estimations du nombre de paires nicheuses de grands échassiers dans le Delta Intérieur du Niger. Ils vivent sous forme de deux grandes colonies dans les forêts inondées d'Akkagoun

Tableau 9.1. Nombre estimatif des couples nicheurs de grands oiseaux coloniaux dans le Delta Intérieur du Niger pendant quatre périodes au cours des dernières décennies. Les estimations de 1986-87 reposent sur les travaux de Skinner *et al.* (1987). Les chiffres pour 1994-96 ne concernent que Dentaka; cependant, cette forêt abrite la majeure partie de la population du Delta Intérieur du Niger. Source: van der Kamp *et al.* (2002c) complétés par les estimations provisoires récentes. + = nidification confirmée, mais les chiffres ne sont pas connus, ? = données insuffisantes pour des estimations fiables.

Espèces		1986/1987	1994-96	1999/2001	2004/2005
Héron garde-bœufs	<i>Bubulcus ibis</i>	63000 – 65000	65000 – 90000	50000 – 60000	50000
Cormoran africain	<i>Phalacrocorax africanus</i>	17000 – 17500	16000 – 17000	18000 – 20000	19000
Grande aigrette	<i>Egretta alba</i>	2800 – 3100	500 – 1000	1500 – 1800	700
Aigrette garzette blanche	<i>Egretta garzetta</i>	900 – 1000	500 – 1000	500 – 1000	1500
Aigrette garzette noire	<i>Egretta garzetta</i>	80 – 110	+	80	50
Aigrette intermédiaire	<i>Egretta intermedia</i>	800 – 875	>200	1700	200 – 300?
Crabier chevalu	<i>Ardeola ralloides</i>	550 – 650	+	500	500
Aigrette ardoisée	<i>Egretta ardesiaca</i>	200 – 250	150	130	<50
Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>	1 – 10	100 – 300	1 – 10	<10
Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	10 – 15	30 – 50	0	0
Héron mélanocéphale	<i>Ardea melanocephala</i>	10	1 – 5	2	<5
Héron pourpré	<i>Ardea purpurea</i>	0	2 – 10	0	0
Anhinga d'Afrique	<i>Anhinga rufa</i>	40 – 45	15 – 30	250 – 300	150
Ibis sacré	<i>Threskiornis aethiopica</i>	30 – 40	50	200 – 250	<50?
Ibis falcinelle	<i>Plegadis falcinellus</i>	0	150	0	0
Spatule d'Afrique	<i>Platalea alba</i>	300 – 350	50	100 – 150	100 – 150
Bec-ouvert africain	<i>Anastomus lamelligerus</i>	30 – 40	0 – 1	0	0

et Dentaka, dans la partie centrale du Delta Intérieur du Niger, autour du lac Debo (Fig. 9.3; van der Kamp *et al.* 2002c). Depuis 1987, ces colonies sont en train d'être protégées, grâce à l'initiative de l'UICN, en collaboration avec les populations locales (UICN 1989, Beintema *et al.* 2002). En dépit de cette protection, on enregistre des perturbations, voire une exploitation, fréquentes, en particulier à Akkagoun. Outre Akkagoun et Dentaka, seuls quelques fragments éparpillés de forêts existent dans la zone (Fig. 9.3), bien que par le passé (1940-1950), celle-ci comptait plus de 20 forêts abritant des colonies nicheuses (Skinner *et al.* 1987). Ces fragments servent, à présent, de sites de repos indispensables pour les échassiers non nicheurs et immatures, ce qui leur permet d'exploiter l'ensemble du Delta Intérieur du Niger. De même, ces sites sont très importants en tant que milieu propice à la régénération potentielle des forêts (Beintema *et al.* 2002).

Les grandes colonies nicheuses d'oiseaux d'eau afrotropicaux sont très rares en Afrique de l'Ouest. Les colonies dans le Delta Intérieur du Niger figurent parmi les plus importantes de la région. La colonie dans la forêt de Dentaka est peut-être de loin la plus importante en

Afrique de l'Ouest, voire en Afrique (voir Turner 2000). Selon Hafner (2002), les colonies exceptionnellement importantes semblent indiquer qu'il existe une pénurie d'aires de repos, ce qui, dans le cas du Delta Intérieur du Niger, est corroboré par la disparition des forêts (Fig. 9.3) et le léger recul de la taille des populations (Tableau 9.1).

Afin d'évaluer l'importance ornithologique d'une région pour les oiseaux d'eau, il est possible de recourir aux critères de la Convention de Ramsar sur les zones humides importantes au plan international. Lorsqu'une zone héberge régulièrement plus de 1% de la population d'une espèce, elle est considérée comme une zone d'importance internationale (www.ramsar.org). Par rapport au critère de 1%, pour ce qui concerne la population totale (Tableau 9.2), le Héron garde-bœufs, le Cormoran africain (*Phalacrocorax africanus*), la grande Aigrette (*Casmerodius alba*), l'Aigrette intermédiaire (*Egretta intermedia*) et la petite Aigrette (*Egretta garzetta*) dépassent largement la norme. S'agissant du Cormoran africain et du Héron garde-bœufs, la population des individus nichant dans le Delta Intérieur du Niger représente une grande partie des espèces nicheuses dans

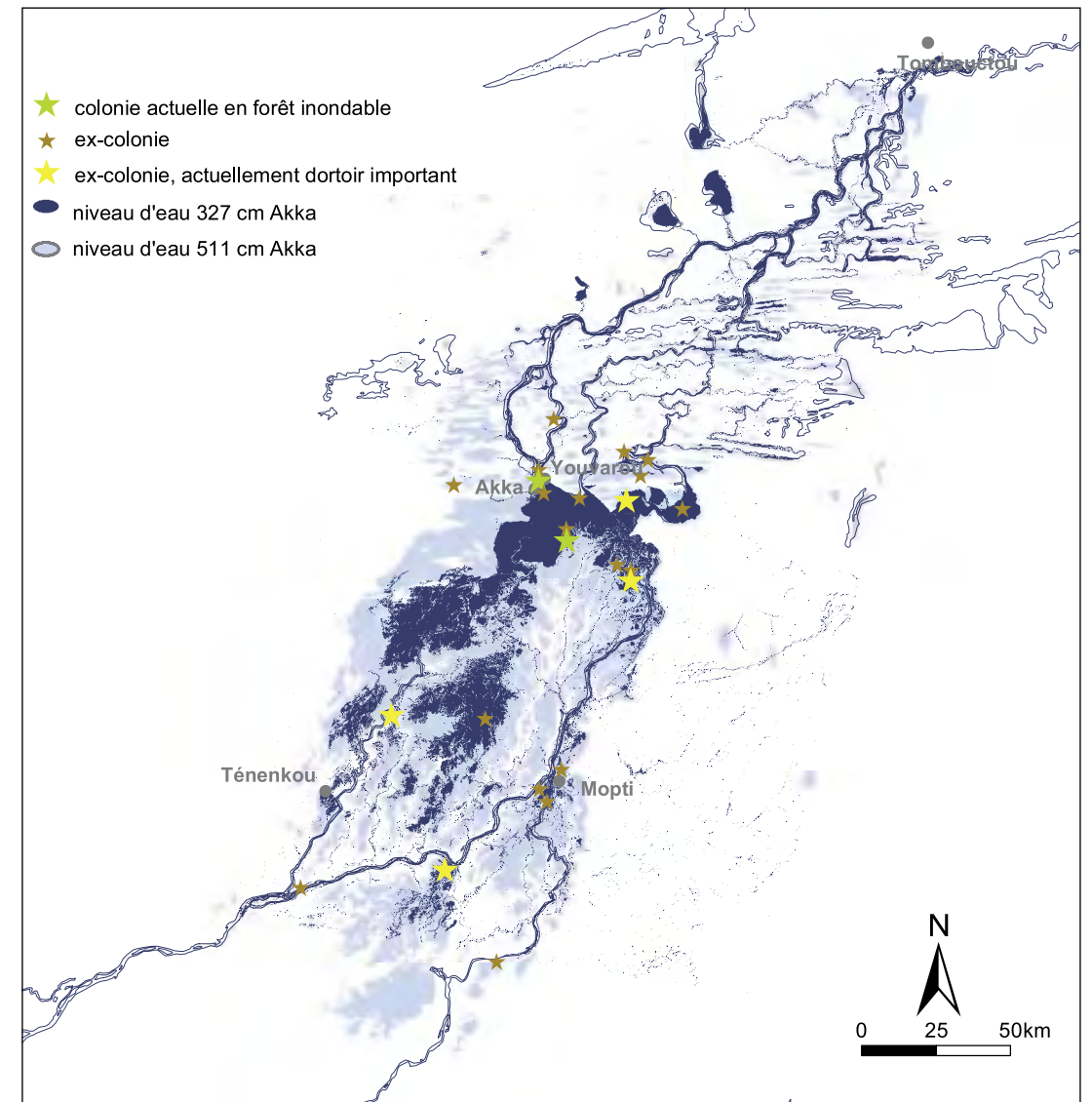


Fig. 9.3. Localisation des forêts d'inondées et des colonies nicheuses dans le Delta Intérieur en 2000-04. A l'heure actuelle, il existe deux colonies nicheuses importantes dans les forêts d'inondation (protégées) de Akkagoun et Dentaka, tandis que les autres (fragments) de forêts d'inondation (resp. Pora, Niasso, Gourao, Bouna) sont des sites de repos importants pour les cormorans, les hérons et les ibis (adultes non reproducteurs, juvéniles). Les anciens sites abritant des colonies sont également indiqués (selon Skinner *et al.* 1987).

les plaines inondables du Sahel. Les colonies dans le Delta Intérieur du Niger revêtent, par conséquent, une importance capitale au plan international. Le fait que le Delta Intérieur du Niger ne renferme plus que deux grandes forêts inondées confère un caractère d'urgence à la régénération de la forêt. De nos jours, Wetlands International et l'UICN s'attachent à relever ce défi dans le cadre d'une initiative conjointe.

Autres oiseaux d'eau nicheurs importants

Une large gamme d'autres oiseaux aquatiques afrotropicaux nichent dans le Delta Intérieur – nous n'en mentionnerons que les espèces les plus importantes. Pour la liste exhaustive, voir Lamarche (1981) et Wymenga *et al.* (2002). Pour nombre d'oiseaux d'eau, autres que ceux qui vivent en colonie, les informations sur la reproduction sont rares. Par exemple, bien que des espèces telles que le Dendrocygne veuf (*Dendrocygna viduata*), l'Oie-armée de Gambie (*Plectropterus gambensis*) et l'Anserelle naine (*Nettion auritus*) soient censées se reproduire dans le Delta Intérieur du Niger, aucune donnée fiable n'est disponible à cet égard. En saison sèche, des populations relativement importantes de ces oiseaux se concentrent dans le complexe du Debo, mais il ne fait point de doute que les oiseaux nicheurs d'une zone plus vaste du Sahel sont concernés. Au moins, en ce qui concerne l'Oie-armée de Gambie, le Delta Intérieur du Niger semble constituer une région très importante, la population totale dépassant de 9 fois le critère de 1% pendant l'étiage, au mois de juin (voir Tableau 9.3).

Au nombre des autres groupes d'oiseaux d'eau qui comptent plusieurs espèces nicheuses dans le Delta Intérieur du Niger figurent les Poules d'eau et les Jacanas – notamment la Gallinule africaine (*Gallinula angulata*), la Talève d'Allen (*Porphyrio alleni*), la Talève sultane (*Porphyrio porphyrio*), le Jacana africain (*Actophilornis africana*), le Jacana à poitrine dorée (*Microparra capensis*) – et les Echassiers, par exemple l'Oedicnème du Sénégal (*Burhinus senegalensis*), le Pluvier fluvial (*Pluvianus aegyptius*), le Vanneau à éperons (*Vanellus spinosus*) et le Pluvier fluvial (*Charadrius pecuarius*). L'on ignore l'importance relative de ces populations dans le Delta Intérieur du Niger. La Grue couronnée (*Balearica pavonina*), une espèce, très vulnérable, continue de nicher dans la région de Toguéré-Koumbé. Il s'agit d'une population modeste de 25 paires au maximum. De même, dans le Delta Intérieur du Niger, cette espèce fait l'objet de persécution, dans la mesure où les juvéniles



Grue couronnée

sont capturés et vendus comme oiseaux de compagnie (Koné & Fofana 2001).

Outre les oiseaux d'eau au sens strict du terme, l'on rencontre dans le Delta Intérieur du Niger plusieurs espèces de zones humides africaines typiques, notamment certains oiseaux de proie tels que le Pygargue vocifer (*Haliaeetus vocifer*), l'Elanion blanc (*Elanus caeruleus*), le Hibou du Cap (*Asio capensis*) et le Pied Kingfisher (*Ceryle rudis*). Au nombre des Passereaux qui méritent d'être mentionnés figurent l'Euplecte vorabé (*Euplectes afer* – oiseau typique fréquent dans les zones humides) et le Red-shouldered Widowbird (*Euplectes axillaris*).

9.2.2 Oiseaux d'eau en transit et migrateurs

En tant que l'une des principales plaines inondables du Sahel, le Delta Intérieur du Niger tient lieu de zone de transit et d'alimentation capitale pour les oiseaux d'eau afrotropicaux et les espèces migratrices paléarctiques au cours de l'année, ces dernières séjournant dans la zone pendant la période inter-nuptiale. Cette fonction s'étend à toutes les parties du Delta Intérieur du Niger où il existe de l'eau (peu profonde) ou des conditions humides. Les informations quantitatives sur la dynamique des oiseaux d'eau en transit sont disponibles pour la partie centrale du Delta Intérieur du Niger. Dans la présente section, nous nous attacherons à définir clairement la fonction de cette zone importante et à démontrer à quel point les populations d'oiseaux d'eau sont tributaires du niveau d'eau. À l'aide du recensement fondé sur les densités, nous entendons mettre en évidence également l'importance relative de plusieurs principaux habitats dans le Delta Intérieur du Niger. L'ensemble de ces résultats permettra d'expliquer l'importance internationale du Delta Intérieur du Niger.

Dynamique des oiseaux d'eau dans la zone du Debo

L'évolution des populations d'oiseaux d'eau dans la zone du lac central – le complexe du Debo – indique que les oiseaux d'eau afrotropicaux et paléarctiques obéissent à des tendances cycliques, bien que celles-ci ne soient pas synchronisées (Fig. 9.4). La taille de la population de ces oiseaux d'eau paléarctiques atteint un niveau de pointe distinct tout juste avant le départ vers les sites de reproduction au Nord. Après la période nuptiale boréale, il existe une légère pointe en août. Mais, pendant la période de pointe des crues, les oiseaux d'eau paléarctiques deviennent rares dans la partie centrale du Delta Intérieur du Niger, par rapport aux nombres maxima, en février et mars. Il en est de même pour les oiseaux d'eau afrotropicaux dont les tendances dans la partie centrale du Delta Intérieur du Niger sont liées au cycle des crues.

De toute évidence, ces tendances sont liées au cycle des crues, tel qu'il ressort du calcul de la densité des oiseaux en transit par rapport à la superficie inondée (Fig. 9.5). Lorsque les niveaux d'eau sont élevés, la faible présence des oiseaux d'eau en transit s'explique

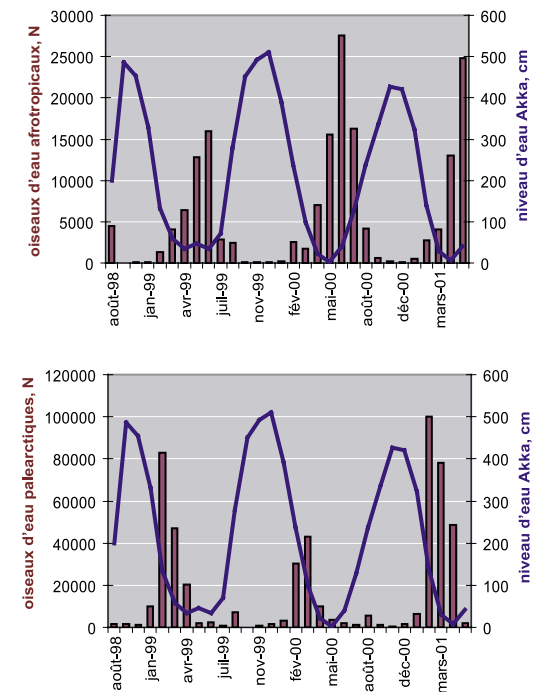


Fig. 9.4. Nombre d'oiseaux d'eau paléarctiques (A) et afrotropicaux (B) au sens strict du terme dans la partie centrale du Delta Intérieur du Niger (lac Debo, Walado-Debo, lac Korientzé) d'août 1998 à mai 2001 (van der Kamp *et al.* 2002b). Le cycle des crues est également présenté dans les deux diagrammes. Les données relatives aux oiseaux d'eau dont les populations sont mixtes ne sont pas prises en considération (voir Tableau 9.3).

tout simplement par la profondeur de l'eau (pouvant atteindre 4 à 5 m), qui est inadaptée pour l'alimentation et le repos. Par exemple, la Sterne caspienne (*Sterna caspia*) apparaît dans le complexe du Debo dès que le niveau d'eau à Akka tombe en deçà de 300 cm, c'est-à-dire lorsque les premiers bancs de sable émergent de l'eau, sur lesquels elles peuvent se reposer lorsqu'elles ne se nourrissent pas.

Le fait que les oiseaux d'eau issus d'une zone plus vaste se concentrent dans le complexe du Debo pendant la décrue tient également à la corrélation entre les populations d'oiseaux d'eau et les niveaux de crue. Cette concentration s'explique par la réduction de la

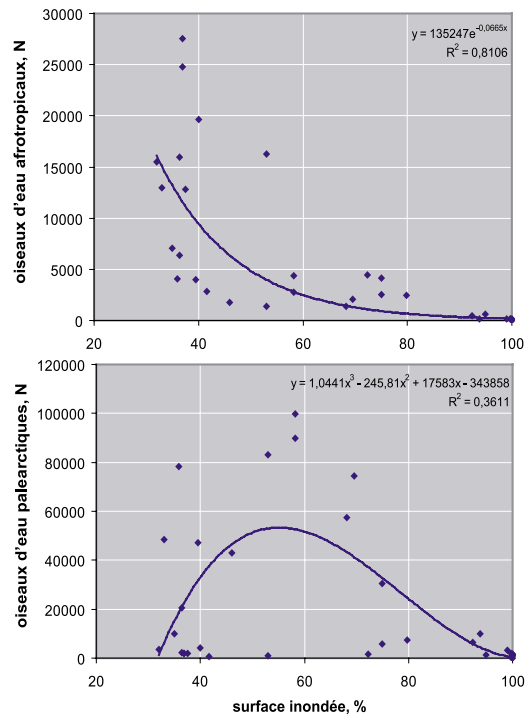


Fig. 9.5. Nombre d'oiseaux d'eau dans la partie centrale du Delta Intérieur du Niger (voir Appendice 8 pour les délimitations) en fonction du pourcentage de la superficie inondée. Cette zone attire de nombreux oiseaux d'eau lorsque le niveau d'eau est inférieur à 200 cm à Akka; le nombre d'oiseaux d'eau afrotropicaux est le plus élevé pendant l'étiage, lorsque le reste du Delta Intérieur du Niger est, pour ainsi dire, sec. La plupart des oiseaux d'eau paléarctiques ont déjà migré vers les sites de reproduction.

superficie des habitats humides dans le Delta Intérieur du Niger lorsque le niveau d'eau est faible. Bien que le complexe du Debo ne représente qu'environ 2% de la superficie totale de la plaine inondable, il concentre 70% de toute l'eau du Delta Intérieur du Niger, à un niveau d'eau de 0 cm, et en renferme encore environ 20%, tant que le niveau d'eau est inférieur à 300 cm (Fig. 9.6). Le fait qu'il soit situé dans une zone de dépression du Delta Intérieur justifie également la présence de la plupart des oiseaux d'eau dans les lacs centraux lorsqu'il existe peu ou pas d'eau: lorsqu'il n'existe plus suffisamment d'eau dans les lacs centraux, il n'existe guère d'eau

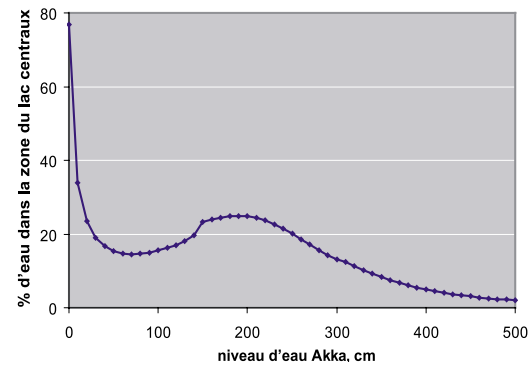


Fig. 9.6. Proportion (%) de la superficie inondée du Delta Intérieur du Niger dans la partie centrale du Delta Intérieur en fonction du niveau d'eau à Akka. Voir Appendice 8 pour la délimitation de la zone.

ailleurs dans le Delta Intérieur du Niger, hormis les eaux stagnantes dans quelques lacs permanents (cf. Fig. 3.5). Étant donné que les populations d'oiseaux d'eau sont plus ou moins stables à des niveaux d'eau inférieurs à 200 cm (échelle d'Akka), ceci indique que tous les oiseaux d'eau des parties méridionale et centrale du Delta se concentrent dans ces zones.

Cependant, la disponibilité de l'eau ne semble pas constituer l'unique raison pour laquelle le complexe du Debo attire tant d'oiseaux d'eau. Bien que la présence des oiseaux d'eau afrotropicaux soit étroitement liée à l'évolution de la superficie inondée (Fig. 9.5A), la tendance est différente pour les oiseaux aquatiques paléarctiques. Ils ont déjà tendance à se concentrer dans cette zone – essentiellement lorsque les niveaux d'eau sont inférieurs à 200 cm – lorsque les oiseaux d'eau afrotropicaux sont encore dans d'autres zones humides du Delta Intérieur du Niger, voire dans une zone plus vaste (Fig. 9.6).

Une explication logique serait que les conditions d'alimentation dans la zone sont au-delà de la moyenne, dans la mesure où il existe, en général, une forte corrélation entre la présence des oiseaux d'eau dans les zones humides et la disponibilité de ressources alimentaires exploitables (cf. Zwarts 1996, van Eerden 1997). Afin de vérifier s'il en est de même pour les lacs centraux, il est nécessaire de disposer d'informations sur la distribution relative des ressources alimentaires dans le Delta Intérieur du Niger, et leur exploitabilité par les

oiseaux d'eau. Malheureusement, ces informations ne sont pas disponibles.

Cependant, on peut déduire des travaux de Zwarts et al. (2002) que le complexe du Debo abonde en ressources alimentaires, en particulier, en faune benthique. Celle-ci comprend essentiellement deux espèces de bivalves (*Corbicula fluminalis*, *Caelatura aegyptica*) et une d'escargot (*Cleopatra bulinoides*). Zwarts et al. ont démontré qu'il existe une forte corrélation entre la biomasse de ces bivalves et la durée de la crue, et que la biomasse la plus élevée se rencontre en dessous d'une hauteur de 200 cm par rapport à l'échelle d'Akka. La faune benthique constitue une ressource alimentaire essentielle pour les Echassiers, Ibis et autres oiseaux d'eau (Zwarts et al. 2002). Dès que les bancs de sable situés en basse altitude autour des lacs sont exposés, les bivalves et les escargots sont consommés en masse ou meurent lorsque le niveau de la crue baisse. Ceci signifie qu'une population importante de faune benthique ne peut survivre que lorsqu'une partie de la population survit à la décrue et à l'étiage dans les cours d'eau permanents, et la durée de la crue permet de recoloniser les rives basses après la crue. Il ressort clairement des cartes hydrographiques à la Fig. 3.5 que dans le Delta Intérieur du Niger, le complexe du Debo, qui est situé dans une dépression, constitue l'unique zone importante où ce phénomène se produit.

Il existe moins d'informations concernant les autres ressources alimentaires importantes – notamment le poisson. Pendant la décrue, les poissons se retirent de la plaine inondable, vers le lit du fleuve (Bénech et al. 1994). De toute évidence, ceci donne lieu à des densités ichtyologiques élevées dans le reste des cours d'eau, qui sont alors exploités de façon intensive par les pêcheurs (Chapitre 5) et attirent également d'importantes concentrations d'oiseaux. Dans la section suivante, nous nous attachons à démontrer également que la présence du bourgou en eau peu profond – en tant qu'aire d'alimentation importante pour les oiseaux – constitue un élément essentiel de la fonction du complexe du Debo.

Densités d'oiseaux d'eau dans les différents types de végétation

L'analyse précédente donne un aperçu du rôle du complexe du Debo dans le Delta Intérieur du Niger. Toutefois, elle ne donne pas une indication claire concernant le reste du Delta Intérieur du Niger ni au sujet de la présence d'espèces éparpillées qui vivent

dans les milieux couverts d'une végétation abondante. Par conséquent, depuis 2002, les recensements basés sur la densité ont été institués, c'est-à-dire le recensement de tous les oiseaux d'eau au niveau de petites parcelles-échantillons dont la superficie est connue. Jusqu'en 2004, 613 parcelles avaient fait l'objet d'échantillonnage; celles-ci n'ont pas été choisies de façon randomisée, mais de façon stratifiée, en fonction la présence des habitats. L'Appendice 8 présente les détails techniques et les résultats par espèce (voir également Van der Kamp et al. 2005). Dans la présente section, nous utilisons les données afin d'analyser l'importance relative et l'utilisation des principaux types d'habitat pour les oiseaux d'eau.

Les oiseaux d'eau sont inégalement répartis dans le Delta Intérieur du Niger. Nous avons déjà démontré que le complexe du Debo attire de nombreux oiseaux d'eau. Mais, dans d'autres parties du Delta Intérieur du Niger, les oiseaux préfèrent un certain type d'habitat à un autre. Bien que les facteurs qui expliquent cet état de choses tiennent peut-être aux conditions d'alimentation, dans la présente étude, nous ne quantifions que les différences dans le cadre de la première étape de l'analyse de la répartition des oiseaux d'eau. Sur la base des résultats indiqués au Chapitre 6, les types de végétation ont été répartis en 14 catégories pour lesquelles les densités des oiseaux d'eau ont été évaluées, puis fusionnées en 6 types d'habitats.

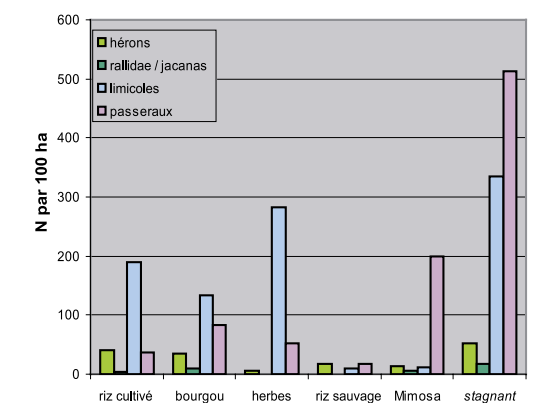


Fig. 9.7. Densité moyenne (n par 100 ha) de groupes d'oiseaux d'eau dans les principaux types de végétation du Delta Intérieur du Niger. Voir Appendice 8 pour les détails.

La Fig. 9.7 présente la densité moyenne de quatre groupes d'oiseaux d'eau. Il semble que la densité générale est très élevée dans les habitats où l'eau est stagnante (dans certains lacs septentrionaux), tandis qu'elle est très faible dans les champs de riz sauvage. D'une manière générale, les Echassiers et les Passereaux atteignent les densités les plus élevées. S'agissant des Passereaux, en particulier, la Bergeronnette printanière paléarctique (*Motacilla flava*) et le Phragmite des joncs (*Acrocephalus schoenobaenus*) représentent une part substantielle de ces densités élevées (Appendice 8). Cependant, la densité moyenne par habitat ne fournit pas suffisamment d'enseignements, dans la mesure où la variation des densités d'oiseaux d'eau est importante et s'explique essentiellement par la profondeur d'eau dans les parcelles.

La profondeur dans chacune des parcelles a été mesurée sur une base régulière et les données obtenues permettent de calculer les densités moyennes des oiseaux d'eau par intervalle de profondeur d'eau pour chaque type d'habitat (Appendice 8). A titre d'exemple, à la Fig. 9.8, ces données sont présentées pour le riz cultivé et les pâturages de bourgou, respectivement. De toute évidence, les habitats secs et en eaux profondes sont les moins attrayants, tandis que ceux qui présentent des conditions humides et ceux situés en eau peu profonde enregistrent les densités les plus élevées. En outre, la situation diffère nettement entre les champs de riz cultivé et les pâturages de bourgou. Dans les premiers, les conditions humides attirent une forte densité d'oiseaux, ce qui s'explique essentiellement par la présence des Hérons garde-bœufs (*Bubulcus ibis*) et des Combattants variés (*Philomachus pugnax*) tous deux en quête de nourriture. Dans les pâturages de bourgou, les eaux peu profondes sont plus attrayantes. En particulier, les champs de bourgou situés dans des eaux d'une profondeur de 40 à 80 cm est fréquenté par les Hérons. Ceux-ci peuvent se nourrir dans ces habitats, car ils peuvent marcher sur les tiges flottantes. Le bourgou se développe plus que le riz sauvage par exemple, mais les opportunités d'alimentation dépendent également de la densité de la végétation et du poids des espèces concernées. Par exemple, le Crabier chevelu (*Ardeola ralloides*) commence déjà à se nourrir dans les pâturages de bourgou à une profondeur d'eau de 80 cm, tandis que la Grande Aigrette (*Egretta alba*) y arrive lorsque l'eau est moins profonde.

A l'aide du modèle d'inondation présenté au Chapitre

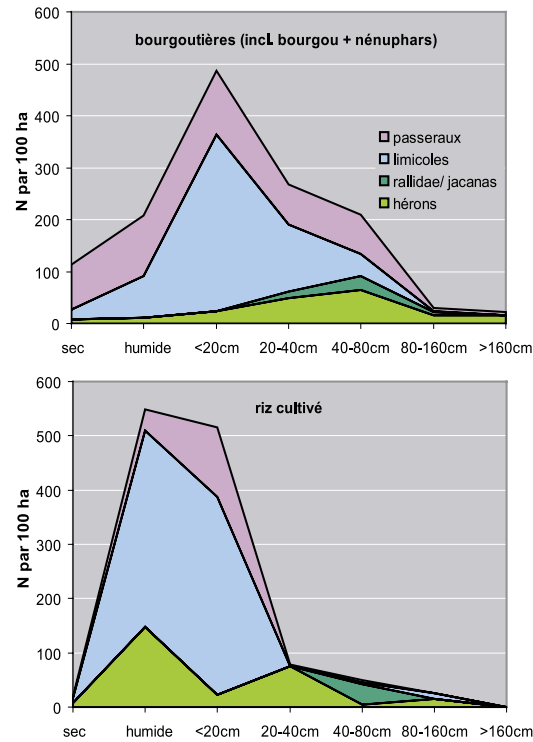


Fig. 9.8. Densité moyenne (N par 100 ha) des groupes d'oiseaux aquatiques à six différents intervalles de profondeur d'eau dans les champs de bourgou et de riz cultivé dans le Delta Intérieur du Niger. Voir Appendice 8 pour les détails.

3, nous pouvons étudier la répartition des combinaisons d'habitats et de profondeurs d'eau propices à différents niveaux de crue. A l'Appendice 8, la répartition des profondeurs d'eau – intervalle par type d'habitat – a été déterminée pour cinq niveaux de crue différents. Etant donné que le riz de submersion est cultivé à des niveaux relativement élevés dans la zone d'inondation, les tiges de riz se dessèchent déjà lorsque le niveau de crue est de 250 cm (Akka). Il s'ensuit que ces rizières ne sont pas attrayantes pour les oiseaux d'eau. Dans le même temps, une part importante des pâturages de bourgou et de riz sauvage demeure humide ou l'eau y est peu profonde. De la Fig. 9.7, il ressort que les densités des oiseaux d'eau dans les champs de riz sauvage sont généralement faibles. Par conséquent, à des niveaux peu élevés (< 250 cm), les champs de bourgou en eau peu

Tableau 9.2. Effectifs moyennes de Hérons et d'échassiers recensés au niveau des lacs Debo, Walado Debo et Korientzé entre novembre et mars, calculées sur une période de plus de quatre années (460 km², 1998-99 jusqu'en 2001-02) et réparties entre cinq niveaux de crue (Akka, cm). Les chiffres du recensement sont comparés aux estimations tirées des parcelles-échantillons. Les deux dernières lignes indiquent le ratio chiffres du recensement/chiffres tirés de l'échantillonnage. Les données résumées sont tirées du Tableau A8.4.

Niveau d'eau (cm)	50	150	250	350	450	Moyenne
Hérons et aigrettes						
Effectif compté	22.177	19.673	13.136	6.858	1.821	12.733
Basé sur échantillons	24.749	41.673	28.574	42.619	17.054	30.934
Limicoles						
Effectif compté	56.803	47.757	24.092	6.265	192	27.022
Basé sur échantillons	97.831	285.366	49.312	38.579	2.433	94.704
Hérons: ratio	0,90	0,47	0,46	0,16	0,11	0,41
Limicoles: ratio	0,58	0,17	0,49	0,16	0,08	0,29

profonde et les zones herbeuses humides et basses constituent des aires d'alimentation optimales pour les oiseaux d'eau (voir Tableau A8.2). Ceci tient, sans aucun doute, aux conditions d'alimentation favorables: la faune benthique abondante dans les zones herbeuses et peut-être la densité ichtyologique élevée dans les pâturages de bourgou en eau peu profonde. En gardant à l'esprit le fait que lorsque les niveaux de crue sont faibles (< 200 cm), l'on ne rencontre les pâturages de bourgou et les zones herbeuses très basses qu'à la périphérie des lacs centraux (Chapitre 6) et que les types de végétation d'eau stagnante sont limités à certains lacs septentrionaux, il apparaît encore plus clairement que le complexe du Debo joue un rôle primordial pour les oiseaux d'eau dans le Delta Intérieur du Niger.

Une question importante concerne la manière dont les oiseaux d'eau réagissent à la baisse de la disponibilité des habitats adaptés (= humides) pendant la décrue. En principe les densités des oiseaux d'eau devraient s'accroître, pour autant qu'aucune population importante d'oiseaux ne quitte la zone. Malheureusement, à ce jour, la taille de l'échantillon était trop faible. En guise de solution de rechange, afin de vérifier si ces densités augmentent, à l'Appendice 8, une comparaison est établie entre le nombre d'oiseaux comptés dans la zone de recensement du Debo (460 km²) et les estimations sur la base du recensement dans les parcelles. Le Tableau 9.2 donne un aperçu des chiffres pour les Echassiers et les Hérons. Il va sans dire qu'il existe (beaucoup) plus

d'oiseaux dans la région, lorsque les niveaux de crue baissent, au regard tant des chiffres réels découlant des recensements que de ceux fondés sur les parcelles-échantillons. Etant donné que nous avons utilisé, aux fins des estimations, les mêmes densités pour tous les niveaux de crue, l'on pourrait conclure que les densités des oiseaux d'eau augmentent effectivement lorsque le nombre des habitats de zones humides disponibles diminue. La variation du ratio chiffres du recensement effectif/estimations au Tableau 9.2 montre qu'il existe encore une différence importante entre les deux et que davantage de données sont nécessaires pour parvenir à des estimations solides.

Importance internationale du Delta Intérieur du Niger sur le plan ornithologique

Des recensements mensuels effectués au cours de la période 1998-2001 et un suivi supplémentaire assuré pendant les moments cruciaux de l'année nous ont permis de nous faire une idée de l'importance ornithologique des lacs de la partie centrale du Delta Intérieur du Niger. En outre, nous savons, à présent, que les oiseaux d'eau qui se rassemblent dans cette zone lorsque les niveaux d'eau baissent représentent la majeure partie de l'ensemble des oiseaux d'eau présents dans les parties méridionale et centrale du Delta.

Le Tableau 9.3 présente les tailles maximales des populations d'une sélection d'oiseaux d'eau dans le Delta Intérieur du Niger, ainsi qu'une évaluation de

Tableau 9.3. Populations maximales d'une sélection d'oiseaux d'eau au niveau des lacs Debo, Walado-Debo et lac Korientzé, dans la partie centrale du Delta Intérieur du Niger, au cours de la période 1998-2004. Les chiffres pour le Cormoran africain et l'Anhinga d'Afrique découlent des recensements effectués au niveau des aires de repos. Source: van der Kamp et al. (2002b, 2005). Les chiffres sont comparés au critère de 1% tel que présenté par Delaney & Scott (2002, pour l'Aigrette alba/intermedia et *Philomachus pugnax*: Fishpool & Evans 2001, *Circus aeruginosus*: Hagemeyer & Blair 1997). La dernière colonne présente la population biogéographique sur laquelle reposent ces critères: Af = Afrique; Subsah = Afrique subsaharienne; Eur = Europe; MerN = Mer noire; Med = Méditerranée; n = Nord; e = Est; s = Sud; o = Ouest; c = Centre. En cas de doute, deux populations et critères sont indiqués.

Espèce	critère-1%	Max. 1998-2004	x critère-1%	Réfère à
<i>Pelecanus onocrotalus</i>	600	4300	7,2	Af-o
<i>Phalacrocorax africanus</i>	1.000	55867	55,9	Af-o/c
<i>Anhinga rufa</i>	250	641	2,6	Af-o/c
<i>Ardea cinerea</i>	2.200 - 2.700	5663	2,6 - 2,1	Eur - Méd-e/MerN
<i>Ardea purpurea</i>	(120) - 2.200	4171	(34,8) - 1,9	(Eur) - Méd-e/MerN
<i>Egretta alba</i>	3.000	5534	1,8	Subsah
<i>Egretta alba / intermedia</i>	1.500	6178	4,1	Subsah
<i>Egretta ardesiaca</i>	1.000	390	0,4	Subsah
<i>Egretta intermedia</i>	1.000	1501	1,5	Subsah
<i>Egretta garzetta</i>	3.500	10915	3,1	Subsah
<i>Ardeola ralloides</i>	3.000	1663	0,6	Subsah
<i>Nycticorax nycticorax</i>	1.200	4620	3,9	Eur-e/Méd-e/MerN
<i>Mycteria ibis</i>	750	210	0,3	Subsah
<i>Leptoptilos crumeniferus</i>	2.000	380	0,2	Subsah
<i>Threskiornis aethiopica</i>	3.300	1037	0,3	Subsah
<i>Plegadis falcinellus</i>	530	10651	20,1	MerN/Eur-so
<i>Platalea alba</i>	1.000	893	0,9	Subsah
<i>Plectropterus gambensis</i>	1.000	11457	11,5	Af-o
<i>Alopochen aegyptiacus</i>	180	590	3,3	Af-o
<i>Nettion auritus</i>	100	101	1,0	Af-o
<i>Balearica pavonina</i>	150	32	0,2	Af-o
<i>Porphyrio porphyrio</i>	1.000	673	0,7	Subsah
<i>Himantopus himantopus</i>	770	2998	3,9	Eur-o/so
<i>Phuvianus aegyptius</i>	350	753	2,2	Af-o
<i>Glareola pratincola</i>	190 - 240	18310	96,4 - 76,3	Eur-so/Af-n - Eur-se/MerN
<i>Glareola cinerea</i>	100	11	0,1	Haut fleuve Niger, Mali
<i>Vanellus spinosus</i>	4.000	5732	1,4	Subsah
<i>Charadrius hiaticula</i>	2.100	4696	2,2	Eur-ne/Russie
<i>Charadrius pecuarius</i>	350	13676	39,1	Af-o
<i>Charadrius marginatus</i>	130	791	6,1	Af-o
<i>Limosa limosa</i>	1.700	26852	15,8	Eur-o
<i>Tringa erythropus</i>	1.000	4557	4,6	Sibérie-o
<i>Tringa nebularia</i>	3.100	2513	0,8	Eur-n
<i>Gallinago media*</i>	350	135	0,4	Scandinavie
<i>Calidris minuta</i>	2.000	31802	15,9	Eur-n/Russie-no
<i>Calidris ferruginea</i>	7.400	3754	0,5	Sibérie-o
<i>Philomachus pugnax</i>	10.000	47281	4,7	Af-o
<i>Chlidonias hybridus</i>	260	3600	13,8	Eur-o/Méd-o/Af-no
<i>Chlidonias leucopterus</i>	20000	4009	0,2	Eur-c/e
<i>Gelochelidon nilotica</i>	130 - 270	3759	28,9 - 13,9	Eur-o/Af-o - Eur-e/MerN
<i>Sterna caspia</i>	65	3334	51,3	Eur
<i>Sterna albifrons</i>	340	345	1,0	Eur-o/Af-no
<i>Circus aeruginosus</i>	450	231	0,5	Eur

celles-ci par rapport au critère de 1% pour les zones humides d'importance internationale (Convention de Ramsar; Delaney & Scott 2002). Au minimum 28 espèces dépassent ce critère, tandis que pour 10 espèces, plus de 10% de la population peut être présentes dans cette zone. Pour certaines espèces, notamment le Cormoran africain (*Phalacrocorax africanus*), l'Ibis falcinelle (*Plegadis falcinellus*), le Pluvier pâtre (*Charadrius pecuarius*), la Sterne hansel (*Sterna nilotica*) et la Sterne caspienne (*Sterna caspia*), cette partie du Delta tient lieu de zone clé pour une majeure partie de la population. De même, le Héron pourpré (*Ardea purpurea*) et la Glaréole à collier (*Glareola pratincola*) s'y concentrent en grand nombre, mais on ne sait pas quel critère appliquer; peut-être que, pour ces espèces, il existe une population mixte d'origine paléarctique et africaine. Tel qu'il ressort du Tableau 9.3, le complexe du Debo revêt une importance internationale primordiale pour de nombreuses espèces d'oiseaux d'eau.

Afin d'avoir une idée de la population totale des espèces d'oiseaux d'eau du Delta Intérieur du Niger, telle qu'indiquée à l'Appendice 8, les densités moyennes des oiseaux d'eau sont calculées en tenant compte du modèle de crue (Chapitre 3) et de la carte de la végétation (Chapitre 6). Bien que la taille limitée de l'échantillon (Tableau A8.3, voir détails à l'Appendice 8) rende encore difficile une estimation précise des populations par espèce, il est probable que le Delta Intérieur du Niger abrite 3 à 4 millions d'oiseaux d'eau comprenant un certain nombre de Passereaux vivant essentiellement dans les zones humides. En dépit de ces lacunes, l'analyse montre que le Delta

Intérieur du Niger revêt une importance capitale pour certaines espèces qui sont largement sous-estimées dans le cadre des activités de suivi régulier. Ceci s'applique, en particulier, aux espèces très répandues, notamment le Chevalier sylvain (*Tringa glareola*), la Bergeronnette printanière (*Motacilla flava*) et le Phragmite des joncs (*Acrocephalus schoenobaenus*).

Lorsque l'on prend en compte l'importance ornithologique du Delta Intérieur du Niger, outre les valeurs susmentionnées, il convient de garder à l'esprit les remarques ci-après.

- Outre le complexe du Debo, le Delta Intérieur du Niger comporte plusieurs zones de fortes concentrations d'oiseaux d'eau (Girard & Thal 1999-2001, van der Kamp et al. 2002b). Fondamentalement, ces zones – en particulier la plaine de Séri et les lacs du Nord – contiennent de l'eau lorsque les niveaux de crue sont faibles. Cependant, les zones méridionales peuvent également enregistrer de fortes concentrations d'oiseaux, en particulier en période de pointe des crues. Par exemple, van der Kamp et al. (2002c) ont recensé 10 500 Bihoreaux gris perchés dans ce qui reste de la forêt de Pora et Koumbé-Niasso. En particulier, les lacs septentrionaux sont importants pour les oiseaux d'eau à la fin de la décrue du fait de la rétention d'eau (lac Horo et lac Télé). Bien que nous n'ayons effectué que des recensements sur terre, le Tableau 9.4 indique clairement que cette région compte des populations d'oiseaux d'eau d'importance internationale. Ceci concerne les espèces qui sont moins nombreuses dans les parties méridionale et centrale du Delta Intérieur du Niger: le

Tableau 9.4. Populations maximales d'une sélection d'oiseaux d'eau au niveau des lacs Télé, Fati et Horo au début de mars 2003. Ces données sont comparées au critère de 1%; pour de plus amples détails, voir Tableau 9.3. Soit noté le nombre de Fuligules nyrocas (*Aythya nyroca*) qui constitue une espèce menacée selon la liste des oiseaux menacés dans le monde (Birdlife International 2000).

Espèce	critère-1%	N Mars 2003	x critère-1%	réfère à
<i>Nycticorax nycticorax</i>	1.200	600	0,5	Eur-e/Méd-e/MerN
<i>Plegadis falcinellus</i>	530	750	1,4	MerN/Eur-so
<i>Dendrocygna viduata</i>	3.800	4.000	1,1	Af-o/c
<i>Plectropterus gambensis</i>	1.000	1.300	1,3	Af-o
<i>Anas querquedula</i>	20.000	8.500	0,4	(Eur) - Méd-e/MerN
<i>Aythya nyroca</i>	530	1.600	3,0	Subsah
<i>Gallinula chloropus</i>	10.000	2.265	0,2	Subsah
<i>Chlidonias leucopterus</i>	20.000	2.760	0,1	Eur-c/e

Dendrocygne veuf (*Dendrocygna viduata*), le Canard souchet (*Anas clypeata*), la Fuligule nyroca (*Aythya nyroca*) et la Poule d'eau (*Gallinula chloropus*). Cette dernière – une population afrotropicale – tire parti de la végétation aquatique abondante qui se développe après la rétention d'eau. Les lacs septentrionaux du Delta Intérieur constituent une zone de passage essentielle pour le Fuligule nyroca, une espèce menacée, pour lequel une population maximale de plus de 14 000 individus a été recensée en 2001 (Trolliet 2003).

- Les enquêtes aériennes de Girard & Thal (1999-2001), qui couvraient l'ensemble du Delta, sont fiables pour les oiseaux relativement grands et facilement reconnaissables. Ces recensements ont révélé d'importantes populations de Sarcelles d'été (*Anas querquedula*), de Dendrocygnes veufs et de Combattants variés (*Philomachus pugnax*). Il s'agit de centaines de milliers d'oiseaux apparemment éparpillés à travers le Delta Intérieur du Niger. En particulier, lorsque le niveau des crues est faible, le Delta Intérieur sert de lieu de refuge pour une grande partie des oiseaux d'eau qui fréquentent le Sahel. Par exemple, en 1987 – une année de faible niveau de crue extrême – les enquêtes aériennes de l'UICN (1987) ont révélé la présence de près de 900 000 Sarcelles d'été et de 180 000 Combattants variés.
- Le Delta est un lieu de stationnement important pour plusieurs espèces rares. Pour de plus amples informations concernant le recensement exhaustif, veuillez vous référer à Van der Kamp et al. (2002). Il y a lieu de mentionner la Grue couronnée (*Balearica pavonina*), le Fuligule nyroca, le Busard pâle (*Circus macrourus*) et la Bécassine double (*Gallinago media*), qui sont toutes des espèces menacées ou vulnérables, selon la liste des oiseaux menacés de Birdlife International 2000. Au moins, les effectifs de Fuligules nyrocas pourraient revêtir une importance capitale pour la préservation de cette espèce (Trolliet 2003).

9.3 Facteurs déterminants de la taille des populations d'oiseaux d'eau

D'une manière générale, la taille d'une population des oiseaux d'eau est déterminée par la mortalité et la natalité. Ces deux facteurs clés sont fonction de différentes conditions environnementales. La mortalité des oiseaux adultes constitue un facteur clé de la taille de la population pour de nombreux oiseaux d'eau, tel que démontré, par exemple, par Hitchcock & Gratto-Trevor (1997). Par conséquent, les conditions environnementales dans le Delta Intérieur du Niger pourraient avoir un lien avec la taille de la population des oiseaux d'eau, dépendant dans une large mesure de cette zone (voir Tableau 9.3). Dans la présente section, nous présentons cette relation en établissant un lien entre la variation de la taille de la population et les niveaux de crue maxima, ces dernières étant utilisées comme indicateur général des conditions d'alimentation. Tout d'abord, nous abordons cette question sous l'angle du recrutement (cer-

tains exemples d'oiseaux afrotropicaux), puis sous celui de la mortalité (exemples des oiseaux paléarctiques).

Recrutement par rapport aux niveaux maxima

La réussite de la reproduction d'une espèce dépend, non seulement de la disponibilité de sites de nidification (une condition vitale pour les oiseaux d'eau coloniaux), mais en particulier de la qualité des aires d'alimentation environnantes. Par conséquent, il semble possible que la réussite de la reproduction des oiseaux qui nichent dans le Delta Intérieur du Niger soit influencée par la superficie de la zone inondée. Ces conditions humides dépendent non seulement du niveau de crue maximal, mais également de l'abondance des pluies, dans la mesure où les années de forte crue coïncident avec des hauteurs de pluies plus élevées (Fig. 2.6). Il est possible d'utiliser les données relatives à certaines espèces afrotropicales pour établir cette corrélation. L'une de ces espèces est l'Oie-armée de Gambie, dont l'évolution de la taille de la population dans le complexe du Debo en juin est effectivement liée à la superficie de la zone inondée pendant la crue précédente (Fig. 9.9). Cependant, cette corrélation est indirecte et nous ne disposons d'aucune information sur la réussite de la reproduction ni l'ampleur de l'immigration à partir d'une région plus vaste. Par ailleurs, l'on peut établir



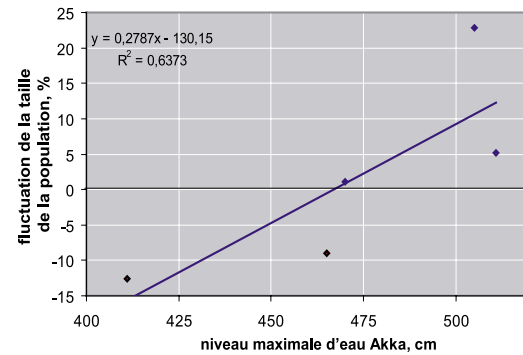


Fig. 9.9. Nombre d'Oies-armées de Gambie (*Plectropterus gambensis*) dans la partie centrale du Delta Intérieur du Niger au mois de juin, par rapport à la crue maximum pendant la précédente inondation, présenté comme changement de la taille de la population (%). Données relatives à la période 1998-2004.

une corrélation directe en ce qui concerne le Pluvier pâtre. La Fig. 9.10 donne une idée de la reproduction annuelle de cette espèce en fonction de la superficie inondée au cours de la période de reproduction précédente. Au moins pour cette espèce, le taux de natalité est déterminé, de toute évidence, par les niveaux de crue et les hauteurs de pluies précédentes.

Il est possible qu'il existe des corrélations similaires pour les oiseaux d'eau coloniaux (voir Hafner & Fasola 1992). Malheureusement, les données présentées au Tableau 9.1 ne sont pas adaptées pour une telle analyse. Cependant, nous pouvons utiliser les données des recensements de sites de dortoir des Anhingas d'Afrique exécutés pendant différentes années entre janvier et février, directement après la saison de reproduction, qui révèlent ainsi la performance en matière de reproduction pour l'année concernée. Il existe, en effet, une corrélation entre l'évolution annuelle de la taille de la population de l'Anhinga d'Afrique et la superficie de la zone inondée (Fig. 9.11). L'année 2004 constitue un cas particulier, probablement à cause des perturbations importantes au sein de la colonie nicheuse, qui se sont traduites par une faible natalité et à la réduction de la population. Les colonies nicheuses du Delta Intérieur du Niger font l'objet de perturbations ou d'exploitation fréquentes. Scholte (en préparation) montre comment la protection de la colonie a joué un rôle déterminant

dans la reconstitution des populations de Hérons mélanocéphales (*Ardea melanocephala*) dans la plaine inondable partiellement réhabilitée du Waza-Logone. Dans le Delta Intérieur du Niger, le nombre limité des sites de reproduction et la perturbation de ces sites pourraient avoir un impact significatif sur la taille de

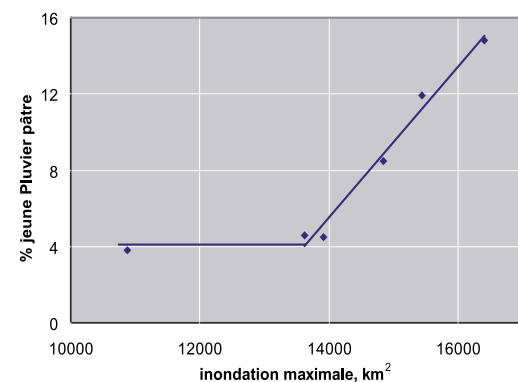


Fig. 9.10. Pourcentage des oiseaux juvéniles – concentrations du Pluvier pâtre (*Charadrius pecuarius*) dans le complexe du Debo au mois de juin, par rapport à la crue maximum pendant la période de reproduction précédente. Données relatives à la période 1999-2004.

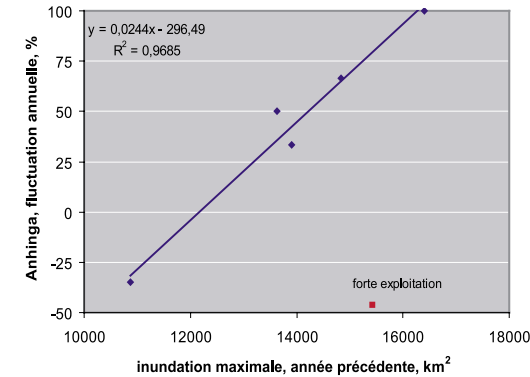


Fig. 9.11. Evolution annuelle de la taille de la population totale de l'Anhinga d'Afrique (*Anhinga rufa*) piscivore dans la partie centrale du Delta Intérieur du Niger en fonction de la superficie inondée maximale pendant la crue pertinente. Les données concernent les crues de 1986-87, 1994-95, 1998-99 à 2003-04.



la population des oiseaux d'eau coloniaux et, partant masquer une corrélation directe avec les niveaux de crue (conditions d'alimentation).

Corrélation entre mortalité et crue maximum

Dans les circonstances naturelles, la mortalité au sein d'une population se produit essentiellement en dehors de la zone de reproduction. En d'autres termes, dans le Sahel, en saison sèche et chaude, le taux de mortalité réel dépend de plusieurs facteurs. Mais, en général, les conditions d'alimentation – disponibilité et exploitabilité de la nourriture – jouent un rôle majeur. En outre, dans certains cas, la mortalité directe joue également un rôle par le truchement de l'exploitation intensive.

A supposer que les conditions d'alimentation dans le Sahel soient liées à la hauteur des pluies et au niveau de crue (maximum), l'on peut s'attendre à ce que les sécheresses dans le Sahel entraînent une mortalité élevée. En effet, pour un certain nombre d'espèces migratrices paléarctiques, l'on a relevé une corrélation entre les précipitations dans le Sahel, les niveaux de crue et les tendances de la population dans les milieux de reproduction européens. Au nombre des exemples figurent le Héron pourpré (den Held 1981, Cavé 1983), l'Hirondelle de rivage (*Riparia riparia* – Szép 1995) et plusieurs Passereaux (voir Wammes et al. 1993). En

particulier, les sécheresses qui ont frappé le Sahel au cours des années 70 et 80 ont entraîné une baisse notable de la taille de la population de certaines espèces d'oiseaux européens migrants, bien que certaines de ces espèces aient été reconstituées depuis (voir Peach et al. 1991 pour *Acrocephalus schoenobaenus*, Marchant 1992 pour les migrants transsahariens, Baillie & Peach 1992 pour *Sylvia communis*).

Il est prévu de procéder à une analyse approfondie des données sur les plaines inondables du Sahel dans le cadre d'une étude en cours sur la corrélation entre la pluviométrie dans le Sahel, le débit du fleuve et les tendances en ce qui concerne les populations d'oiseaux d'eau migrants. Dans le présent rapport, nous nous limiterons aux données recueillies dans le Delta Intérieur du Niger pour lequel des données à long terme ne sont disponibles que pour quelques espèces. La Sterne caspienne figure au nombre des espèces d'oiseaux d'eau migrants que l'on rencontre en nombre relativement important (>50% de la population connue, voir Tableau 9.3) dans le Delta Intérieur du Niger, à l'heure actuelle. Il s'agit essentiellement de la population nicheuse nord-européenne, tel qu'il ressort de la récupération des oiseaux d'eau bagués (Staav 2001, Wymenga et al. 2002). La Fig. 9.12 présente une représentation graphique de l'évolution annuelle de la population hivernale au niveau du complexe du Debo par rapport au niveau de

crue maximal. Une corrélation est établie, bien que les données dont nous disposons sur les niveaux de crue inférieurs soient insuffisantes. Cette corrélation indique, néanmoins, une mortalité plus élevée lorsque le niveau de crue est faible.

Hormis les conditions d'alimentation, cette augmentation de la mortalité pourrait s'expliquer également par l'intensification de l'exploitation, d'où



faibles niveaux de crue obligent les oiseaux d'eau à se concentrer dans les quelques endroits restants du Delta Intérieur du Niger. En ces lieux, ils sont confrontés à une concurrence serrée avec l'homme pour les mêmes ressources alimentaires (en particulier le poisson) et ils s'exposent aux risques accrus d'être capturés. Par conséquent, les niveaux de crue faibles rendent les oiseaux d'eau plus vulnérables à l'exploitation humaine.

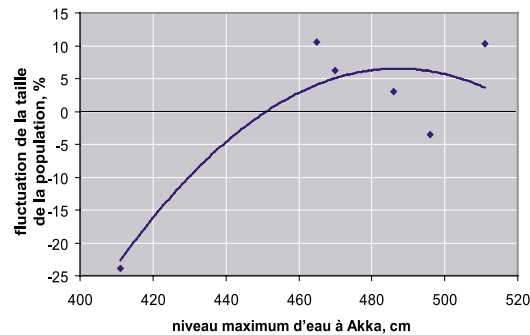


Fig. 9.12. Evolution annuelle de la taille de la population pour la Sterne caspienne piscivore (*Sterna caspia*) au niveau du complexe du Debo, en fonction du niveau de crue maximal pendant la crue de pointe. Les données concernent les périodes 1986-87, 1994-95 et 1998/99 -à 2003/04.

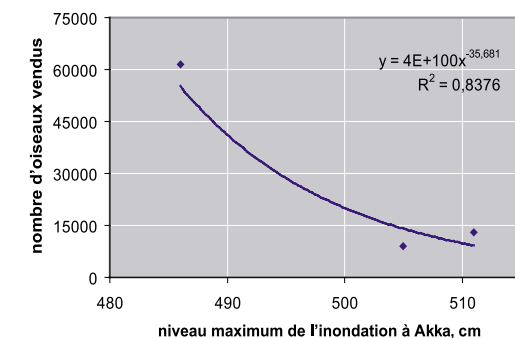


Fig. 9.13. Nombre d'oiseaux d'eau vendus sur les principaux marchés de la partie centrale du Delta Intérieur du Niger pendant trois saisons de décrue (1998-99, 1999-2000, 2003-04) représenté par rapport au niveau de crue maximal. Il convient de souligner que le chiffre pour le cas où le niveau de crue est de 505 cm (2003-04) est trop faible, en raison du nombre limité des marchés qui pouvaient être visités.

une mortalité directe due à la capture. Lorsque le niveau des crues est faible, la superficie de la zone inondée est limitée. Par conséquent, ces endroits sont exploités de façon intensive par les pêcheurs locaux. En outre, les oiseaux sont contraints de s'y concentrer, dans la mesure où ces lieux sont les seuls où ils peuvent encore se nourrir. Ceci donne lieu à des densités plus élevées, voire parfois de fortes concentrations, tel qu'indiqué à la section précédente. D'habitude, les oiseaux sont capturés à la ligne et à l'aide de filets (Koné et al. 2002) – la capture à la ligne concerne en particulier les Sternes caspiennes. Les oiseaux sont capturés soit pour l'autoconsommation soit pour la vente sur le marché. L'offre commerciale a fait l'objet d'une enquête pendant trois saisons de décrue au cours de la période 1998-2004. Lorsqu'on compare ces chiffres au niveau de crue maximal au cours de la même année, il semble exister un rapport entre le faible niveau de crue les niveaux d'exploitation plus élevés (Fig. 9.13). Ceci correspond à l'expérience des pêcheurs locaux et aux observations faites sur le marché de Mopti au cours des années pour lesquelles l'exploitation n'a pas été quantifiée (communication personnelle de Koné B., Wetlands International). Il y a lieu de conclure que les

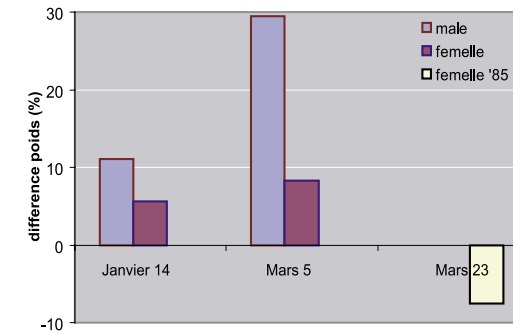


Fig. 9.14. Poids du Combattant varié (*Philomachus pugnax*) dans le Delta Intérieur du Niger en janvier 1989, mars 2001 et mars 1985, années de sécheresse record. Les poids sont exprimés en tant que différence proportionnelle par rapport au poids moyen correspondant, en vertu duquel le pourcentage constitue une indication du stockage de graisse (voir Zwarts et al. 1990).

La Fig. 9.14 présente une dernière illustration de la manière dont les faibles crues peuvent accroître la mortalité des oiseaux, en raison des mauvaises conditions d'alimentation. Il s'agit des Combattants variés qui se préparent pour la migration vers les zones de reproduction du Nord en février-mars. D'ordinaire, leur poids augmente considérablement au cours de la période de janvier à mars, du fait de l'engraissement. En mars 1985, l'une des années de grave sécheresse, l'on a observé la présence de plus de 10 000 combattants variés dans les plaines inondables sèches, voire dans les villages, à la recherche de nourriture (Altenburg et al. 1986). Un certain nombre de femelles ont été capturées et la Fig. 9.14 montre que leur poids était de loin inférieur au poids moyen (poids moyen = poids de base sans les graisses). Il est possible que ces oiseaux n'aient pu migrer et que la plupart d'entre eux soient morts dans ces conditions extrêmes. Cela signifie également que lorsque les niveaux de crue sont très faibles, il peut y avoir un léger décalage entre le moment de la migration des oiseaux d'eau paléarctiques et celui de l'engraissement avant la migration et de leur départ effectif, en raison de la réduction de la période au cours de laquelle les ressources alimentaires sont disponibles dans la zone du lac Debo. Ceci les rend vulnérables à la baisse des niveaux de crue, à l'instar d'autres migrateurs paléarctiques dans des conditions de stress similaires.

9.4 Autres valeurs écologiques importantes

Hormis l'avifaune riche du Delta Intérieur du Niger, la plaine inondable recèle également d'autres richesses écologiques importantes. D'une manière générale, il y a lieu de souligner que les habitats naturels de plaine inondable dont regorge la zone, notamment les bourgoutières, oryzaies et forêts d'inondation, revêtent une valeur écologique majeure. Bien que les espèces de plantes dominantes ne soient pas menacées, leurs habitats sont soumis à des pressions dans d'autres plaines inondables sahéliennes, en raison d'obstacles hydrologiques tels que les barrages et les digues. Par exemple dans le Delta du Sénégal, les habitats naturels sont remplacés, dans une large mesure, par des habitats non naturels et sont envahis par les espèces envahissantes, notamment *Pistia stratiotes* et *Typha australis* (voir Peeters 2003).

Daget (1954), Lowe-McConnell (1985), Laë (2003) et Quensière (1994) ont déjà abordé de façon détaillée la question de la faune piscicole dans le bassin du Haut Niger. Dans toute cette zone, 130 espèces différentes ont été recensées, mais relativement peu d'espèces sont endémiques, étant donné que, par le passé, le fleuve Niger était relié aux systèmes du Tchad et du Nil à différents moments (Lowe-McConnell 1985). Au nombre des espèces endémiques de poissons connues figurent *Syndodontis gobroni* et un Cichlidé (*Gobiocichla wonderi*).

Reptiles

La vaste plaine inondable et le bassin du fleuve abrite des espèces telles que le Crocodile du Nil (*Crocodylus niloticus*), le Varan du Nil (*Varanus niloticus*) et le Python de Séba (*Python sebae*). Dans le Delta Intérieur du Niger, le Crocodile du Nil est menacé de disparition. Le Varan du Nil et le Python sont confrontés à une forte pression humaine (Wymenga 2002). Par rapport aux zones protégées dans le Delta du Sénégal, la densité des Varans du Nil dans le Delta Intérieur du Niger est faible (observations personnelles, voir Peeters 2003).

Mammifères

Il existe un mélange d'espèces sahéliennes dans le Delta Intérieur du Niger (Kingdon 1997). Les espèces de la savane sahélienne que l'on rencontre encore dans le Delta Intérieur du Niger sont les suivantes: le Phacochoère (*Phacochoerus africanus*), Zorille (*Ictonyx libyca*), Chacal à flancs rayé (*Canis adustus*), l'Erythrocebus (*Erythrocebus patas*), Renard pale (*Vulpes pallida*) et Chat ganté (*Felis silvestris*) (AMD 1999, Happold 1987, Wymenga et al. 2002). De nombreuses autres espèces mentionnées par Kingdon (1997) concernant cette région semblent avoir disparu, bien qu'aucune information précise sur leur situation ne soit disponible. Ces espèces, qui suscitent des préoccupations, notamment Loutre à joues blanches (*Aonyx capensis*), Loutre à cou tacheté (*Lutra maculicollis*), Civette d'Afrique (*Civettictus civetta*), le Caracal (*Felis caracal*), Serval (*Felis serval*), Hyène rayée (*Hyaena hyaena*) et Hyène tachetée (*Crocuta crocuta*). Aucune de ces espèces n'a été enregistrée pendant les activités de terrain (terrestres) intensifs effectuées de 1998 à 2004. Une population limitée d'Eléphants africains (*Loxodonta africana*) vit encore à l'est du Delta Intérieur du Niger. Ces animaux migrent entre le Burkina Faso et le Sud-Est du Mali (Shumway 1999).

D'autres espèces de mammifères vivent essentiellement dans les habitats humides du Delta Intérieur du Niger. Les Hippopotames (*Hippopotamus amphibius*) vivent dans les parties centrale et méridionale du Delta, leur population étant estimée à 40-60 individus (Wymenga et al. 2002). Il existe encore des Lamantins d'Afrique (*Trichechus senegalensis*), mais en nombre très limité. Les populations de gazelles ont été considérablement réduites par les sécheresses antérieures, le commerce de la viande de brousse et la concurrence avec le bétail herbivore. Par le passé, le Delta Intérieur recelait des Cob de Buffon (*Kobus kob kob*), mais cette espèce a disparu. Il semble en être de même pour la Rouanne (*Hippotragus equinus*), la Gazelle dorcas (*Gazella dorcas*) et la Gazelle de dama (*Gazella dama*). D'aucuns prétendent qu'il existe encore des populations limitées de Gazelles à front rouge (*Gazella rufifrons*) dans la zone. Toutefois, peu d'informations sont disponibles à cet égard (Wymenga 2002, Kingdon 1997).

D'une manière générale, l'on peut constater que les populations des espèces de grands mammifères et de reptiles ont été considérablement réduites par la pression humaine et le reste des populations est menacé de disparition. Comme c'est le cas pour les oiseaux d'eau, la baisse des niveaux de crue oblige

les mammifères et les reptiles vivant essentiellement dans les zones humides à se réfugier dans les quelques endroits humides restants pour assurer leur survie. Ceci les rend – en particulier les espèces tel que le lamantin d'Afrique – très vulnérables à l'exploitation.



Pyarque vocifer

9.5

Conclusions

L'évaluation des valeurs écologiques du Delta Intérieur du Niger et l'analyse de l'impact des différents niveaux de crue sur ces richesses peuvent se résumer comme suit:

- le Delta Intérieur du Niger est un haut lieu de la biodiversité qui recèle de riches populations de poissons et d'oiseaux d'eau, ainsi que de populations modestes d'autres espèces. Hormis les poissons et les oiseaux, l'exploitation humaine intense laisse peu de place aux grands mammifères africains et aux autres animaux sauvages terrestres et aquatiques;
- le Delta abrite deux des colonies nicheuses les plus importantes de Hérons et de Cormorans connues en Afrique, ainsi que de très fortes concentrations d'oiseaux d'eau paléarctiques et afrotropicaux en transit. Selon les recensements de densités d'oiseaux d'eau dans différents habitats, le Delta Intérieur abrite 3 à 4 millions d'oiseaux d'eau. Pour plusieurs espèces d'oiseaux d'eau, il revêt une importance capitale pour un pourcentage non négligeable de la population. Les conditions environnementales dans le Delta Intérieur du Niger constituent un facteur déterminant de la taille de cette population;
- les lacs situés dans la partie centrale du Delta Intérieur du Niger – complexe du Debo – apportent une contribution substantielle à la valeur ornithologique de cette zone. Non seulement cette zone de dépression offre des habitats humides et peu profonds en période de faible crue, lorsque la quasi-totalité du Delta est sec, mais elle présente également de bonnes conditions d'alimentation pour les oiseaux aquatiques sous forme de zone de gagnage sur bourgou en eau peu profonde et en zones décourtes à forte biomasse de faune benthique;
- le niveau de crue (maximal) dans le Delta Intérieur du Niger constitue un facteur déterminant du recrutement et de la mortalité de la population d'oiseaux d'eau afrotropicaux et paléarctiques;

- lorsque le niveau des crues est faible, les oiseaux d'eau et d'autres espèces, notamment les mammifères et reptiles aquatiques, sont contraints de se concentrer dans les quelques endroits humides restants dans le Delta Intérieur du Niger, ce qui donne lieu à des densités d'alimentation élevées et de fortes concentrations, ainsi qu'à une concurrence acharnée avec les populations locales. Cette situation expose les oiseaux



Combattant varié

aquatiques et les autres animaux à l'exploitation humaine. L'on peut conclure, que dans la situation actuelle, en particulier en période de faible crue, les valeurs écologiques du Delta Intérieur du Niger sont menacées.

10

RÉSERVOIR DE SÉLINGUÉ



Jan van der Kamp
Leo Zwarts
Bakary Kone

10.1 Introduction

La création du réservoir de Sélingué doit avoir eu, comme dans toutes les autres régions du monde où des lacs artificiels ont été créés, un impact considérable sur les populations locales. Suite à la construction du barrage de Sélingué, 13 500 personnes de 30 villages ont perdu leurs maisons, leurs aires de pâturage traditionnelles, leurs vergers et les terres sur lesquelles de nombreuses générations ont cultivé leur millet ou sorgho. Tout a été submergé par des mètres d'eau, y compris les sépultures de leurs ancêtres. Même si le Gouvernement consent une indemnisation financière, celle-ci suffit-elle pour les dédommager de ces pertes? En revanche, le réservoir a créée de nouvelles opportunités pour de meilleurs conditions de vie. Les populations de la vallée du Sankarani, affectées directement par la création du réservoir de Sélingué, ont été dédommagé et bénéficié, notamment, de la construction d'un système d'irrigation en guise de compensation.

Dans le présent chapitre, nous nous attacherons à dresser un profil concis du réservoir de Sélingué, ainsi que de son environnement et des populations riveraines. La zone et sa gestion font l'objet de la Section 10.2, les activités de pêche et agricoles de la Section 10.3 et les valeurs écologiques de la Section 10.4. le résumé est donné en Section 10.5.

10.2

La zone

Situation et emplacement

Le réservoir de Sélingué est situé dans la vallée du Sankarani, à 150 km au sud de Bamako, dans le cercle de Yanfolila, région de Sikasso (Fig. 10.1). Il a la forme d'une fourche, dans la mesure où le barrage a été construit en aval du lieu où le Wassoulou-Balé se jette dans

le Sankarani. La profondeur moyenne des eaux est de 5,3 m. Cependant, le niveau de l'eau dans le réservoir varie selon les saisons au cours de l'année, s'établissant tantôt à 3 m au-dessus, tantôt à 3 m en dessous de ce niveau moyen (Fig. 2.10 dans le Chapitre 2). Compte tenu de ces fluctuations saisonnières du niveau d'eau, l'étendue du plan d'eau varie également. Lorsque l'eau atteint son niveau maximum, la longueur du réservoir est de 80 km et sa largeur de 3 à 8 km. Les images satellite montrent clairement le changement constant de la forme du lac (Fig. 10.1).

Suite à sa création, le lac Sélingué, connu également sous le nom de lac Sélinkegny, a été géré par l'Autorité du barrage de Sélingué et, par la suite, par l'Office d'Exploitation des Ressources Hydrauliques

du Haut Niger (OERHN). En 1989, la production d'hydroélectricité a été transférée à l'énergie du Mali (EDM), mais pour le reste, l'OERHN demeure responsable. En 1994, celui-ci a été transformé en Office de Développement Rural de Sélingué (ODRS), un département du Ministère du Développement Rural. Les rapports annuels de l'ODRS contiennent une masse d'informations détaillées sur la pêche, l'agriculture, etc. Le présent chapitre repose, pour l'essentiel, sur cette source d'informations, ainsi que sur les travaux de Haïdara (2003) et de PAPIM/ODRS (2003).

Populations

La zone de Sélingué se prête à l'agriculture et à la pisciculture, dans la mesure où elle est située dans la ceinture du climat guinéen qui se caractérise par d'abondantes précipitations (1100 à 1200 mm) et regorge de cours d'eau. Depuis la construction du barrage de Sélingué, qui a donné naissance au lac Sélinkegny, les populations autochtones du Wassoulou, constituées à l'origine de Peuls, se sont accrues considérablement, avec l'installation de pêcheurs et de nouveaux riziculteurs dans la région. Même des pêcheurs de la région du Delta Intérieur du Niger ont migré vers le lac. Cependant, la création du nouveau réservoir a affecté la culture fruitière, l'une des principales activités économiques de la région, en inondant les plantations de mangue, de goyave et d'orange. L'ODRS (Office de développement rural de Sélingué) assure la coordination des activités agricoles de 15 villages au niveau de 1 600 parcelles, ainsi que de pêche menées par plus de 1 000 familles de pêcheurs (soit 8 900 personnes) réparties sur 72 campements.

Tel qu'il ressort des trois recensements nationaux effectués au Mali, la population du cercle de Yanfolila a crû, passant de 96 925 habitants à 123 535 habitants entre 1976 et 1987, ce qui représente un taux de croissance annuel de 2,5 %. Ce taux a crû davantage au cours des 11 années suivantes, dans la mesure où en 1998 le cercle comptait 163 798 âmes, soit un taux de croissance annuel de 2,96 % depuis 1987. Ce taux de croissance est légèrement supérieur à celui de la population du Mali en général, qui est de 2,43 %. Toutefois, étant donné que la population de Bamako croît au rythme de 5 % par an, le taux de croissance moyen de la population rurale est inférieur à 2,43 %. La croissance relativement rapide de la population à Yanfolila peut s'expliquer par l'immigration.

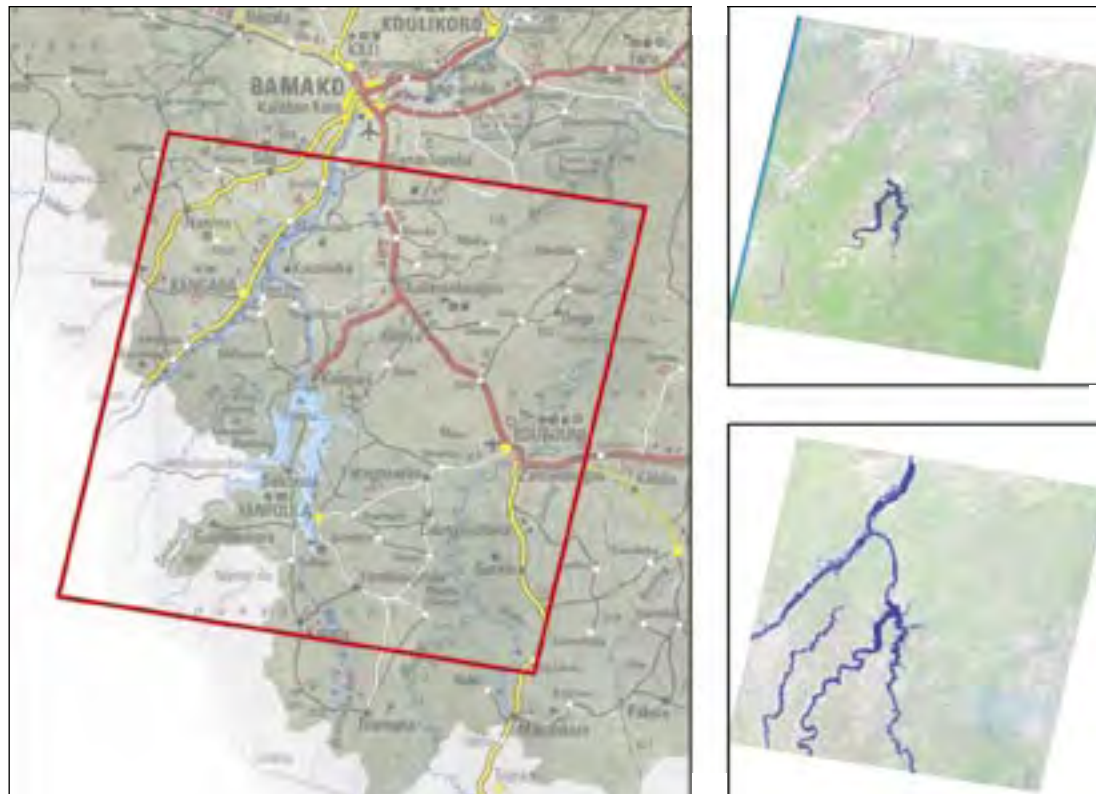


Fig. 10.1. Forme du lac Sélingué à un niveau d'eau de 343 m (en haut: image satellite du 5 juin 2000) et de 349 m (en bas: image du 12 septembre 2001). La zone couverte par l'image (180 x 180 km) est indiquée sur la carte (à gauche).



Paysage et habitats

Le barrage de Sélingué a été mis en service en 1980. Depuis, le paysage de la zone a subi de changements radicaux, passant d'une savane arborée à un vaste lac. Avant que le réservoir ne soit rempli d'eau, de nombreux arbres ont été abattus. Au total 268 800 m³ de bois ont été prélevés de la forêt. Le reste des arbres a été submergé et, après 25 ans, on peut toujours apercevoir de nombreux arbres morts qui émergent de l'eau dans les parties peu profondes du lac.

L'habitat du lac se caractérise par des niveaux d'eau en baisse de janvier à juin, les berges du lac se découvrant après cette période. De juillet à septembre, le lac se remplit de nouveau. De nombreux habitats herbeux se développent sur les sols argileux, sablonneux, voire caillouteux situés entre la zone boisée et la ligne des eaux, lorsque le niveau du lac baisse. Les zones marécageuses y sont, pour ainsi dire, inexistantes. En aval du barrage, quelques 1 500 ha principalement des champs de riz (sur 55 000 ha prévus) ont été aménagés en compensation des pertes de terres arables et de lieux de résidence subies par 30 villages et hameaux. Avec le lac et le fleuve Niger lui-même, les rizières irriguées constituent d'importants habitats humides dans la région.

10.3

Production

Production piscicole

La pêche dans les réservoirs constitue, partout à travers le monde, une importante source de revenus pour les populations locales, tant et si bien que dans de nombreux réservoirs, elle est poussée à l'extrême, jusqu'à la surexploitation (Crul & Roest 1995). Par ailleurs, les prises annuelles de poisson dans le lac Sélingué ont crû depuis le début, passant de 1 000-2 000 t à plus de 4 000 t ces dernières années (Fig. 10.2; Laë & Weigel 1995). Il est possible de se faire une idée de ce chiffre, dans la mesure où Laë & Lèveque (1999) établissent un rapport entre la production totale de poisson au niveau des différents lacs et réservoirs artificiels en Afrique, d'une part, et les superficies et volumes d'eau de ceux-ci, d'autre part. Comme l'on pouvait s'y attendre, ils sont parvenus à la conclusion que la production de poisson augmente en fonction de l'étendue et du volume de l'eau. Les prises de poisson au niveau du réservoir de Sélingué (4 000 t dans un lac de 400 km²) n'échappent pas à cette tendance.

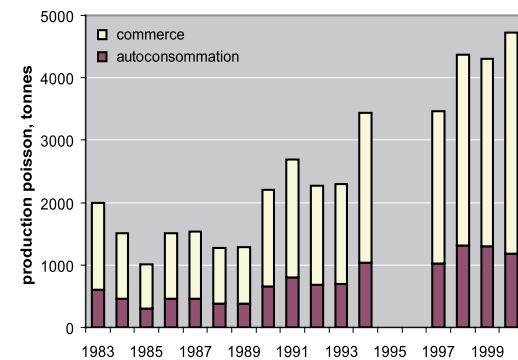


Fig. 10.2. Production annuelle de poisson au niveau du lac Sélingué répartie entre la quantité consommée par les pêcheurs et la quantité commercialisée. Source: rapports annuels de l'ODRS.

Les pêcheurs eux-mêmes consomment environ 30 % des poissons capturés, 70 % étant commercialisés. Contrairement à la situation dans le Delta Intérieur, la quantité de poisson séché au soleil ou fumé est limitée. La quasi-totalité du poisson commercialisé est acheminée à Bamako chaque jour par la route, ce qui permet de vendre le poisson fraîchement capturé sur le marché le même jour. Les pêcheurs du lac Sélingué sont pour la plupart originaires du Delta Intérieur du Niger. Ils ont amené avec eux non seulement leur savoir-faire, mais également les techniques de pêche traditionnelles. La pêche dans le lac Sélingué se fait essentiellement à l'aide de filets en nylon, aux lignes des hameçons et au moyen de verveux. L'augmentation du nombre de pêcheurs au niveau du lac Sélingué suscite de plus en plus de problèmes notamment ce qui concerne l'utilisation des techniques de pêche et l'exploitation des zones de pêche. Depuis un certain temps, une convention locale de pêche a été mise sur pied afin de résoudre ces problèmes.

Le lac Sélingué compte au total 86 espèces de poissons (Laë & Weigel 1995; rapports annuels de l'ODRS). La plupart de celles-ci appartiennent aux familles ci-après: les Bagridés (*Bagrus bayad*, *Chrysichthys nigrodigitati*, *Auchenoglanis occidentalis*), les Cichlidés (*Oreochromis niloticus*, *O. aureus*, *Tilapia zilli* et autres), les Ciprinidés (*Labeo senegalensis*), les Shibeidés (*Eutropius niloticus*), les Mochokidés (espèce *Synodontis*), les Citharinidés (*Citharinus*), les Characidés (*Brycinus leuisiscus*, *Alestes*

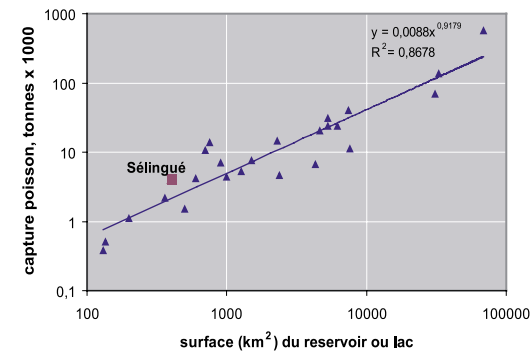


Fig. 10.3. Prises de poisson en fonction de la superficie des lacs et des réservoirs artificiels en Afrique. Source: Laë & Lèveque (1999).

dentex), les Centropomidés (*Gymnarchus niloticus*) et les Osteoglossidés (*Heterotis niloticus*). *Micralestes acutidens*, connu également sous le nom de miri au niveau local, est de petite taille, mais est encore abondant dans le lac. Les pêcheurs capturent essentiellement des l'espèce de *Tilapia* – 30 % et l'*Auchenoglanis occidentalis* – 15 %. La plupart de ces espèces existent ailleurs dans le fleuve Niger, ainsi que dans le Delta Intérieur du Niger, bien qu'à des endroits différents.

La différence la plus frappante entre le lac Sélingué et le Delta Intérieur réside dans la taille des poissons capturés. De nos jours, la quasi-totalité des poissons dans le Delta du Niger mesurent moins de 10-20 cm, tandis que les poissons de 30 cm et plus se font de plus en plus rares. Dans le lac Sélingué, la taille individuelle des *Lates niloticus* (Saalé en bambara), *Gymnarchus niloticus* (So dyege), *Heterotis niloticus* (Fana), *Citharinus citharus* (Tala) dépasse encore les 30 cm, comme c'était le cas justement dans le Delta Intérieur il y a 25 ans. Telle que décrite au Chapitre 5, l'intensification de la pêche dans le Delta Intérieur a eu pour effet de réduire le temps de survie des poissons, ce qui se traduit par le fait que la majorité des poissons capturés ont moins d'un an.

Les prises de poisson font l'objet de variations saisonnières considérables. Celles-ci sont plus faibles de novembre à février et plus importantes de mai à juillet (Fig. 10.4). L'explication la plus plausible de cette situation tient au fait que les poissons deviennent plus faciles à capturer de mai à juillet, car ils sont plus concentrés du fait du faible niveau des eaux. Toutefois, ceci est vrai lorsque tous les poissons (ou une partie de ceux-ci) sont retenus par le barrage et ne sortent pas du réservoir avec le courant de débordement. Lorsque le réservoir est complètement rempli à la fin de la crue, le volume des eaux est de 2,1 km³. Mais, quelques mois plus tard, la superficie est réduite de 70 % et le volume de 90 % même (Tableau 2.4; Annexe 2). Le volume des eaux était extrêmement faible en 1999. L'on pourrait penser que, dans une telle situation, les poissons étaient devenus très faciles à capturer. Mais, tel qu'il apparaît sur la Fig. 10.4, ce ne fut pas le cas. Au contraire, les prises maximales de poissons étaient inférieures à celles des autres années. Selon toute vraisemblance, la quantité totale de poisson encore disponible dans le réservoir a considérablement baissé lorsque le réservoir a été vidé.

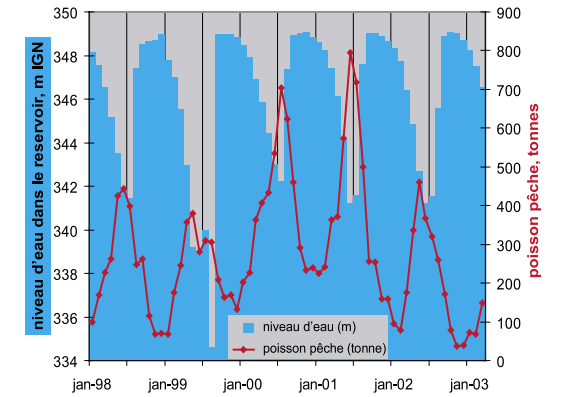


Fig. 10.4. Lac Sélingué – Variation mensuelle des prises de poissons entre janvier 1998 et mars 2003 en fonction des fluctuations du niveau d'eau (m, IGN). Source: rapports annuels de l'ODRS.

Bétail

Selon les rapports annuels de l'ODRS, 73 000 bovins et 54 000 ovins et caprins sont recensés dans le cercle de Yanfolila chaque année. Pendant la Grande Sécheresse, des zébus sont partis des régions de Ségou et de Koulikoro, ainsi que du cercle de Bougouni pour les environs du lac Sélingué. Ceci a non seulement conduit à une situation de surpâturage, mais a également entraîné une autre conséquence négative à long terme. La race bovine autochtone, N'Dama qui résiste à la trypanosomiase (maladie du sommeil), a été croisée avec les zébus pour donner une sous-espèce, le méré) moins résistante.

Suite à la création du réservoir, le bétail a perdu une partie de ses aires de pâturage. La zone irriguée nouvellement aménagée en aval du barrage n'a nullement été la solution au problème, dans la mesure où les agriculteurs de la zone pratiquent la double culture (hivernage et contre-saison) et sont hostiles à la pénétration des animaux sur leurs parcelles. La zone inondée pendant la baisse du niveau des eaux dans le réservoir sert de pâturage au bétail, mais cela pourrait ne pas compenser les pertes de pâturages imputables à la création du réservoir. Par conséquent, le réservoir de Sélingué ne comporte aucun avantage réel pour les éleveurs.



10.4 Valeurs écologiques

La création du lac Sélingué aurait entraîné la submersion de 1,8 million d'arbres. De volumineux troncs d'arbres morts émergent à la surface de l'eau et servent de perchoir à une large gamme d'espèces d'oiseaux, notamment le Cormoran africain (*Phalacrocorax africanus*), le Héron garde-bœufs (*Bubulcus ibis*), le Dendrocygne veuf (*Dendrocygna viduata*), le Pygargue vocifer (*Halio etus vocifer*) et le Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*). Tandis qu'avant la construction du barrage la zone humide se limitait au lit du fleuve, à présent, tant le lac que la zone rizicole irriguée constituent deux zones humides importantes. Ils jouent chacun un rôle écologique distinct.

Oiseaux d'eau nicheurs

Seuls quelques rares habitats de reproduction d'oiseaux d'eau existent dans la zone, généralement dans les rizières. Aucune colonie d'oiseaux nicheurs n'a été identifiée pendant les travaux de terrain exécutés au cours de la période 2002-04. Cependant, selon des pêcheurs, il existait des hérons nicheurs plus en amont du lac. En juin 2004, le couvert végétal le long du Sankarani, juste en aval du barrage, abritait plusieurs espèces de hérons blancs (100 à 200 oiseaux au total) et moins de 10 Bihoreaux gris (*Nycticorax nycticorax*), tandis que des Crabiers chevelus (*Ardeola ralloides*) arborant leur plumage d'été étaient supposés nicher dans la zone.

Oiseaux d'eau de passage

Des informations sur le lac sont disponibles pour les mois de décembre et février (van der Kamp *et al.* 2005). L'espèce dominante d'oiseau d'eau au niveau du lac, du point de vue du nombre, était le Dendrocygne veuf: cette espèce constituait 80-95 % du nombre total. Les chiffres établis ont augmenté entre décembre 2002 et février 2003, passant de 4 500 à 15 000 oiseaux. Une autre espèce que l'on rencontre fréquemment sur le lac est l'aigle pêcheur (Fig. 10.5). Leur nombre a doublé entre décembre et février, ce qui peut s'expliquer, en

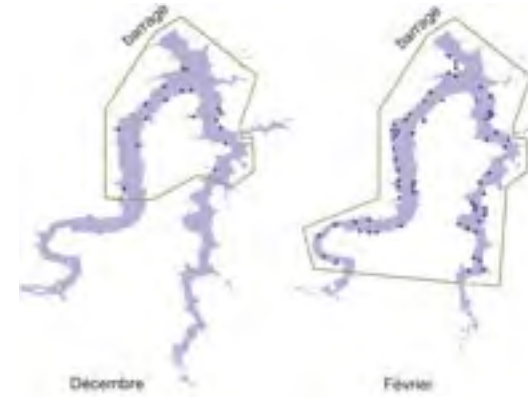


Fig. 10.5. Répartition des Balbuzard pêcheurs au niveau du lac Sélingué pendant la montée (décembre 2003) et la baisse (février 2004) des eaux. La ligne verte délimite la zone de recensement.

partie, par la baisse du niveau des eaux, ou par les premiers mouvements prémigratoires des oiseaux venus d'ailleurs. Le recensement effectué sur les berges en juin-juillet a révélé des nombres limités d'oiseaux, les espèces les plus répandues étant le Vanneau à éperons (*Vanellus spinosus*), le Pluvier fluviatile (*Pluvianus aegyptius*) et le Pluvier pâtre (*Charadrius pecuarius*). Les espèces rares et menacées au niveau local, bien qu'observées une fois par an, étaient le Vanneau à tête blanche (*Vanellus albiceps*) et la Glaréole grise (*Glaréola cinerea*). La nuit tombée, les arbres morts sur les berges du lac servaient de dortoir aux Cormorans africains (*Phalacrocorax africanus* – plusieurs centaines), aux Hérons garde-boeufs (1 500 à 2 000) et aux Milans noirs (*Milvus migrans*) (plus de 500).

Des données relatives à la densité de la population d'oiseaux ont été obtenues de la zone rizicole en aval du barrage (Tableau 10.1). Les densités totales sont quelque peu plus élevées que dans la zone d'irrigation de l'Office du Niger (Chapitre 11.4). En juillet, le Jacana à poitrine dorée (*Actophilornis africana*) était, avec le Vanneau à éperons, l'espèce la plus répandue. La deuxième espèce de limicoles la plus répandue pendant ce mois était la Rhynchée peinte (*Rostratula benghalensis*). Le périmètre irrigué de Sélingué sert de zone de transit aux espèces tels que le Héron garde-boeufs (*Bubulcus ibis*) et le Vanneau du Sénégal (*Vanellus senegallus*) en saison sèche. Le Chevalier sylvain (*Tringa glareola*), le Héron garde-boeufs et la Bergeronnette printanière (*Motacilla*



flava) étaient les espèces les plus nombreuses en février et représentaient l'essentiel de la densité totale de la population d'oiseaux (Tableau 10.1).

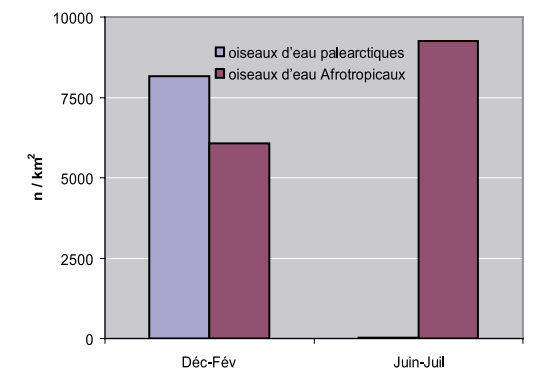


Fig. 10.6. Densité totale (n/km^2) des oiseaux d'eau paléarctiques et afrotropicaux vivant dans les zones humides des rizières irriguées situées à proximité de Sélingué (données de 2002-04). Au total, 431 parcelles ont été recensées. Il est à noter l'absence d'oiseaux d'eau paléarctiques pendant la saison des pluies (juin-juillet). Pour les détails et les méthodes, voir van der Kamp *et al.* (2005).

Riz

L'irrigation de 55 000 ha de terre est possible le long du fleuve Sankarani en amont et en aval du barrage de Sélingué. À ce jour, 1 350 ha ont été aménagés dont 900 ha sont cultivés chaque année. Cette superficie est utilisée pour la riziculture. Les agriculteurs ont deux saisons agricoles dans l'année, la première de janvier à juin correspondant à la contre-saison et la seconde de juillet à décembre, correspondant à l'hivernage. Ces dernières années, la production s'est élevée à 4,67-5,82 t par ha pendant la contre-saison et à 2,46-4,48 t par ha après l'hivernage. Ceci donne une production totale de 6 000-7 500 t de riz. Les rendements sont comparables à ceux enregistrés dans la zone irriguée de l'Office du Niger (Chapitre 11).

Il existe 1 600 agriculteurs qui louent 0,5 ha chacun. Par le passé, la superficie des parcelles était de 1 ha. Mais du fait de l'individualisation il est devenu préférable de louer des parcelles de taille plus modeste.

En termes d'importance internationale, le Dendrocygne veuf et le Vanneau du Sénégal respectent le critère établi d'au moins 1 % (voir également Chapitre 9) lorsque la zone rizicole et le lac sont pris ensemble. Le lac constitue également une importante aire d'hivernage pour le Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus* – la population étant estimée à 50-100 oiseaux). Par ailleurs, il convient de prendre en compte la présence de la Bécassine double, qui constitue une espèce menacée, en évaluant la valeur internationale de la zone.

Autres groupes fauniques

Il n'existe aucune information concernant les groupes fauniques autres que les oiseaux. Toutefois, selon les populations locales, la zone recèle une faune riche, notamment le Porc-épic à crête (*Hystrix cristata*), des

singes et de nombreuses espèces de gazelle. Cette assertion peut être sujette à caution, dans la mesure où la région du Wassoulou, dans laquelle se situe Sélingué, a une tradition de chasse. La zone abrite également des chauve-souris (*Chiroptera*) – de nombreuses espèces y ont été identifiées (voir Kingdon 1997). En juillet 2003, la présence d'hippopotames (*Hippopotamus amphibius*) a été corroborée par les empreintes observées sur la rive ouest du lac, près du barrage de Sélingué. Par ailleurs, les villageois ont confirmé l'apparition, de temps à autre, de deux de ces animaux dans la zone. La situation est peu claire quant à la présence du Lamantin d'Afrique (*Trichechus senegalensis*) dans le lac, dans la mesure où certaines personnes en conviennent, tandis que d'autres la nient.

Tableau 10.1. Densité moyenne par centaine d'hectares et populations estimatives des espèces d'oiseaux d'eau et d'autres espèces liées aux zones humides dans les rizières de la zone d'irrigation de l'Office du Niger en saison des pluies et en saison sèche au cours de la période 2002-04 (330 recensements en décembre et février, et 101 en juin et juillet). Pour les détails et les méthodes, voir van der Kamp *et al.* 2005, Appendice 8 du présent rapport. Les espèces courantes dont la densité est faible sont omises. 1 % crit. = critère de 1 % de la Convention Ramsar (voir Tableau 9.2); exc.= au-delà de 1 % crit.; n = aucun critère disponible.

Noms en Français	Noms en Latin	n par 100 ha		Estimation totale		critère 1%	Exc,
		Déc-Fév	Juin-Juil	Déc-Fév	Juin-Juil		
Cormoran africain	<i>Phalacrocorax africanus</i>	0	17,3	0	225	1000	
Héron pourpré	<i>Ardea purpurea</i>	0	1,6	0	21	120	
Aigrette intermédiaire	<i>Mesophyx intermedia</i>	28,2	2,8	367	36	1000	
Héron gardeebœufs	<i>Bubulcus ibis</i>	295,0	0	3835	0	n	
Crabier cheval	<i>Ardeola ralloides</i>	16,5	69,2	215	900	3000	
Héron vert	<i>Butorides striatus</i>	0	54,4	0	707	10000	
Ombrette du Sénégal	<i>Scopus umbretta</i>	10,9	0	142	0	10000	
Gallinule africaine	<i>Gallinula angulata</i>	0	12,7	0	165	n	
Jacana à poitrine dorée	<i>Actophilornis africana</i>	30,2	615,6	393	8003	n	
Jacana nain	<i>Microparra capensis</i>	0,6	29,4	8	382	1000	
Glaréole à collier	<i>Glareola pratincola</i>	9,2	0	120	0	240	
Rhynchée peinte	<i>Rostratula benghalensis</i>	0,7	69,7	9	906	n	
Vanneau à éperons	<i>Vanellus spinosus</i>	87,1	42,6	1132	554	4000	
Vanneau du Sénégal	<i>Vanellus senegallus</i>	119,1	16,0	1548	208	450	3,4
Vanneau à tête blanche	<i>Vanellus albiceps</i>	0	4,0	0	52	500	
Pluvier petit gravelot	<i>Charadrius dubius</i>	15,2	0	198	0	1000	
Pluvier de Forbes	<i>Charadrius forbesi</i>	8,7	0	113	0	1000	
Chevalier sylvain	<i>Tringa glareola</i>	397,1	0	5162	0	10400	
Bécassine double	<i>Gallinago media</i>	14,2	0	185	0	350	
Chevalier combattant	<i>Philomachus pugnax</i>	29,9	0	389	0	10000	
Bergeronnette printanière	<i>Motacilla flava ssp</i>	353,6	0	4597	0	n	
Euplecte franciscain	<i>Euplectes franciscanus</i>	0	1,7	0	22	n	
Euplecte vorabé	<i>Euplectes afer</i>	0	3,9	0	51	n	
Toteux (y compris espèces omises)		1477	962	19,297	12,512		

10.5 Conclusions

La création du réservoir de Sélingué et de la centrale hydroélectrique sur celui-ci permet d'assurer une production stable d'électricité, soit une production mensuelle totale de 12,93 Gwh (moyenne annuelle). Le Chapitre 2 et l'Appendice 2 fournissent de plus amples détails à cet égard. Sélingué satisfait ainsi pour une part substantielle de la demande nationale à l'heure actuelle.

Les conclusions que l'on peut tirer du présent chapitre sont résumées ci-après.

- La création du lac de stockage, d'une superficie de 34 km², a entraîné la disparition des aires de pâturage pour le bétail et l'inondation des vergers, affectant ainsi l'une des principales activités économiques de la région. Toutefois, à l'heure actuelle, le lac offre d'autres moyens de subsistance. Naturellement, ceci a attiré des populations originaires d'autres contrées, notamment les pêcheurs venus du Delta Intérieur du Niger, qui exploitent les ressources piscicoles du lac à l'heure actuelle. Il est un fait également que la population rurale aux alentours du lac Sélingué s'est accrue, en raison de cette immigration.
- La production annuelle totale actuelle de poisson est estimée à 4 000 t, la majeure partie étant écoulée à l'état frais sur le marché de Bamako. Cette production est comparable au volume de la perte de production au niveau du Delta Intérieur du Niger du fait de la baisse des niveaux de crue causée par le lac Sélingué. Quelque 100 familles et 8 900 personnes prennent part aux activités de pêche. La construction du barrage a également permis de mettre en place un système d'irrigation en aval. Dans les faits, le périmètre irrigué, d'une superficie de 1 350 ha, s'avère plutôt insuffisant. La production rizicole est estimée à 6 000-7 500 t par an (soit moins de 1 % de la production nationale) et repose sur un système de double culture.
- Alors qu'avant la construction du barrage la zone humide était limitée au lit du fleuve, actuellement le lac et la zone rizicole irriguée constituent deux importantes zones humides. Elles jouent chacune un rôle écologique distinct. La zone du lac revêt une importance internationale, dans la mesure où on y observe la présence de Balbuzard pêcheurs et de Dendrocorynes veufs en effectifs substantiels. En dépit



de sa superficie plutôt limitée, la zone affectée à la riziculture irriguée revêt également une importance internationale du fait de la présence du Vanneau du Sénégal (3 fois le critère de 1 %) et de la Bécassine double qui constitue une espèce menacée. Les chiffres totaux, qui s'établissent régulièrement à 20 000 oiseaux, se rapprochent d'une autre satisfaction du critère de la Convention de Ramsar.

- L'importance de la zone en ce qui concerne les autres espèces fauniques n'est pas clairement établie. La présence d'hippopotames (*Hippopotamus amphibius*) dans le lac a été confirmée au moment des travaux de terrain. Mais, aucun autre grand mammifère ou reptile n'a été observé. La situation n'est guère plus claire concernant le Lamantin d'Afrique (*Trichechus senegalensis*).

11 LE PÉRIMÈTRE IRRIGUÉ DE L'OFFICE DU NIGER



Eddy Wymenga
Jan van der Kamp
Bouba Fofona

11.1 Introduction

'Le riz, c'est la vie' est le slogan de la FAO pour l'Année internationale du riz, 2004 (www.fao.org/rice2004). Il s'applique littéralement aux populations du Mali dont le riz est l'aliment de base, outre le mil et le sorgho. L'importance primordiale que revêt le riz n'est, cependant, pas le principal facteur qui a motivé la création de l'Office du Niger. L'actuel système d'irrigation, mis au point dans les années 30 au cours du dernier siècle, visait, au départ, à produire du coton afin d'alimenter l'industrie textile française à l'époque coloniale. Lorsque cet objectif s'est avéré peu viable, le passage à la riziculture est apparu comme une excellente issue de secours. Suite aux premières difficultés et à la stagnation de la production, ainsi que de l'expansion, l'Office du Niger est devenu, à présent, le système d'irrigation le plus important en Afrique de l'Ouest. Il couvre 17% de la superficie totale plantée en riz au Mali et représente 40% de la production rizicole nationale. C'est à bon droit que Bonneval *et al.* (2002) appellent l'Office du Niger le «grenier à riz» du Mali.

A l'heure actuelle, le périmètre irrigué de l'Office du Niger couvre 74 000 ha, pour une production annuelle de 320 000 t de riz (données 1999-2000). Cette superficie sert également à la production d'autres cultures, notamment la canne à sucre et les légumes. L'irrigation, qui se fait par gravité, est possible grâce au barrage de Markala. Le périmètre irrigué constitue l'un des principaux consommateurs d'eau du bassin du Haut Niger (Chapitre 2). Récemment, Bonneval *et al.* (2002) ont publié une excellente thèse historique, environnementale et socioéconomique sur la zone de l'Office du Niger. En conséquence, le présent chapitre se limite à un aperçu concis des événements les plus importants dans la zone ayant trait aux thèmes développés dans ce livre. Il présente l'expérience réussie du périmètre irrigué et de la production élevée, de nos jours, plus ou moins indépendante des précipitations, ainsi que des tendances de l'inondation. Toutefois, il existe des limites à cette réussite; par conséquent, une attention particulière est accordée à l'expansion prévue du périmètre irrigué et aux contraintes y relatives (voir également Keita *et al.* 2002). Depuis sa création, l'Office du Niger enregistre les données essentielles sur le développement de la zone et, aux fins de la présente étude, ces statistiques ont été gracieusement mises à notre disposition.

11.2

La zone

Situation et contexte

La zone de l'Office du Niger est située à environ 40 km au Nord-Est de Ségou, sur la rive nord du Niger, à environ 20 km en amont de Ké-Macina, à l'entrée du Delta Intérieur du fleuve Niger (Fig. 11.1). Dans le périmètre

irrigué, Niono tient lieu de principale ville, tandis les grands villages de la zone sont Kourouma et Sokolo au Nord et Kolongotomo, Boky-Wéré et Macina à l'Est. En fait, la circonscription administrative à laquelle appartient la zone de l'Office du Niger est beaucoup plus vaste que le périmètre irrigué en tant que tel, s'étendant de Niono, à l'Ouest, jusqu'au Delta Intérieur du Niger, à l'Est, soit une superficie de plus de 1,9 million ha. On envisage d'étendre davantage cette zone, tel qu'indiqué de façon détaillée dans le plan de développement régional publié en 1999 (Schéma Directeur de Développement, Sogréah-BCEOM-Betico 1999).

Le périmètre irrigué est situé dans le Delta mort, un ancien delta du Niger, qui s'étend vers l'Est et est

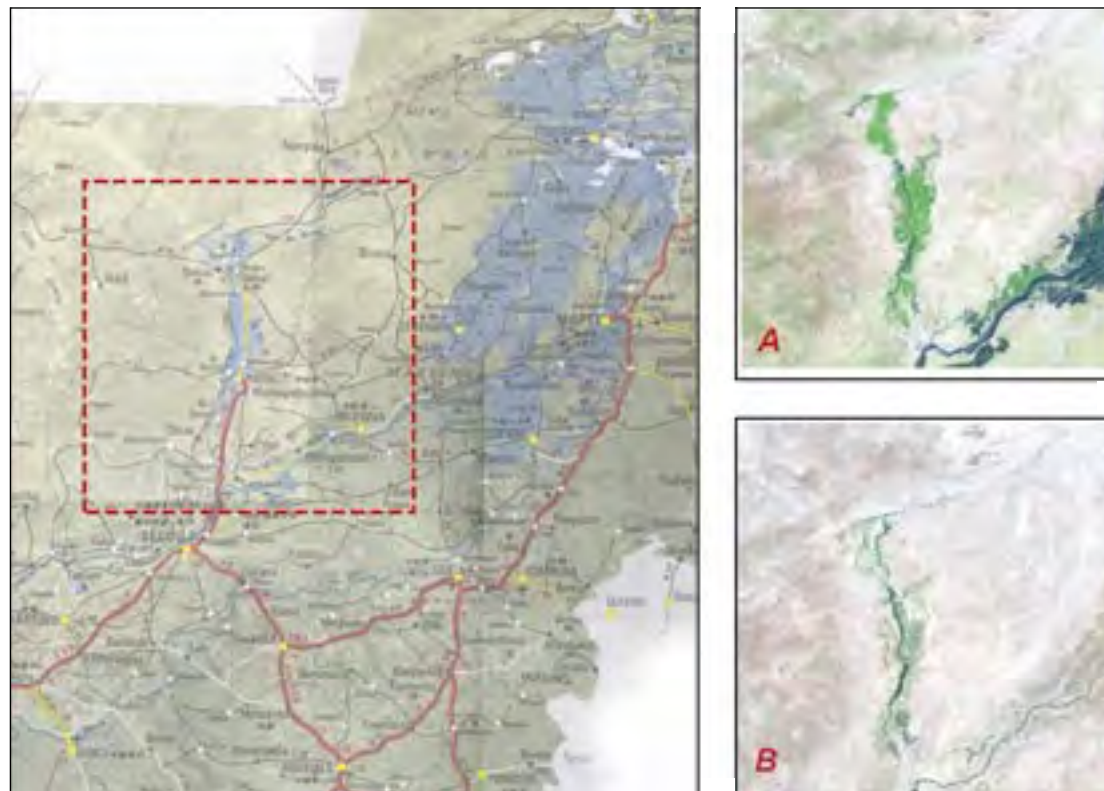


Fig. 11.1. Périmètre irrigué de l'Office du Niger avec les noms topographiques utilisés dans le texte. Deux images satellite instantanées sont présentées: l'image A datant du 7 octobre 2001, représente la saison des pluies, tandis que l'image B, prise le 16 mars 2002, représente la période suivant la récolte des cultures et précédant les cultures de contre-saison.

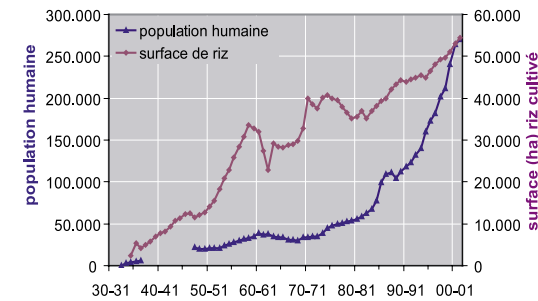


Fig. 11.2. Développement de la population humaine et extension de la superficie plantée en riz (ha), dans le système d'irrigation de l'Office du Niger. Source: ON. Le périmètre irrigué total de l'Office du Niger couvre une superficie de 74 000 ha.

limitée à l'Ouest par un système dunaire. Le Delta mort est plutôt une plaine alluviale au relief plat présentant des conditions pédologiques hétérogènes, qui vont des élévations et dunes sablonneuses aux sols argileux dans l'ancien bassin, en passant par des sols vaseux situés dans l'intervalle (MDRE/ME 1999). Elle constitue une partie isolée du Bassin du Niger, depuis la construction du barrage de Markala dans les années 40. Deux anciens bras de fleuve (appelés fala), reliés à un système de canaux d'irrigation, tiennent lieu, de nos jours, de systèmes d'alimentation en eau pour l'agriculture dans cette zone: l'un s'écoulant vers le Nord, à travers la région de Niono (fala de Molodo) et l'autre vers le Nord-Est, dans la région du Macina (fala de Boky-Wéré).

Évolution historique

Les premières mesures visant à créer le plus grand système d'irrigation en Afrique de l'Ouest remontent au début du 20^{ème} siècle (1919-20), lorsqu'une mission française, à la recherche d'une production cotonnière de rechange pour l'industrie textile française, a estimé que le Delta mort se prêtait à la création de la culture cotonnière d'une superficie d'un million ha. Il s'en est suivi la création de l'Office du Niger, en 1932, qui fut placé sous l'autorité de l'administration coloniale française. En 1945, une superficie d'environ 25 000 ha était consacrée à la cotonculture et la riziculture irriguée. Le barrage de Markala, qui est opérationnel depuis 1947, a permis d'améliorer considérablement les possibilités

d'irrigation et d'accroître la production de façon notable (1948-59: en moyenne 10,3% par an, Fig. 11.2). Cependant, dans les années 60, pendant la nationalisation, l'Office du Niger a connu une grave crise. Dans le même temps, avec l'assistance de la Chine, les premières plantations de canne à sucre ont vu le jour. Entre 1965 et 1970, la cotonculture a été abandonnée et, depuis, la superficie consacrée à la riziculture s'est élargie (passage à la riziculture, voir Fig. 11.2).

En 1978, la production de riz a atteint approximativement un niveau record de 101 000 t, tombant en moyenne à 60 000 t au cours des années suivantes. Cette régression s'expliquait notamment par la négligence de l'entretien du système d'irrigation et par l'épuisement des sols. Au début des années 80, l'Office du Niger a connu de nouveau une période difficile. Le soutien massif des bailleurs de fonds étrangers et la libéralisation du marché du riz, a eu un impact positif. Entre 1983 et 2001, la superficie plantée en riz a augmenté de 2,3% par an, en moyenne. Schreyger (1984-2002) fournit de nombreuses informations sur le développement historique important que la zone de l'Office du Niger a connu, les prix élevés payés aux producteurs et les difficultés socioéconomiques qui en ont découlé. Après un développement progressif, la dévaluation du franc CFA (1994), qui a rendu le riz produit au plan national beaucoup plus compétitif par rapport au riz importé, et suite à un programme intensif de restructuration du périmètre irrigué, l'Office du Niger a atteint, aujourd'hui, sa vitesse de croisière. En 2000, quelque 74 000 ha de terres irriguées au Nord du fleuve Niger recevaient de l'eau de Markala. Cette superficie totale comprend essentiellement les secteurs suivants (Keita et al. 2002):

- 55 500 ha de zones rizicoles dans l'Office du Niger;
- 1 580 ha de nouvelles zones rizicoles à Ké-Macina et Bewani;
- 5 800 ha de plantations de canne à sucre;
- 3 000 ha de rizières gérées par l'Opération Riz Ségou;
- 8 000 ha de cultures hors casiers.

Population

La réussite du système d'irrigation de l'Office du Niger, qui fournit de la nourriture et de la main-d'œuvre, attire en principe de nombreuses personnes. «Île de prospérité», tel est le nom donné par Brondeau (2002) et dans un contexte sahélien où l'insécurité alimentaire est de règle, ceci revêt une importance capitale. En effet,

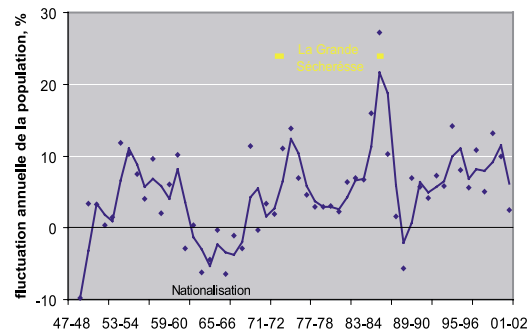


Fig. 11.3. Evolution annuelle de la population dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger. La ligne bleue représente la moyenne pour la période de deux ans considérée. Source: ON. Pendant la nationalisation, la population a diminué, tandis que la zone a enregistré une forte migration pendant les périodes de sécheresse.

tel qu'indiqué à la Fig. 11.1, la population de l'Office du Niger a augmenté considérablement, passant de 21 700 habitants à la fin des années 40 à 270 289 habitants en 2002. Cet attrait n'a pas toujours existé: au début du projet, 2 000 ouvriers avaient été réquisitionnés afin de construire les ouvrages d'irrigation. Au début des années 40, de nouveaux colons ont été attirés par des stimulants sous forme de crédits (Schreyger 2002).

Grâce à la base de données de l'Office du Niger, l'on en sait beaucoup sur l'évolution de la zone. À la Fig. 11.3, ces données ont été utilisées pour calculer l'évolution annuelle de la population qui indique que, malgré l'augmentation évidente au fil des ans, il existe d'importantes fluctuations. Cette tendance s'explique par plusieurs causes (voir Bonneval et al. 2002), au nombre desquelles les plus importantes sont la baisse de l'activité pendant la nationalisation (années 60) et les deux périodes de sécheresse (début des années 70 et 1984-85). Les périodes de sécheresse ont entraîné, provisoirement, une forte migration vers l'Office du Niger. Après la dernière période de sécheresse, la croissance annuelle se situait entre 5 et 10%. Entre 1978 et 1998, le nombre de villages est passé de 136 à 208. La section suivante indique que le nombre de familles qui s'adonnent à l'exploitation a crû simultanément, tandis que la superficie cultivée par famille s'est rétrécie considérablement.

Paysage et habitats

Le paysage du Delta mort se caractérise par une savane nue, à peu boisée au niveau local, avec des épineux. Les principales essences sont *Guiera senegalensis* (N'Goudjé), *Piliostigma reticulatum* et *Combretum micranthum* (N'Golobé). Le Delta est bordé, immédiatement à l'Ouest, par un complexe dunaire plus élevé (PIRL 1990; dans Bonneval et al. 2002). Dans la présente section, nous nous intéressons en particulier à la zone humide de l'Office du Niger qui comprend les dépressions des anciens bras du fleuve – les fala – et les rizières situées dans le périmètre irrigué. Il existe également un massif forestier dans le Delta mort. Mais, l'accroissement de la population rurale a un impact sur sa durabilité, compte tenu de la demande de bois de feu (Nouvellet & Sanogo 2002). Dans les zones où se déverse l'eau de drainage des zones irriguées (dans la zone des fala) d'importantes forêts comprenant des essences telles que l'*Acacia nilotica* se sont développées. Celles-ci jouent un rôle écologique majeur (Section 11.4).

Les falas

La zone des falas doit avoir suivi le régime des crues du fleuve Niger avant la construction du barrage de Markala et de son infrastructure hydraulique connexe dans les zones inondables avoisinantes. Les niveaux d'eau dynamiques et caractéristiques – tant au cours des années qu'entre celles-ci – du cycle annuel du fleuve, n'existent plus de nos jours, notamment les conditions de sécheresse en période de décrue. La zone marécageuse est devenue une zone humide permanente située dans une ancienne savane sèche transformée en une immense zone rizicole. Les zones humides sont caractérisées par la stagnation des eaux, au lieu des conditions changeantes du passé, ce qui constitue un changement écologique majeur.

Les fala et leurs avant-pays attenants sont devenus des zones humides permanentes, et les canaux d'irrigation primaires contiennent également de l'eau en permanence. Les eaux libres et la végétation aquatique abondante, ainsi que les parcelles agricoles disséminées leur donnent l'apparence d'un marécage naturel. La végétation comprend essentiellement le *Typha* (queue de renard) et le *Nymphaea micranthum*. On y rencontre également la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*). Celle-ci constitue une espèce envahissante qui a fait son apparition sur le fleuve Niger depuis le début des années 90 et pose des problèmes au niveau des écluses et des passages, notam-



ment au niveau du passage de la station hydroélectrique de Sotuba, à Bamako. Le développement d'importantes végétations de *Typha* auquel on assiste, à l'heure actuelle, sur les plans d'eau des fala résulte de la stagnation des eaux, ainsi que de l'eutrophisation de celles-ci (voir Keddy 2002). On observe des phénomènes similaires dans le Delta du Sénégal – mais à une échelle beaucoup plus importante – suite à la construction du barrage de Diama (voir Peeters 2003). Dans le périmètre irrigué, les végétations de *Typha* sont considérées comme des nuisibles qui causent des problèmes au niveau des petits canaux d'irrigation. Cependant, ils pourraient constituer un habitat important pour les oiseaux d'eau et autres animaux aquatiques dans les zones humides (Section 11.4).

Rizières

Dans le périmètre irrigué, les rizières constituent une zone humide importante où plusieurs variétés de riz sont cultivées. En particulier, les parcelles recouvertes d'une végétation légère et celles où la récolte qui après attirent beaucoup les oiseaux aquatiques. La culture de saison pluvieuse – «hivernage» – dans le périmètre irri-

gué commence à la fin du mois de mai et la récolte a lieu d'octobre à novembre (Fig. 11.4). La préférence des agriculteurs, qui peuvent effectuer une double récolte («hivernage» et contre-saison), a tendance à aller aux variétés de riz à cycle court, plutôt qu'aux variétés à cycle long, dans la mesure où ils disposent de peu de temps entre les saisons agricoles pour l'enlèvement des adventices au niveau des digues qui entourent les rizières et pour le labour de la terre. À l'heure actuelle, le repiquage est pratiqué, en général, afin d'optimiser les rendements. La période de décembre à mai présente un paysage d'après-récolte aride, hormis les parcelles occupées par les cultures de saison sèche; celles-ci couvrent fondamentalement la période de la mi-janvier à mai.

Système d'irrigation

Afin d'approvisionner en eau les périmètres rizicoles et les plantations de canne à sucre, le débit du fleuve à Markala est porté par le barrage à 5,5 m au-dessus du niveau d'eau le plus bas. Ceci permet d'utiliser un système hydrologique graduel comportant des niveaux d'eau décroissants et d'alimenter des grands et petits canaux. La consommation d'eau à Markala varie entre

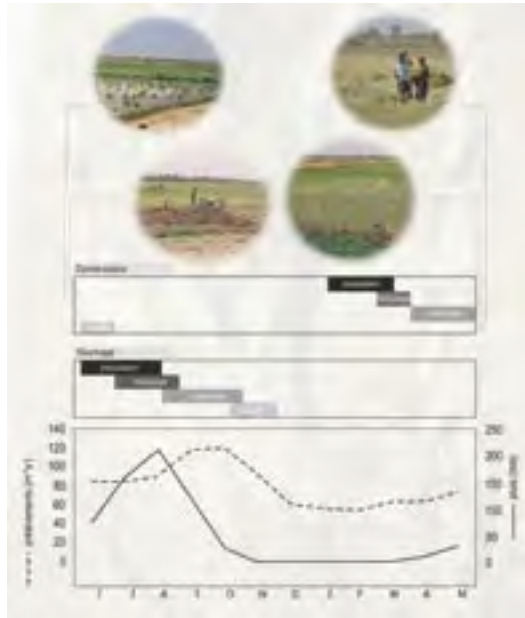


Fig. 11.4. Cycle annuel global de la riziculture d'hivernage et de contre-saison dans l'Office du Niger. La pluviométrie mensuelle et la consommation d'eau sont également indiquées. Cette figure repose en partie sur les données tirées des travaux de N'Diaye (1998).



Fig. 11.6. Esquisse du système d'irrigation; 1= distributeur, 2= partiteur, 3= arroseurs, 4= rigoles, 5= division des parcelles en bassins.

58 (moyenne de janvier 1989-2004) et 131 m³/s (octobre-id.). Cette eau est acheminée par un grand canal (canal adducteur, d'une capacité de 200 m³/s) vers le point A, à partir duquel elle est répartie entre trois canaux moins grands (Fig. 11.5):

- le Canal du Sahel (100 m³/s) qui se jette dans le fala de Molodo et conduit aux périmètres irrigués au Nord de Niono (Molodo, Sokolo et zones avoisinantes);
- le Canal Costes-Ongoïba (13 m³/s) qui alimente la plantation de canne à sucre de Siribala;
- le Canal du Macina (50 m³/s) qui conduit au fala de Boky-Wéré qui, à son tour, s'écoule vers l'Est, en direction des zones du Macina.

À partir de chaque fala, l'eau est acheminée vers des canaux de distribution (distributeurs), qui tiennent lieu de système d'approvisionnement primaire pour des sections de 3 000 à 9 000 ha qui, à leur tour, alimentent un système d'approvisionnement secondaire de partiteurs. Ces petits canaux desservent des sections secondaires de 200 à 600 ha, soit approximativement la superficie irriguée susceptible d'être gérée par un campement (hameau) ou un village. La Fig. 11.6 présente le système hydrologique de façon plus détaillée, jusqu'au niveau des parcelles irriguées. Ce système d'alimentation est complété par un système de drainage (collecteurs).

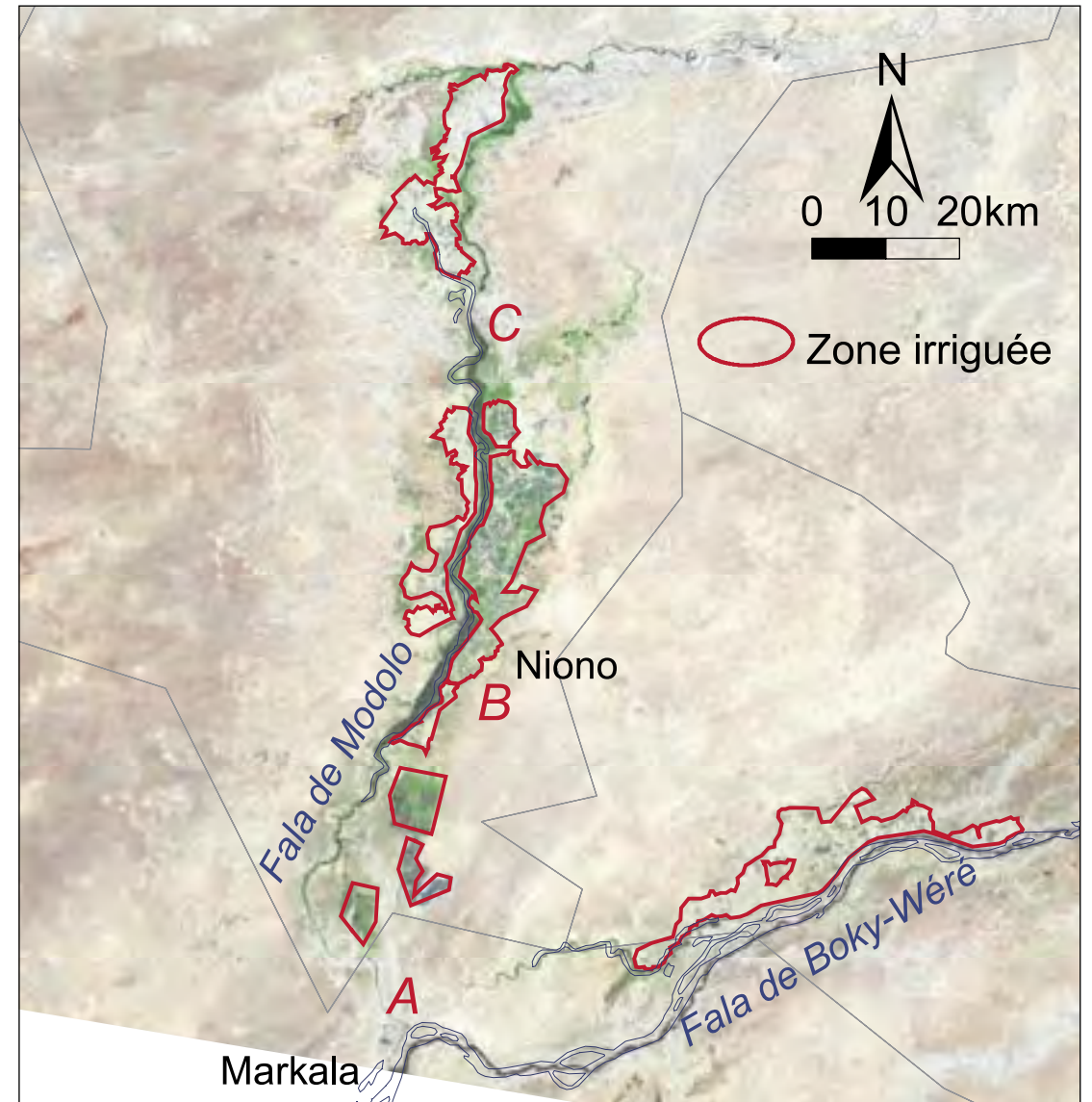


Fig. 11.5. Périmètre irrigué de l'Office du Niger, système de distribution d'eau et périmètres irrigués (tiré de Bonneval *et al.* 2002 et de Keita *et al.* 2002).

11.3 Production

Production rizicole

Dans les systèmes rizicoles traditionnels – pluviaux ou liés aux crues – une famille (3,5 membres actifs en moyenne) exploite environ 5 à 6 ha, pour un rendement de 1 à 2 t/ha, selon les niveaux de crue et d'autres facteurs, notamment les précipitations (Chapitre 8). En fait, les rendements initiaux dans l'Office du Niger étaient du même ordre, par exemple 1,56 t/ha en 1943. Au fil du temps, les agriculteurs au niveau du périmètre irrigué sont parvenus à obtenir de meilleurs rendements. Les statistiques de l'Office du Niger montrent que la production de riz a crû considérablement, passant de 4 129 t en 1935 à 333 078 t en 2001. La présente section se penche sur les facteurs qui sous-tendent cette augmentation.

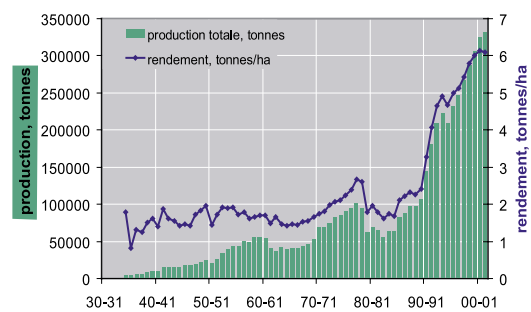


Fig. 11.7. Production totale (t) et rendement (t/ha) au niveau du périmètre irrigué de l'Office du Niger. Source: Office du Niger. Aucune donnée disponible pour la période 1930-34. Hormis la production et les rendements pour le riz de contre-saison.

La croissance de la production totale de riz de l'Office du Niger au départ s'explique tout simplement par l'accroissement de la superficie plantée en riz (Fig. 11.3). La tendance des rendements à l'hectare à la Fig. 11.7 montre clairement, cependant, qu'à compter du début des années 90, celle-ci a enregistré un saut qualitatif qui coïncide, dans une large mesure, avec l'amélioration des rendements à l'hectare. Plusieurs facteurs intimement liés ont contribué à cette amélioration considérable.

Tel qu'indiqué dans la Section intitulée «Evolution historique», l'Office du Niger était en difficulté au début des années 80 et la production était nettement en deçà des attentes. Grâce à l'assistance des bailleurs de fonds étrangers, une campagne intensive a été menée en vue d'accroître la production et de restructurer le périmètre irrigué. Les projets et mesures pertinents sont décrits de façon détaillée par Bonneval et al. (2002). Ceux-ci reposaient sur la promotion de la culture de contre-saison, la restructuration du périmètre irrigué (y compris la réparation du système d'irrigation), la promotion du repiquage du riz au lieu des semis, une utilisation plus efficace de l'eau et enfin la réduction de la taille moyenne des exploitations familiales. Ces mesures, associées à la libéralisation du marché du riz (entrée en vigueur à compter de la fin des années 80) et à la dévaluation du franc CFA (1994) – selon Chohin-Kuper et al. (2002a) – ont constitué des stimuli importants – qui se sont traduits par une augmentation appréciable de la production et des rendements (Fig. 11.7).

Il est difficile de définir l'importance particulière que revêt chacun des facteurs susmentionnés. Toutes les mesures prévues ont été mises en œuvre. La superficie de la zone restructurée dans le périmètre irrigué (riz d'hivernage sur casiers réhabilités) a été augmentée, passant de 450 ha en 1982 à 29 740 ha en 2001. Jusqu'ici, elle représentait 54% de la superficie totale plantée en riz. De même, la méthode du repiquage du riz a été adoptée: tandis qu'en 1983, le riz n'était repiqué que sur une superficie de 5 ha, cette méthode est utilisée, à l'heure actuelle, sur 98% de la superficie totale plantée en riz. Outre ces mesures, la fertilisation (engrais minéral et organique fourni par le bétail) des sols a continué et les aptitudes des agriculteurs ont été améliorées grâce à la formation agricole qu'ils ont reçue. Chose surprenante, au cours de la période 1987-2001, aucune corrélation n'a été observée entre la production totale et le volume total d'engrais minéral



utilisé (DAP et Urée) ($R^2=0,0096$). Les méthodes de production améliorées nécessitaient davantage de main-d'œuvre. Compte tenu de l'accroissement du nombre des membres des familles, cette demande a été satisfaite en réduisant considérablement la taille moyenne des exploitations familiales (Fig. 11.8). Ceci tenait égale-

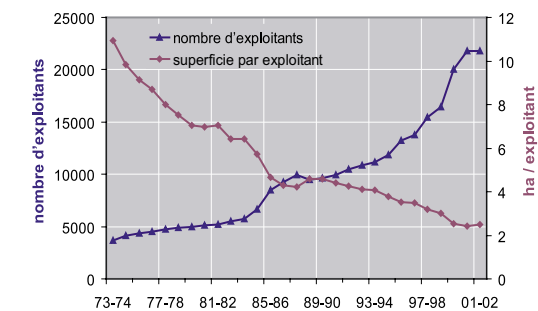


Fig. 11.8. Nombre de familles agricoles actives (exploitants) et superficie moyenne par famille au niveau du périmètre irrigué de l'Office du Niger. Source: ON. La réduction substantielle de la taille moyenne des exploitations familiales faisait partie de la stratégie d'intensification de la riziculture.

ment à la demande de terre et à l'individualisation: les jeunes membres de la famille souhaitent de plus en plus disposer de leurs propres parcelles.

Le système de double récolte a été introduit dans les années 80 et se pratique encore de nos jours. Toutefois, en termes de superficie cultivée, il ne représente que 10 à 20% (de 1994 à 2001) de la zone de culture d'hivernage. Ceci est nettement inférieur (bien que la superficie soit plus importante) à celle de Sélingué où les superficies cultivées en saisons humide et sèche sont plus ou moins égales. Les rendements par hectare du riz de contre-saison, qui nécessite beaucoup plus d'aptitudes et de main-d'œuvre, sont nettement inférieurs à ceux du riz d'hivernage, qui oscillent entre 2,2 t/ha en 1994 à 4 t/ha en 2001. Selon Chohin-Kuper et al. (2002b), les agriculteurs choisissent des cultures de rechange, notamment l'échalote et le maïs pour leur rentabilité plus élevée.

Autres produits

Depuis le début des années 90, les superficies de plus en plus vastes sont consacrées à la production d'autres cultures, notamment le maïs et l'échalote, pendant la contre-saison. Cette diversification est encouragée par l'Office du Niger, dans la mesure où elle offre aux agriculteurs un revenu complémentaire substantiel

(Chohin-Kuper et al. 2002b). La production de cultures de rechange est en plein essor: la superficie cultivée en maïs est passée de 140 ha en 1994 à 600 ha en 2001, tandis que celle de la culture des légumes est estimée à 2 500-3 500 ha (1994-2001). Outre l'échalote, qui constitue la culture la plus importante, la tomate, l'ail et le chou sont cultivés.

Utilisation de l'eau

Une question importante dans le cadre de la présente étude est de savoir si l'accroissement de la production et l'expansion des superficies cultivées au fil du temps ont eu pour effet d'accroître la demande d'eau. Tel qu'indiqué au Chapitre 2, les données relatives à la consommation d'eau à Markala ne révèlent pas une tendance claire au cours des 15 dernières années. Au cours de la période 1989-2003 – pendant laquelle la production a augmenté considérablement – nous n'avons identifié aucune corrélation entre la consommation d'eau, d'une part, et le volume total de la production et la superficie totale plantée en riz, d'autre part (pour les deux $R^2 < 0,001$). Nous n'avons identifié non plus aucun lien entre les précipitations et la production ($R^2 < 0,01$). La consommation d'eau semblait un peu plus élevée pendant les années de sécheresse. Toutefois, la corrélation est faible.

Une conclusion importante que l'on pourrait tirer est que l'expansion récente des superficies cultivées et l'accroissement considérable de la production ont été réalisés indépendamment des précipitations et sans utiliser une quantité d'eau supplémentaire. En d'autres termes, de nos jours, l'eau est utilisée de manière beaucoup plus judicieuse que par le passé, tel qu'indiqué à la Fig. 11.9. La consommation d'eau par kg de riz a été ramenée à 8 000 l/kg de riz. Selon Ouvry et al. (2002), l'eau est utilisée de façon efficace dans le périmètre irrigué, la quantité étant estimée à 35% au niveau des parcelles, ce qui est nettement inférieur à la norme internationale pour l'irrigation par gravité (50-60%). Une partie de la perte enregistrée s'explique par l'infiltration et l'utilisation de l'eau à des fins autres que l'agriculture, ainsi qu'en dehors des zones irriguées. Cependant, ceci témoigne de la possibilité d'atteindre des niveaux plus élevés d'efficacité et fait justement partie des projets de l'Office du Niger, qui souhaiterait utiliser, comme norme pour l'expansion future, 2 l/s/ha, au lieu des 2,4 l/s/ha (Keita et al. 2002), à l'heure actuelle.

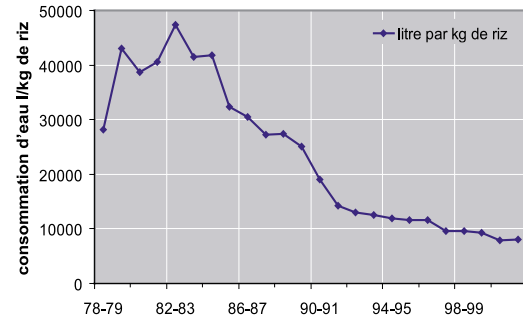


Fig. 11.9. Volume total de la consommation d'eau par an exprimé en termes de consommation par kg de riz (production annuelle totale de riz), selon les statistiques de l'Office du Niger, Ségou. Depuis le début des années 80, l'Office du Niger a mené une politique délibérée qui consiste à accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau, notamment grâce à un meilleur entretien du système d'irrigation et à la restructuration du périmètre irrigué.

Le revers de la médaille en ce qui concerne l'utilisation de l'eau, à savoir les conséquences en aval dans le Delta Intérieur du Niger est examiné de façon plus détaillée aux Chapitres 5 à 8 et au Chapitre 12 du présent manuel. La consommation d'eau pour les besoins du périmètre irrigué de l'ON entraîne à court terme une réduction de la zone inondée et partant, de la production piscicole et rizicole, ainsi que des possibilités de pâturage pour le bétail. Par exemple, la réduction de la production de riz dans le Delta Intérieur atteint 20 000 t/an. Dans le même temps, la réduction des crues contribue à la détérioration des conditions de survie et de reproduction de l'avifaune migratrice et afrotropicale dans le Delta Intérieur Niger.

11.4 Valeurs écologiques

Bien que l'importance écologique du périmètre irrigué de l'Office du Niger ait été reconnue plus tôt, notamment dans une étude environnementale menée par le MDRE/ME (1999), la documentation y relative est très rare. À ce jour, l'attention a porté, en particulier, sur les dégâts causés aux cultures par les oiseaux granivores, notamment les moineaux et les tisserins. Tel qu'il ressort de l'étude susmentionnée, les dégâts causés par les oiseaux aux cultures représentent 4 à 6% des dégâts (pertes) totaux. Entre 1994 et 1997, au total 315 millions de francs CFA (480 000 €) ont été consacrés à la destruction de ces oiseaux à l'aide de produits chimiques, essentiellement dans leur dortoir au niveau des fala. Aucune information n'est disponible sur l'impact environnemental et écologique de l'utilisation de ces produits chimiques dans la zone de l'Office du Niger.

Tel qu'indiqué à la Section 11.2, les zones humides importantes dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger sont les zones de riziculture irriguée et les marécages permanents des fala. C'est la raison pour laquelle les activités de recherche exécutées en 2002-04 ont porté essentiellement sur ces habitats. Les informations concernant les oiseaux d'eau ont été recueillies de façon systématique. Mais, compte tenu des délais impartis, il n'a pas été possible de couvrir la totalité du périmètre irrigué pendant chaque visite. C'est la raison pour laquelle des évaluations de densité des populations d'oiseaux ont été effectuées, car il s'agit d'études particulièrement intéressantes dans les polders rizicoles créés de façon artificielle. Des recensements d'oiseaux ont été effectués en décembre, février et juin-juillet (pour les détails et les méthodes, voir van der Kamp et al. 2005 et l'Appendice 8). Cette dernière période a été choisie, car pendant la saison sèche, les parcelles irriguées constituent les rares endroits humides dans cette vaste région. Outre les recensements d'oiseaux, des observations non systématiques ont été effectuées en ce qui concerne les autres groupes d'animaux (mammifères, reptiles). En mettant l'accent sur les oiseaux aquatiques, nous



documentons, dans la présente section, la valeur écologique des habitats humides dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger.

Oiseaux d'eau nicheurs (afrotropicaux)

Les habitats de reproduction des oiseaux d'eau se rencontrent dans les zones très marécageuses des fala, dans les rares forêts humides adjacentes et – en nombre très limité – dans les rizières. Il n'existe aucune forêt importante dans la zone de l'Office du Niger. Mais, on peut observer des reliquats de forêts dans les environs de la zone des fala, en particulier dans la partie septentrionale. Celles-ci servent, du moins en partie, de lieu de reproduction pour les hérons et les Aigrettes. Au début de juillet 2003, une colonie de Hérons garde-boeufs et de Crabiers chevelus nicheurs a été découverte dans une forêt d'Acacia nilotica, près de Diabaly. Ces espèces de Héron nichaient également dans une petite zone de A. seyal (Kokry; juin-juillet 2002, 2003). Toutes les forêts importantes de l'Office du Niger constituent des zones de reproduction potentielles très importantes pour les colonies de Hérons, d'Aigrettes et d'autres grands échassiers (Cigognes) nicheurs, car dans les environs immédiats, ces oiseaux trouvent de vastes aires d'alimentation dans les rizières. Étant donné que ces oiseaux se nourrissent essentiellement d'insectes (sauterelles!), de poisson et de petits animaux (souris, rats), ils sont également importants pour les agriculteurs et servent d'agents biologiques de lutte contre les nui-

sibles. Malheureusement, ces sites de reproduction sont menacés, en raison des programmes d'aménagement et des autres types de perturbations causées par l'homme et l'exploitation.

Les vastes étendues d'habitats de Typha (comprenant des végétations clairsemées de typha et d'autres plantes aquatiques) dans les fala constituent des aires de reproduction potentielles pour un certain nombre d'autres oiseaux d'eau. Au cours de la période 2002-04, au moins les niches des espèces suivantes ont été observées ou supposées exister dans la zone: le Héron de nuit (*Nycticorax nycticorax*) dans le fala de Boky-Wéré, le Blongios nain (*Ixobrychus minutus* ssp. *Payesi*), le Héron garde-bœufs (*Bubulcus ibis*), le Crabier chevelu (*Ardeola ralloides*), le héron strié (*Butorides striatus*) et peut-être d'autres Ardeidés, ainsi que la Talève sultane (*Porphyrio porphyrio*), la Talève d'Allen (*Porphyrio alleni*), le Râle à bec jaune (*Amaurornis flavirostra*) et d'autres Rallidés. Le Hibou du Cap (*Asio capensis*), généralement considéré comme une espèce nicheuse peu répandue, voire rare, en Afrique de l'Ouest (Borrow & Demey 2001), se rencontre assez souvent dans la zone, les effectifs les plus importants vivant probablement dans les secteurs de fala et, dans une moindre mesure, dans les champs de paddy.

Oiseaux d'eau migrateurs

Afin de comprendre l'importance du périmètre irrigué pour les oiseaux d'eau migrateurs, il y a lieu de connaître les contraintes auxquels ceux-ci sont confrontés par rapport à la campagne agricole et aux conditions qui prévalent dans la zone (van der Kamp et al. 2005). D'une manière générale, beaucoup d'oiseaux – Canards, Hérons, Aigrettes – exploitent la zone d'inondation en se servant de la zone de fala et des forêts adjacentes comme lieux de dortoir et de repos, et en se nourrissant dans les rizières avoisinantes pendant la journée. Les fala sont longs, mais leur largeur est limitée, ce qui crée des conditions favorables à la chasse et à d'autres perturbations causées par les personnes qui ont leurs cultures (souvent officieuses) dans les laisses. Par conséquent, l'une des contraintes majeures semble être l'absence d'aires de repos à grande échelle et en nombre suffisant.

Une deuxième contrainte tient aux conditions d'alimentation. Les zones d'alimentation – les rizières – se détériorent dans les conditions arides post-récolte de décembre à janvier (voir Fig. 11.4). Les rizières sont le plus attractives immédiatement après les récoltes

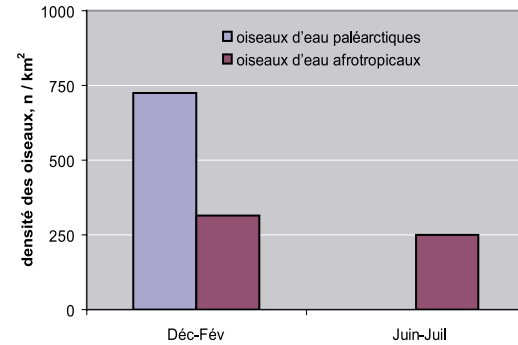


Fig. 11.10. Densité (n/km²) d'oiseaux d'eau paléarctiques et (essentiellement) afrotropicaux dans les rizières du périmètre irrigué de l'Office du Niger (données 2002-04). Au total 716 parcelles ont été recensées. Veuillez prendre note de l'absence d'oiseaux d'eau paléarctiques à la fin de la saison sèche sahélienne. Pour les détails et les méthodes, voir van der Kamp et al. (2005).

ou lorsqu'elles sont inondées. En particulier, pour les oiseaux d'eau paléarctiques, pour lesquels la période de décembre à février constitue la principale période de stationnement (Chapitre 9), ceci constitue une contrainte. La pratique relativement récente qui consiste à produire des cultures pendant la contre-saison en transformant en zones humides propices les zones asséchées après les récoltes, a de fortes chances d'attirer les échassiers et d'autres espèces dans ces zones aux conditions humides plus permanentes. Cependant, en ce qui concerne les oiseaux d'eau paléarctiques, la période d'après-récolte de décembre à janvier pourrait demeurer un goulot d'étranglement.

Suite aux contraintes susmentionnées, au cours de la période de décembre à février, très peu de canards et d'oies sont observés dans le périmètre irrigué, ainsi qu'un nombre limité d'échassiers, hormis le Chevalier sylvain, dans les champs de contre-saison. D'une manière générale, le Héron garde-bœufs et le Vanneau à éperons (*Vanellus spinosus*) sont les espèces d'oiseaux d'eau les plus répandues dans les rizières. Ils se reproduisent tous deux au niveau local et sont connus pour leur adaptabilité aux habitats plus secs. En dépit des conditions arides post-récolte, la densité des oiseaux aquatiques dans les rizières au cours de la période de décembre à février est nettement plus élevée qu'au cours de la période de

juin à juillet. Ceci pourrait s'expliquer entièrement par l'absence d'oiseaux d'eau paléarctiques pendant la saison sèche, qui correspond à l'été boréal (Fig. 11.10).

Dans les rizières, la population de Crabiers chevelus a enregistré une augmentation en juin-juillet et a changé d'habitat au cours de cette période, nichant dans les fala et les Acacia. D'autres Ardeidés, hormis le Héron garde-bœufs et le Héron intermédiaire (*Egretta intermedia*), semblent également être essentiellement présents en juin et juillet (Tableau 11.1). Les échassiers sont relativement rares dans les rizières, les absences

les plus marquées étant, notamment, celles de la Barge à queue noire (*Limosa limosa*) et du Combattant varié (*Philomachus pugnax*). Des migrateurs paléarctiques tels que la Bergeronnette printanière (*Motacilla flava*) et la Tourterelle des bois (*Streptopelia turtur*) – à l'instar de plusieurs autres espèces de tourterelles afrotropicales – utilisent les rizières comme zone d'alimentation. Le nombre total de nids de tourterelles de l'Ouest pourrait dépasser 100 000. Ces oiseaux sont très chassés au plan local (van der Kamp et al. 2005), en dépit du rôle positif qu'ils jouent en enlevant les grains de riz perdus qui,

Tableau 11.1. Densités moyennes par 100 ha et effectifs estimatifs des oiseaux d'eau et des espèces de zones humides dans les rizières du périmètre irrigué de l'Office du Niger en 2002-04 (612 parcelles recensées). Voir Fig. 11.11 pour la zone où le recensement a été effectué. Pour les détails et les méthodes, voir van der Kamp et al. 2005 et Appendice 8 du présent rapport. Les espèces courantes dont la densité est faible sont omises. 1% crit. = critère de 1% de la Convention Ramsar (voir Tableau 9.2); exc.= au-delà de 1% crit.; N = aucun critère disponible.

Nom en français	Nom en latin	n par 100 ha		Estimation totale		critère 1%	Exc.
		Déc-Fév	Juin-Juil	Déc-Fév	Juin-Juil		
Héron cendré	<i>Ardea cinerea</i>	1,0	0,0	550	0	2450	
Grande aigrette*	<i>Egretta alba</i>	0,0	18,4	0	10120	3000	3,4
Aigrette intermédiaire	<i>Mesophyx intermedia</i>	8,5	2,8	4675	1540	1000	4,7
Aigrette garzette	<i>Egretta garzetta</i>	3,0	0,0	1650	0	3500	
Héron garde-bœufs	<i>Bubulcus ibis</i>	124,0	27,7	68200	15235	N	
Crabier chevelu	<i>Ardeola ralloides</i>	7,2	38,1	3960	20955	3000	7,0
Blongios nain	<i>Ixobrychus minutus</i>	0,0	1,1	0	605	1000	
Héron vert	<i>Butorides striatus</i>	0,0	2,5	0	1375	10000	
Ombrette du Sénégal	<i>Scopus umbretta</i>	0,2	1,9	110	1045	10000	
Jacana à poitrine dorée	<i>Actophilornis africana</i>	0,0	29,3	0	16115	N	
Echasse blanche	<i>Himantopus himantopus</i>	17,9	0,0	9845	0	770	12,0
Glareole à collier	<i>Glareola pratincola</i>	10,5	0,0	5775	0	240	24,1
Rhynchée peinte	<i>Rostratula benghalensis</i>	0,0	9,7	0	5335	N	
Vanneau à éperons	<i>Vanellus spinosus</i>	128,4	88,9	70620	48895	4000	17,7
Chevalier sylvain	<i>Tringa glareola</i>	120,7	0,0	66385	0	10400	6,4
Chevalier guignette	<i>Actitis hypoleucos</i>	0,0	0,0	0	0	17000	
Bécassine des marais	<i>Gallinago gallinago</i>	3,0	0,0	1650	0	20000	
Bécassine double	<i>Gallinago media</i>	2,7	0,0	1485	0	350	4,2
Bécasseau minute	<i>Calidris minuta</i>	3,2	0,0	1760	0	2000	
Hibou des marais africain	<i>Asio capensis</i>	2,9	14,1	1595	7755	N	
Bergeronnette printanière	<i>Motacilla flava</i> ssp	585,4	0,0	321970	0	N	
Cisticole des joncs	<i>Cisticola juncidis</i>	14,6	9,4	8030	5170	N	
Prinia spec.	<i>Prinia</i> ssp,	4,7	0,0	2585	0	N	
Euplecte vorabé	<i>Euplectes afer</i>	1,3	5,9	715	3245	N	
Totaux (y compris espèces omises)		1082	252	595155	138655		

* Les chiffres estimatifs pour un certain nombre d'espèces (notamment la grande Aigrette et l'Echasse blanche) semblent trop élevés, selon des observations supplémentaires sur le terrain. Ceci tient à la méthode (voir Appendice 8).



Fig. 11.11. Superficie de la zone du périmètre irrigué de l'Office du Niger où l'estimation de la densité a été effectuée et dont le Tableau 11.1 présente les populations estimatives d'oiseaux d'eau (cf. van der Kamp *et al.* 2005).

autrement, pourraient attirer d'autres nuisibles, notamment les souris et les rats.

La zone des fala revêt une importance capitale pour une large gamme d'oiseaux aquatiques afrotropicaux et tient lieu d'escale en hiver pour les oiseaux d'eau migrants paléarctiques, notamment le Héron pourpré (*Ardea purpurea*), l'Hirondelle de rivage (*Riparia riparia*), la Phragmite des joncs (*Acrocephalus schoenobaenus*) et les autres espèces d'*Acrocephalus*. Les Priniés et Cisticolas afrotropicales sont très répandues. Au début de la saison des pluies, en particulier, la zone des fala est fréquentée par les espèces afrotropicales parmi lesquelles figure la Dendrocoryne veuf (*Dendrocoryna viduata*).

Il est difficile d'apprécier l'importance ornithologique (inter)nationale du périmètre irrigué, du fait de l'absence de recensements complets et fréquents des oiseaux de la zone des fala. Cependant, à l'aide des données relatives aux densités, nous pouvons effectuer une estimation approximative des effectifs actuels pour le périmètre rizicole de 550 km². Lorsque le critère de 1% (voir Chapitre 9) est appliqué, il semble qu'au moins 8 espèces figurent au nombre des espèces dont les effectifs sont importants selon les normes internationales. Le périmètre irrigué abrite un pourcentage relativement élevé de populations de Vanneau à éperons (*Vanellus spinosus*) et de Glaréoles à collier (*Glareola pratincola*). Il con-

vient de relever également la présence de la Bécassine double (*Gallinago media*), une espèce menacée. Sur la base des observations supplémentaires effectuées dans les fala, on s'attend également à ce que les populations de Busards des roseaux (*Circus aeruginosus*) et de Hérons pourprés remplissent largement ce critère. En outre, le Talève sultane (*Porphyrio porphyrio* – des centaines), l'Anserelle naine (*Nettapus auritus* – quelques dizaines) et l'Anhinga d'Afrique (*Anhinga rufa* – plus de 50), qui sont tous des espèces relativement rares en Afrique de l'Ouest, ont été observés en grand nombre. L'Elanion naucleur (*Chelictinia riocourii*), qui a comportement saisonnier, apparaît à la fin de l'année et a disparu quelques mois plus tard. Quelque 3 000 oiseaux de cette espèce insectivore ont été observés dans les aires de repos nocturnes, en décembre 2003.

Autres groupes fauniques

Les informations relatives aux groupes fauniques autres que les oiseaux d'eau font, pour ainsi dire, cruellement défaut. L'Erythrocebus (*Cercopithecus patas*) et le Singe vert (*C. aethiops*) se rencontrent dans les zones boisées, tandis que le Chacal à flancs rayés (*Canis adustus*) est plus largement répandu. Le périmètre rizicole recèle d'importantes populations de rats, de souris et d'insectes (notamment les sauterelles, les criquets et les coléoptères) qui attirent des oiseaux prédateurs tels que le Hibou du Cap (*Asio capensis*), l'Elanion blanc (*Elanus caeruleus*) et l'Elanion naucleur (*Chelictinia riocourii*) (voir ci-dessus).

Selon les populations locales, l'Hippopotame (*Hippopotamus amphibius*), le Lamantin d'Afrique (*Trichechus senegalensis*) et le Varan du Nil (*Varanus niloticus*) se rencontrent dans le fleuve Niger voisin. Les pêcheurs installés près du Molodo signalent l'apparition occasionnelle d'hippopotames, tandis que les rumeurs concernant les crocodiles qui vivraient dans la zone des fala n'ont pas été vérifiées dans le cadre d'enquêtes plus approfondies. Cependant, la zone des fala présente un habitat apparemment adapté: des endroits herbeux et boueux, de vastes étendues de Typha, une eau libre avec de la végétation submergée et des berges broussailleuses. Les cours d'eau permanents dans la zone de fala sont, par conséquent, très adaptés pour ces espèces. Mais, par ailleurs, ils sont soumis à une forte pression humaine.

11.5 Expansion future: perspectives et contraintes

La consolidation future et le développement de l'Office du Niger constituent une priorité majeure pour le Mali. Sur le million d'ha naguère considérés comme adaptés à l'irrigation, seuls 6% sont exploités, à l'heure actuelle. En 1998, l'Office du Niger a mis en route un plan de développement régional (Schéma Directeur de Développement) au titre duquel différents scénarios – à court et long terme – pour l'expansion future ont été élaborés. Keita *et al.* (2002) décrivent de façon fort judicieuse l'expansion prévue et les difficultés qui se profilent à l'horizon. À la lumière de leurs conclusions et des données hydrologiques supplémentaires tirées du Chapitre 2, il apparaît clairement qu'il existe des limites à cette expansion.

La zone administrative de l'Office du Niger couvre huit «systèmes hydrauliques», d'une superficie totale de 1 million ha, qui se prêtent, en principe, à l'irrigation. Seule une infime partie de cette superficie, soit 740 km², est irriguée à l'heure actuelle (Fig. 11.12). Dans le plan de développement régional, un scénario prudent prévoit une extension de ce périmètre de 14 000 à 23 000 ha au cours des prochaines décennies. Avec l'assistance des investisseurs nationaux et/ou étrangers, ce chiffre pourrait être porté à 30 000-40 000 ha en 2020 (Téné & Tonneau 2002, voir Bélières & Kuper 2002). Plusieurs études de la meilleure encre (notamment Bélières & Kuper 2002, N'Diaye 1998, Téné & Tonneau 2002, Keita *et al.* 2002) ont attiré l'attention sur le fait que, outre les besoins financiers importants, l'extension du périmètre irrigué comporte des limites d'ordre tant hydrologique qu'environnemental. Ces contraintes sont résumées ci-dessous.



Fig. 11.12. Systèmes hydrauliques dans la zone de l'Office du Niger couvrant une superficie de 1 million d'ha (Keita *et al.* 2002). La zone d'étude du plan de développement régional (Schéma Directeur de Développement) est encore plus vaste, portant sur 2,8 millions d'ha.

Sols et superficie

Lorsque l'on prend en compte les types de sols et le relief, le million d'ha couvert par les huit systèmes hydrauliques (Fig. 11.12) de la zone de l'Office du Niger se prête à l'irrigation par gravité (Keita *et al.* 2002).

Hydrologie

La plupart des études mettent en exergue les contraintes hydrologiques liées à l'extension du périmètre, en particulier en saison sèche, lorsque le débit du fleuve est le plus faible. Kuper *et al.* (2002a) ont déjà conclu que l'extension du périmètre est impossible avec Sélingué comme unique réservoir. À l'heure actuelle, l'Office du Niger utilise comme norme pour la consommation totale d'eau 2,4 l/s/ha. Mais, pour l'extension, l'objectif est de 2,0 l/s/ha. La principale contrainte tient au débit du fleuve en mai-juin, période de l'étiage. Tel qu'il ressort de la Fig. 11.13, le débit naturel croît grâce au réservoir de Sélingué et, jusqu'ici, la consommation d'eau dans l'Office du Niger a pu être satisfaite (voir également Chapitre 2). Même en juin 1999, lorsque la gestion de l'eau à Sélingué a entraîné une baisse du débit du fleuve (Kuper *et al.* 2002b), cette baisse n'a guère affecté la consommation d'eau à Markala. Cependant, il semble qu'au cours d'une série d'années plutôt sèches en mai (1989-95), le débit naturel n'a pas suffi pour satisfaire les besoins d'eau du périmètre irrigué de l'Office du Niger, la consommation d'eau dépendant entièrement de Sélingué.

En utilisant la norme de 2 l/s/ha, une superficie de 100 000 ha peut être irriguée avec un débit de 200 m³/s. Pour 200 000 ha, ce débit est de 400 m³/s et pour 960 000 ha – la superficie qui était prévue en 1930 – 1 900 m³/s sont nécessaires, selon les calculs de Keita *et al.* (2002). En réalité, les besoins sont encore plus importants, dans la mesure où plus la superficie est vaste plus le taux d'évaporation est élevé (et l'eau doit être transportée sur de longues distances), tandis qu'il ne s'agit guère d'une relation linéaire. Le débit moyen en mai et juin au cours de la période 1989-2003 était de 150 m³/s et de 233 m³/s, respectivement. Cependant, ce débit ne peut être entièrement utilisé pour couvrir la consommation d'eau aux fins d'irrigation, car au moins un débit écologique minimal est nécessaire afin d'éviter des problèmes en aval. Bien que ce débit minimum requis n'ait pas encore fait l'objet d'une étude circonstanciée, il existe des indications à cet égard. Au

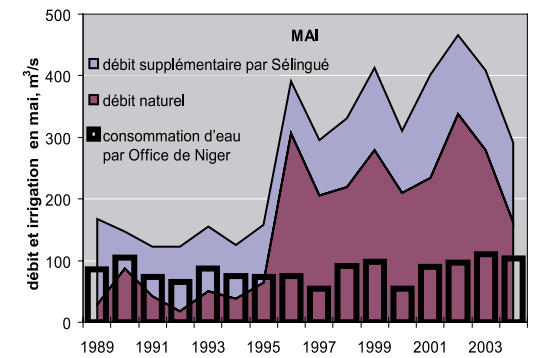


Fig. 11.13. Consommation d'eau à Markala en mai au cours de la période 1989-2004, ainsi que le débit naturel du fleuve et le débit supplémentaire assuré par Sélingué. Source: ON.

Chapitre 12 – Évaluation écologique – nous affirmons que le niveau d'eau à Akka dans le Delta Intérieur du Niger ne devrait pas baisser en dessous de -0,40 cm tant pour des raisons écologiques, qu'économiques (survie des ressources piscicoles). Afin de maintenir ce niveau, un débit minimum de 50 m³/s à Ké-Macina s'avère nécessaire. Avec ce débit, les obligations internationales seraient également honorées. La condition préalable supplémentaire du débit minimum comporte des conséquences pour la consommation d'eau maximale pendant l'étiage. Lorsque ce débit minimum est soustrait du débit moyen de 150 m³/s en mai, nous obtenons 100 m³/s qui sont disponibles pour la consommation d'eau aux fins d'irrigation. Ceci n'est pas loin de la consommation d'eau actuelle en mai (83,8 m³/s au cours de la période 1989-2003).

De l'analyse ci-dessus, il ressort que déjà, dans la situation actuelle, pendant une partie de l'année – pendant l'étiage critique – le niveau maximum qui peut être retiré du débit du fleuve est presque atteint. Par conséquent, il est impossible d'étendre de façon significative le périmètre irrigué, avec Sélingué comme unique réservoir, tel que l'ont déjà conclu Kuper *et al.* (2002).

Selon Keita *et al.* (2002), l'extension du périmètre irrigué est possible à court terme – la consommation d'eau n'augmente pas pour autant – grâce à une meilleure gestion de l'eau et à l'utilisation d'un système adapté de semis tant pour la campagne d'hivernage que pour celle de contre-saison. En ce qui concerne



la campagne d'hivernage, les estimations faites par ces auteurs atteignent une superficie irriguée maximale de 108 000 ha, tandis que pour le système de double récolte, elles donnent une superficie totale de 86 000 ha. Bien qu'ils ne mentionnent pas le débit minimum requis, ils soulignent la nécessité d'assurer une gestion intégrée de l'eau du Haut Niger en tenant compte des intérêts tant en amont qu'en aval.

Dégradation des sols

Comme dans tous les systèmes d'irrigation à travers le monde, il existe toujours un important risque d'épuisement/dégradation des sols et certains processus tels que la salinisation, l'alcalinisation et la sodification. Dans le cas du périmètre irrigué de l'Office du Niger, plusieurs études portant sur ces problèmes ont été exécutées (notamment N'Diaye 1998). La dégradation des sols constitue un phénomène répandu dans cette zone. La mesure dans laquelle elle se produit dépend

de la texture du sol et varie beaucoup d'un site à un autre. Selon l'étude de N'Diaye (1998), dans la zone de N'Débougou, 1% de la superficie est affectée, tandis que ces chiffres atteignent 6,9 et 13% pour les zones de Niono et Molodo, respectivement. A court terme, on ne s'attend pas à ce que ces processus liés à l'irrigation donnent lieu à des préoccupations majeures. Mais, à long terme (plus de 20 ans), ainsi que pour une expansion future, il existe une menace potentielle (Malet & N'Diaye 2002).

Afin de prévenir la dégradation des sols dans l'Office du Niger, le drainage et le transport de l'eau d'irrigation revêtent une importance capitale. A long terme, l'actuel système hydrologique pourrait s'avérer peu adapté à cet égard. L'une des solutions possibles, qui est prévue dans le plan de développement régional, concerne la construction d'un «Collecteur du Sahel». Il s'agirait d'un canal de drainage neuf de grande capacité, qui acheminerait l'eau soit vers le Niger, à Ké-Macina (à

l'Est de l'Office du Niger, à l'entrée du Delta Intérieur) soit vers le Nord, en direction du lac Débo, au centre du Delta Intérieur du Niger. Compte tenu du coût élevé et des nombreux problèmes d'ordre social, économique et environnemental, il est peu probable qu'un tel projet soit réalisable (Bélières & Kuper 2002).

Autres contraintes socioéconomiques et environnementales

Les populations dans la zone de l'Office du Niger sont confrontées à de graves problèmes de santé. Il s'agit de maladies telles que le paludisme, la bilharziose et les diarrhées semi-épidémiologiques qui sont très liées à l'omniprésence d'eau stagnante peu profonde et aux conditions sanitaires déplorables (exemple Niono). L'on est en droit de s'attendre à ce que l'expansion du périmètre irrigué se traduise par une recrudescence de ces maladies, comme ce fut le cas dans le Delta du Sénégal (voir Peeters 2003).

L'accroissement considérable de la population au niveau du périmètre irrigué (Fig. 11.2) et la présence d'importants troupeaux de bétail en saison sèche entraînent une sérieuse dégradation de la végétation environnante, ainsi qu'une forte demande de bois. Selon Nouvellet & Sanogo (2002), la croissance démographique s'est accompagnée de l'accroissement de la demande annuelle de bois. Ils font état d'une consommation moyenne de bois de 0,53 à 0,57 t par habitant par an. Compte tenu de l'effectif de la population actuelle, soit 270 000 habitants (2001-02), ceci équivaut à une consommation annuelle de bois de 143 000 t. L'accroissement de la population se traduira par l'accentuation de la pression environnementale et écologique. Une gestion durable des ressources ligneuses et forestières est, par conséquent, nécessaire (Nouvellet & Sanogo 2002).

La pratique de l'agriculture irriguée et la conversion des champs de paddy en pâturage après les récoltes, dans l'Office du Niger, constituent une source de préoccupations. En particulier, la zone septentrionale attire d'importants troupeaux venant du Nord du Mali et de la Mauritanie pendant la période de transhumance. Tandis que l'engrais organique constitue une source importante de fertilisation, l'action des grands troupeaux cause la dégradation des sols et de la végétation. En particulier, en ce qui concerne les cultures de contre-saison, ceci entraîne de plus en plus des conflits entre les riziculteurs et les éleveurs (le Masson et al. 2002).

Contraintes et changements écologiques

Enfin, il existe des contraintes d'ordre écologique. La zone des fala a connu une évolution écologique majeure, lorsque l'eau dont le niveau fluctuait par le passé est devenue un écosystème plus ou moins stagnant. À l'instar des zones humides similaires – notamment le Delta du Sénégal – ceci entraîne un accroissement rapide de la végétation de Typha et d'espèces envahissantes telles que la jacinthe d'eau et la salade d'eau. Outre ces changements écologiques, ces plantes entraînent également l'obstruction du système d'irrigation. À long terme, ceci peut nécessiter un nettoyage mécanique des fossés et des canaux (dans l'hypothèse où un traitement chimique ne serait pas souhaitable). Ce processus verra le jour indépendamment de l'extension du périmètre irrigué.

D'une manière générale, il convient de souligner que l'extension du périmètre créera également de nouvelles zones humides. La valeur écologique des rizières irriguées est très tributaire de la présence d'aires de repos importantes (cours d'eau, forêts) où les oiseaux d'eau et autres animaux ne seraient ni perturbés ni chassés (van der Kamp et al. 2005). Bien que les valeurs écologiques du périmètre irrigué n'aient pas été suffisamment mises en exergue à ce jour, elles pourraient constituer un thème à prendre en compte dans les initiatives futures. Afin de compenser les dégâts causés aux cultures, il convient de prendre en compte également le rôle important que jouent plusieurs espèces d'oiseaux d'eau en tant qu'agents biologiques de lutte contre les nuisibles.

11.6 Conclusions

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de la description concise du périmètre irrigué de l'Office du Niger :

- Le périmètre irrigué de l'Office du Niger couvre une superficie de 74 000 ha et produit 320 000 t de riz par an. De plus en plus, un certain nombre d'autres cultures y sont cultivées, notamment le maïs et les légumes. A l'heure actuelle, l'Office du Niger est devenu le système d'irrigation le plus important en Afrique de l'Ouest et constitue une source sûre de denrées alimentaires indépendante des précipitations et du niveau des crues. De nos jours (2000), la production du Mali couvre 90% de la demande nationale, l'Office du Niger représentant 40%. La production rizicole actuelle de l'Office du Niger revêt, par conséquent, une importance capitale à l'échelle nationale.
- L'extension récente du périmètre rizicole et le bond énorme de la production ont été réalisés indépendamment des précipitations et sans avoir recours à une quantité d'eau supplémentaire. En d'autres termes, l'eau a été utilisée de façon beaucoup plus efficace que par le passé. Dans le même temps, la consommation d'eau à Markala a des conséquences en aval, notamment une réduction de la production de riz de 20 000 t dans le Delta Intérieur du Niger, outre les conséquences pour la production piscicole, l'élevage et la biodiversité.
- Les zones humides importantes du périmètre irrigué de l'Office du Niger sont les zones rizicoles irriguées et les marécages stagnants de la zone des fala. Une évaluation de la valeur ornithologique (inter)nationale montre également qu'au moins 8 espèces d'oiseaux d'eau de la zone figurent au nombre des espèces dont les effectifs sont importants selon les normes internationales. Toutes les grandes forêts de la zone de l'Office du Niger constituent des zones potentielles importantes pour les colonies de Hérons, d'Aigrettes et autres grands échassiers nicheurs. Les plans d'eau

permanents dans la zone des fala présentent un fort potentiel pour les mammifères et les reptiles aquatiques. D'une manière générale, l'importance écologique actuelle est soumise à de fortes pressions, en raison des programmes de bonification et des autres perturbations causées par l'homme et l'exploitation.



- Le développement futur de la zone de l'Office du Niger revêt une importance primordiale pour le Mali. Plusieurs études attirent l'attention sur le fait qu'une extension du périmètre irrigué comporte des limites à la fois hydrologiques et environnementales.
- La contrainte la plus importante concerne la consommation d'eau. Le goulot d'étranglement tient au débit

du fleuve pendant l'étiage, lorsque la consommation d'eau du périmètre irrigué de l'Office du Niger dépend entièrement de Sélingué.

- En tenant compte du débit minimum requis pendant l'étiage critique – nécessaire pour éviter des problèmes en aval – déjà dans la situation actuelle, la

Typha et la jacinthe d'eau. L'importance écologique pourrait constituer, cependant, un thème à prendre en compte dans les initiatives futures au titre desquelles le rôle important que jouent de nombreuses espèces d'oiseaux d'eau en tant qu'agents biologiques de lutte contre les nuisibles pourrait recevoir de l'attention.



consommation d'eau a atteint son niveau maximum. Par conséquent, une importante extension future du périmètre est impossible, avec Sélingué comme unique réservoir. Tel que proposé dans d'autres études, compte tenu de l'actuelle consommation d'eau, une extension future n'est possible que si elle s'accompagne d'une meilleure gestion de l'eau et de la mise en place de systèmes de culture mieux adaptés.

- Au nombre des autres principales contraintes figurent la dégradation des sols et de la végétation, la demande croissante de bois et les conflits croissants entre agriculteurs et éleveurs. En outre, les populations dans la zone de l'Office du Niger sont confrontées à de graves problèmes de santé qui sont liés à l'omniprésence de plans d'eau stagnants peu profonds et à la situation sanitaire déplorable.
- L'importance écologique du périmètre irrigué n'a pas été suffisamment mise en exergue à ce jour. L'attention a été accordée, dans une large mesure, aux aspects négatifs, notamment les dégâts causés aux cultures et le développement d'espèces envahissantes tels que le

12 ÉVALUATION ÉCOLOGIQUE DES BARRAGES ET D'IRRIGATION DU HAUT NIGER



Eddy Wymenga
Jan van der Kamp
Bouba Fofana
Leo Zwarts

12.1 Introduction

Les conséquences écologiques des changements hydrologiques dans le bassin du Haut Niger ont des implications profondes. Le bassin joue un certain nombre de rôles aux niveaux tant régional que national, dont la plupart influe directement sur le bien-être des populations maliennes. Les changements écologiques dans le Delta Intérieur du Niger ont également une dimension internationale. Au Pays-Bas, par exemple, plusieurs programmes gouvernementaux ont vocation à protéger les oiseaux d'eau nicheurs afrotropicaux et les oiseaux d'eau paléarctiques menacés de disparition. Les montants affectés par an à ces programmes atteignent des dizaines de millions d'euros. Les espèces concernées par ces mesures sont, pour l'essentiel, des oiseaux d'eau migrateurs du Paléarctique qui séjournent dans le Sahel pendant la saison internuptiale. Les efforts susmentionnés s'avèreront vains lorsque le taux de mortalité pendant la saison internuptiale, c'est-à-dire au niveau des sites de transit et pendant la migration, dépasse systématiquement celui du recrutement pendant la saison de reproduction. Un séjour réussi de ces oiseaux aquatiques dans le Delta Intérieur du Niger dépend des conditions hydrologiques et écologiques connexes. Il s'ensuit que plusieurs raisons militent en faveur de l'intérêt de la communauté internationale pour les changements écologiques dans le Delta Intérieur du Niger.

Dans le présent chapitre, nous passons en revue les changements écologiques intervenus dans le bassin du Haut Niger suite à des changements d'ordre hydrologique. La Section 12.2 porte sur les changements d'habitat, notamment les zones humides naturelles et artificielles. A la Section 12.3, nous étudions l'impact de la réduction des crues dans le Delta Intérieur du Niger sur les niveaux de population des oiseaux d'eau et des autres animaux. Dans cette section, nous analysons également le concept du débit minimum requis, en d'autres termes le débit minimum du fleuve nécessaire pendant la saison des basses eaux afin d'éviter la baisse excessive des niveaux d'eau dans les lacs centraux du Delta Intérieur du Niger. Les conclusions du présent chapitre sont présentées à la Section 12.4.

12.2 Habitats humides naturels et artificiels

Par habitat, on entend l'environnement naturel des plantes et des animaux et ce concept va au-delà de la végétation au sens strict du terme. Certaines espèces sont particulièrement attachées à un type d'habitat pendant tout ou partie du cycle de leur vie. Les pâturages de bourgou constituent un exemple de type d'habitat, à cet égard, dans la mesure où ils s'avèrent indispensables pour les alevins, en tant qu'habitat de croissance, leur assurant protection et nourriture (Bacalbasa-Dobovrici, 1971, cité dans Welcomme 1986, Paugy & Lévêque, 1999). Un autre exemple a trait aux forêts inondées qui jouent un rôle essentiel en tant qu'habitat de reproduction pour les oiseaux d'eau vivant en colonie. L'une des premières étapes de cette évaluation écologique consiste à mener une enquête sur les changements et la qualité de l'habitat. Dans la présente section, nous nous attachons à démontrer comment les habitats de la plaine inondable du Delta Intérieur du Niger sont soumis à pression, en raison de changements hydrologiques qui s'opèrent dans le bassin. Nous démontrons également que les habitats de zones humides artificielles – rizières irriguées et réservoirs – ne compensent pas la perte de l'habitat des plaines inondables naturelles, du fait des différences en termes de valeurs naturelles.

Changements de superficie

Les interventions dans le bassin du Haut Niger, notamment la rétention d'eau par le biais des barrages ou le prélèvement d'eau aux fins d'irrigation, se traduisent par une réduction du débit du fleuve (Chapitre 2.5). Ceci entraîne une réduction de la superficie inondée (Chapitre 3.6) et de la durée des crues (Chapitre 3.7), ce qui affecte particulièrement les habitats qui nécessitent des conditions d'inondation extrêmes. Dans le Delta Intérieur du Niger, il s'agit – du bas vers le haut dans la zone d'inondation – des zones herbeuses dans les dépressions, des pâturages de bourgou flottants, des champs de riz sauvage (oryzaies) et des forêts inondées d'*Acacia kirkii* (Chapitre 6.3).

A l'aide du modèle d'inondation (Chapitre 3.5) et de la carte de la végétation (Chapitre 6.3), nous avons évalué les superficies des principaux types d'habitat au titre des différents scénarii (Tableau 12.1). Le changement de la superficie des habitats n'est pas proportionnel à celui de la zone inondée, tel qu'indiqué au Chapitre 7.3 pour le bourgou et au Chapitre 8.3 pour le riz. Dans le scénario de référence (Scénario 0), la superficie des habitats de plaine inondable aurait été beaucoup plus importante, bien qu'il n'aurait point été possible d'évaluer la superficie de tous les principaux habitats. Il est difficile d'évaluer l'impact sur les forêts inondées, par exemple, à l'aide de cette approche (Chapitre 6). Cependant, il est établi que par le passé, pendant les années de forte crue, la zone recouverte de forêts était beaucoup plus vaste (Chapitre 9, Wymenga et al. 2002). Dans la partie méridionale du Delta Intérieur du Niger, par exemple, le transfert des rizières vers les zones de dépression de la zone d'inondation s'est fait suite à la destruction des forêts d'inondation (Chapitre 8.3). Ceci aurait pu se faire sans perturbation, mais les chances de récupération des forêts d'inondation auraient été beaucoup plus importantes dans ce scénario. Tel qu'indiqué au Tableau 12.1, le bourgou est l'habitat le plus affecté. Par rapport au Scénario 0, le barrage de Fomi dont la construction est prévue, réduira davantage la superficie des champs de bourgou optimaux de 68,6 % (soit 62 % par rapport à la situation actuelle).

Les ouvrages hydrologiques dans le Haut Niger ont également créé (ou sont appelés à créer) de nouvelles zones humides (Chapitres 10 et 11). Il s'agit des lacs de réservoir créés par le barrage de Sélingué et le futur barrage de Fomi, des zones irriguées elles-mêmes et des marécages de fala dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger. Le périmètre irrigué de Fomi, au cas où le barrage de Fomi serait construit, devrait avoir une superficie de 300 km² (Chapitre 2.3). En comparant la perte totale en termes de superficie inondée (deuxième ligne, Tableau 12.1), avec la superficie totale de l'habitat artificiel (lignes inférieures), nous sommes parvenus à la conclusion que la gestion de l'eau au niveau de l'Office du Niger et du barrage de Fomi crée un nouvel habitat de zones humides. Mais, celui-ci ne compense pas les pertes d'habitats de zones humides en aval.

Les changements des habitats dus aux barrages et au prélèvement d'eau dans le bassin du Haut Niger ne constituent pas un cas isolé. Keddy (2002) montre comment l'hydrologie et la fertilité constituent

deux facteurs clés qui déterminent le type de zones humides que l'on rencontre dans un milieu. Il souligne également que la variabilité naturelle des conditions, notamment celles liées aux fortes crues et à la faiblesse de la fertilité, est en voie de disparition. Dans de nombreuses zones humides à travers le monde, les espèces de milieux humides sont dominées par le typha spec. La construction des barrages et le dépôt de nutriments sont deux des principaux processus qui sous-tendent ce phénomène (Keddy 2002). C'est également ce qui s'est produit dans le Delta du Sénégal, où la construction des barrages, associée à l'eutrophisation (eau de drainage des systèmes d'irrigation), a entraîné un changement en vertu duquel l'on est passé des habitats de plaine inondable à une végétation Typha (voir références dans Peeters 2003). Sur une échelle beaucoup plus réduite, ce processus s'est produit dans la zone de fala au niveau de l'Office du Niger. D'autres "plantes nuisibles" se développent dans ces conditions plus ou moins stagnantes et eutrophes, (voir Encadré 12.1). Dans le Delta Intérieur du Niger, on rencontre rarement le Typha, bien que l'UICN (1989) signale la présence de "typhaies" dans le lac Horo et par le passé dans les lacs Aougoundou et



Faguibine. Le phénomène de réduction plus récurrent de la dynamique des crues s'est produit dans tous les principaux systèmes fluviaux de la zone du Sahel occidental. Les ouvrages hydrologiques sur le Sénégal (barrages de Diama et de Manantali), la Bénoué (barrage de

Tableau 12.1: Superficie moyenne (km²) des principaux habitats humides dans le Delta Intérieur du Niger, Sélingué et dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger au titre de quatre scénarios. Pour les zones herbeuses et les forêts d'inondation, seule une indication qualitative peut être fournie. Le changement proportionnel par rapport au Scénario 0 est indiqué entre parenthèses. La superficie de l'habitat optimal pour le bourgou et le riz est obtenue à partir des données indiquées aux Chapitres 7.3 et 8.3.

Scénario	0. Sans Sélingué & ON	1. Avec Sélingué & sans ON	2. Situation actuelle	3. Sit. act. + barrage Fomi
Surface inondée	12,765	12,165	11,865	10,765
Perte surface inondée (relevante pour Sc0)		600 (-4,7)	900 (-7,1)	2000 (-15,8)
Zone fala – conditions naturelles	160	160	0	0
Typiques habitats plaines inondables				
végétation basse <i>Cyperus</i> -herbes	+	-	-	--
Paturages optimum de Bourgou - y compris <i>Nénuphars</i>	1212	1078 (-11,1)	999 (-17,6)	380 (-68,6)
Forêts inondées d' <i>Acacia kirkii</i>	++	-	-	--
Camps riz sauvages – <i>Oryzaies</i>	++	-	-	--
Optimum champs de riz cultivés dans la plaine inondable	1090	1052 (-3,5)	999 (-8,3)	790 (-27,5)
Nouveaux habitats de zones humides créées				
Eau libres - lacs permanents	0	280	280	580
<i>Typha</i> -marécage et eau libre permanente (zone fala)	0	0	160	160
Zone irrigué, plupart champs riz	0	13	753	1053

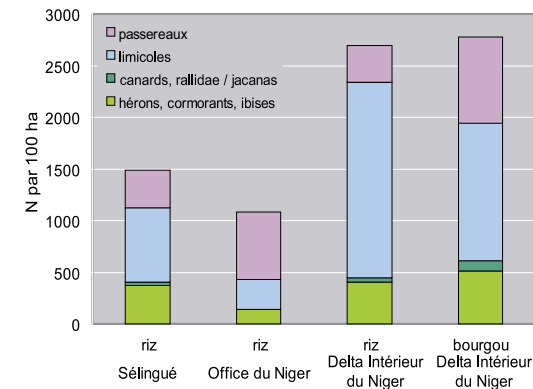
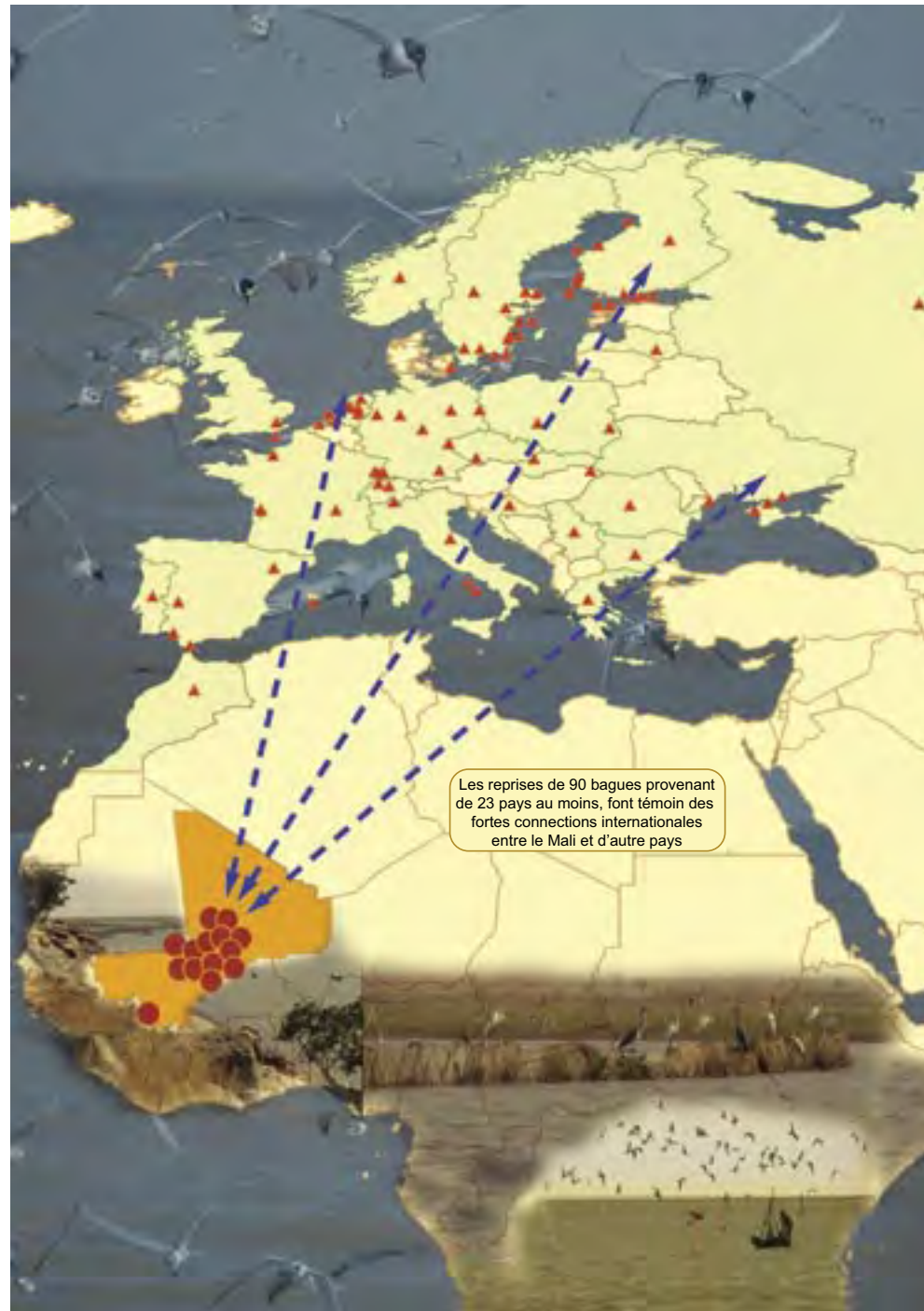


Fig. 12.1: Densité moyenne (n/km^2) des oiseaux d'eau et d'autres espèces de milieux humides dans les rizières irriguées à Sélingué, dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger (riz-ON), ainsi que dans les rizières et champs de bourgou dans la plaine inondable du Delta Intérieur du Niger (DIN). Toutes les données couvrent la période de décembre-mars 2002-03 et 2003-04. Le nombre de parcelles est indiqué ci-après pour chaque échantillon: 330 (Sélingué), 716 (Office du Niger), 64 (rizières dans le Delta Intérieur du Niger) et 327 (pâturages de bourgou dans le Delta Intérieur du Niger).

Lagdo) et sur le Chari-Logone (barrage de Maga, SEMRI I, II) ont réduit considérablement la dynamique des crues, et partant la superficie des habitats de la plaine inondable dans ces régions. Dans tous ces cas, d'autres effets en cascade ont été signalés (Loth 2004, Ngounou Ngatcha et al. 2002, Peeters 2003, Scholte et al. 1996). De toute évidence, les habitats caractéristiques des plaines inondables sont soumis à des pressions dans la zone du Sahel occidental, du fait de l'agriculture irriguée. Cependant, dans un passé plus ou moins récent, l'on a entrepris la restauration partielle de l'habitat de plaine alluviale en rétablissant les conditions de crues. Les initiatives de restauration au niveau de la plaine inondable du Waza-Logone et du Parc National Diawling (bas delta du Sénégal) sont encourageantes. Cependant, les résultats varient et dépendent de la situation au niveau local et de la pression humaine sur les habitats nouvellement restaurés (Hamerlynck et al. 2002, Scholte et al. 2000a-b, Loth 2004, Hamerlynck & Duvail 2003).

Comparaison des densités d'oiseaux d'eau

Dans le cadre de la présente étude, les densités d'oiseaux d'eau ont été évaluées sur un échantillon de parcelles (Appendice 8; van der Kamp et al. 2005). Sur la base de ces données, nous avons procédé à la comparaison des rizières irriguées de Sélingué et l'Office du Niger, d'une part, et des pâturages de bourgou et des rizières dans les plaines inondables du Delta Intérieur du Niger, d'autre part (Fig. 12.1). Les densités des oiseaux d'eau, ainsi que la diversité des espèces, sont (beaucoup) plus élevées dans la plaine inondable. La plupart des espèces d'oiseaux se rencontraient dans les pâturages de bourgou (46). Le nombre des espèces dans les rizières est relativement faible et grossièrement le même pour les trois zones: le Delta Intérieur du Niger (27), Sélingué (32) et l'Office du Niger (23). La densité totale des oiseaux d'eau dans les rizières des plaines inondables est beaucoup plus élevée que celle des rizières irriguées. Les densités les plus élevées dans les plaines inondables (pour les autres principaux habitats, voir Fig. 9.7) concernent en particulier les limicoles et le groupe (essentiellement piscivore) des Cormorans, Hérons et Ibis. En ce qui concerne les passereaux, pour lesquels la Bergeronnette printanière constitue l'écrasante majorité, les différences sont moins prononcées.

Compte tenu de la grande différence entre les habitats, en termes de densité des oiseaux d'eau, à laquelle s'ajoutent les changements d'habitat (Tableau 12.1), les barrages et le prélèvement d'eau entraînent une perte considérable d'habitats appropriés pour les oiseaux d'eau. Aux fins de la comparaison des scénarios, nous avons utilisé une valeur quantitative, prenant en compte l'importance internationale du Delta Intérieur du Niger et des périmètres irrigués. Au Tableau 12.2, ceci est illustré pour le Héron cendré (*Ardea cinerea*) et le Chevalier sylvain (*Tringa glareola*). Le nombre total d'oiseaux présents dans chaque scénario a été calculé à l'aide des densités moyennes des oiseaux d'eau, sur la base de la superficie par habitat indiquée au Tableau 12.1. Ce calcul a été fait séparément pour les superficies optimales des pâturages de bourgou et des rizières de la plaine alluviale (densités moyennes indiquées à l'Appendice 8), le périmètre irrigué de Sélingué (Tableau 10.1), celui de l'Office du Niger (Tableau 11.1) et le système d'irrigation prévu du barrage de Fomi (Scénario 3). Pour obtenir la densité des oiseaux d'eau dans la zone de Fomi, l'on a fait la moyenne des densités de Sélingué et du périmètre irrigué de l'Office du Niger.



Espèces envahissantes

Dans les conditions naturelles, les cours d'eau permanents dans la zone du Sahel occidental n'existent pas ou sont rares, hormis les fleuves et les lacs connexes. Suite à l'aménagement hydroagricole et à la construction des réservoirs, cette situation a changé. Ces plans d'eau permanents ayant une nappe plus ou moins stagnante, qui ne tarissent pas pendant les saisons chaudes et sèches, offrent d'importantes opportunités pour le développement des espèces envahissantes. De nos jours, la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*), l'adventice Kabila (*Salvinia molesta*), la laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) et la fougère d'eau rouge (*Azolla filliculoides*) sont très répandues, partout où des changements hydrologiques artificiels donnent lieu à des milieux aquatiques permanents

et stagnants. De même, la queue de renard (*Typha australis*) prolifère dans ces conditions. Dans la mesure où les espèces envahissantes sont en concurrence avec les espèces locales et obstruent les cours d'eau et les canaux d'irrigation, elles sont souvent considérées comme des plantes nuisibles. Certaines de ces espèces abondent à Sélingué et dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger. Dans le Delta Intérieur du Niger, au contraire, elles sont rares. Depuis 2002, les jacinthes d'eau se rencontrent, cependant, sur le lac Fati qui dispose à présent d'une arrivée d'eau permettant de réguler les crues (barrage). La laitue d'eau est présente dans les forêts d'inondation de Dentaka, où elle profite des conditions créées près des colonies d'oiseaux d'eau nicheurs.

Tableau 12.2. Evaluation indicative des scénarios fondée sur les densités d'oiseaux d'eau. Pour chaque scénario, et séparément pour les bourgoutières et les rizières dans le Delta Intérieur du Niger et les périmètres irrigués en amont, le nombre estimatif, le nombre de fois de critère de 1 % est dépassé (valeur) et un indice correspondant sont indiqués pour le Héron cendré (*Ardea cinerea*) et le Chevalier sylvain (*Tringa glareola*). Le même calcul a été effectué pour tous les oiseaux d'eau pour lesquels l'indice global est indiqué dans la colonne de droite. Les chiffres estimatifs sont calculés à l'aide des densités moyennes des oiseaux d'eau de décembre à mars (Tableaux 10.1, 11.1 et données de l'Appendice 8) et des superficies des habitats concernés tirées du Tableau 12.1. Le critère de 1 % pour le Héron cendré, est la moyenne des critères de 1 % de l'Europe de l'Ouest et de l'Europe de l'Est (2 200-2 700 oiseaux; voir Tableau 9.3).

Espèces		Héron cendré (critère - 1% 2.450)		tous les oiseaux d'eau
Type de habitat / scénario	nombre estimé	Score	Index	Index total
Bourgou & champs riz	0. sans Sél & ON	38.961	15,9	100,0
	1. avec Sél, sans ON	35.108	14,3	93,4
	2. situation actuelle: avec Sél & ON	32.667	13,3	87,9
	3. situation actuelle + Fomi	14.681	6,0	55,6
zones irriguées	0. sans Sél & ON	0	0,0	0,0
	1. avec Sél, sans ON	0	0,0	0,1
	2. situation actuelle: avec Sél & ON	550	0,2	1,4
	3. situation actuelle + Fomi	150	0,1	1,9
Chevalier sylvain (critère - 1% 10.400)				
Bourgou & champs riz	0. sans Sél & ON	492.077	47,3	100,0
	1. avec Sél, sans ON	444.637	42,8	90,4
	2. situation actuelle: avec Sél & ON	414.086	39,8	84,2
	3. situation actuelle + Fomi	192.114	18,5	39,0
zones irriguées	0. sans Sél & ON	0	0,0	0,0
	1. avec Sél, sans ON	5.162	0,5	1,0
	2. situation actuelle: avec Sél & ON	66.385	6,4	13,5
	3. situation actuelle + Fomi	77.670	7,5	15,8

Les chiffres obtenus pour les deux espèces sont indiqués au Tableau 12.2, à la colonne "chiffres estimatifs". Nous avons déterminé le nombre de fois où le critère de 1 % de la Convention de Ramsar a été dépassé. Cette valeur est également présentée comme indice au Tableau 12.2, fixant à 100 le nombre au titre du scénario de référence (0). Les résultats montrent l'impact des différents scénarios pour les habitats de plaine inondable (perte) et les périmètres irrigués (gain) séparément. Il convient de relever la différence entre les espèces: le Chevalier sylvain profite beaucoup plus des rizières irriguées artificielles que le Héron gris. Il en va de même pour les

autres espèces abondantes dans les périmètres irrigués, notamment la Bergeronnette printanière et le Héron garde-bœufs (*Bubulcus ibis*).

Un calcul similaire a été effectué pour toutes les espèces d'oiseaux d'eau. Tous ces différents indices ont permis de calculer un indice global (indiqué dans la colonne de droite du Tableau 12.2). En tant qu'indicateur des conséquences écologiques, cet indice comporte plusieurs lacunes, dans la mesure où il ne prend en compte que les densités d'oiseaux d'eau pour un nombre limité d'habitats, ne couvre pas toute la gamme d'espèces et ne tient pas compte des principaux processus biologiques

sous-jacents (voir Section 9.3). Il n'en constitue pas moins un moyen de comparer les différents scénarios. Il ressort des résultats que, du fait du barrage de Sélingué et du périmètre irrigué de l'Office du Niger, l'indice baisse, s'établissant à 93,4 et 87,9, respectivement. La construction du barrage de Fomi aurait pour effet de réduire d'environ 50 % l'indice en aval. Dans la situation actuelle, la perte est de 36 %. Toutefois, il ressort



clairement de l'évaluation quantitative que la valeur des périmètres irrigués artificiels ne représente qu'une infime partie de celle des habitats de plaines inondables et que celle-ci ne compense, par conséquent, nullement les pertes en aval.

La présente étude, ainsi que les travaux de Orange *et al.* (2002), tendent à montrer que le Delta Intérieur du Niger est un système tributaire des crues à tous points de vue, qui est adapté à la dynamique du "pouls des crues" (Arfi 2002b, voir également Junk *et al.* 1989). Lorsque les niveaux de crue sont élevés, les ressources alimentaires sont disponibles en abondance, ce qui se traduit par une augmentation sensible de la production biologique (production primaire, poissons, animaux et autres espèces fauniques) et du recrutement, ainsi que par la réduction de la mortalité. Lorsque les crues sont faibles, la tendance s'inverse. La superficie inondée dans les plaines inondables diminue. Par conséquent, les conditions d'alimentation empirent à tous les niveaux

12.3 Impact sur les niveaux de populations

du système. En particulier, lorsque les crues sont à leurs niveaux les plus bas, il existe une concurrence de plus en plus marquée pour la nourriture qui se concentre autour des points humides restants. Les limites en ce qui concerne la nourriture disponible ont une incidence sur le niveau de recrutement et la mortalité de nombreux organismes. Dans ces conditions extrêmes, l'exploitation humaine tend également à se concentrer, ce qui se traduit par le surpâturage, l'épuisement des stocks ichtyologiques et l'exploitation accrue des oiseaux d'eau. Ainsi, la réduction des crues pourrait se solder par une baisse des effectifs de populations, notamment celles des oiseaux d'eau. Ce phénomène sera expliqué de façon plus circonstanciée à la section suivante.

L'épuisement des ressources naturelles au cours des périodes de faible crue, dû à l'exploitation par les populations locales n'est guère soutenable. Cependant, il n'existe, pour ainsi dire, aucune solution de rechange. Par conséquent, ces populations sont prises dans le cercle vicieux de la pauvreté, car la surexploitation a également pour effet de réduire les chances de reconstitution des ressources. A titre d'exemple, le surpâturage, en particulier le pâturage des jeunes pousses empêche la reconstitution des pâturages de bourgou (Chapitre 7.3). A cet égard, les forêts d'Acacia seyal, qui recouvrent les parties hautes de la zone d'inondation sont également affectées. Zwarts & Diallo (2002) ont démontré qu'au début des années 80, il existait encore de vastes étendues forestières au nord d'Akka. On aurait pu s'attendre à ce que ces forêts se régénèrent aux niveaux inférieurs pendant les périodes de faible crue, dans la mesure où les parties de la zone d'inondation situées en altitude ne sont pas propices à leur développement (car trop sèches). Cependant, le pâturage intense empêche un tel changement, tandis que, dans le même temps, les forêts existantes sont coupées ou meurent. De nos jours, les forêts d'Acacia seyal au nord d'Akka ont, pour ainsi dire, disparues.

Recrutement et mortalité liés à la baisse des crues

La variation et la répartition des populations d'oiseaux d'eau et la présence des autres animaux dans le Delta intérieur sont déterminées, dans une large mesure, par les niveaux de crue (Chapitre 9; van der Kamp *et al.* 2002a,b). Tel qu'illustré au Chapitre 9, il existe une corrélation positive entre le nombre d'oiseaux d'eau nicheurs et la superficie inondée, les conditions



d'alimentation constituant probablement un facteur sous-jacent. La mortalité des oiseaux d'eau nicheurs présente une corrélation similaire, mais négative. Par conséquent, la réduction des crues a un impact négatif sur le nombre d'oiseaux et le croît du taux de mortalité. Etant donné que le recrutement et la mortalité ont une incidence directe sur le nombre d'individus, la baisse du niveau des crues se traduit par la réduction des populations.

La réduction moyenne du niveau de crue maximale par Sélingué, la consommation d'eau de l'Office du Niger et le futur barrage de Fomi s'élève à 15,7 cm et 45 cm, respectivement (Chapitre 3.6). Il convient de souligner que ces réductions ont un impact maximum au cours des années de faible crue (Tableau 3.4). Afin d'illustrer l'impact de la réduction des crues, nous avons utilisé la reproduction du Pluvier pâle, exprimée en pourcentage des juvéniles au sein de la population (Fig. 9.10). Ces dernières années, le pourcentage annuel



de juvéniles a oscillé entre 4 % et 15 %. La reproduction aurait été de 1,5 % à 4 % plus élevée, sans le barrage de Sélingué et la consommation d'eau de l'Office du Niger. Au cas où le barrage de Fomi serait construit, il s'ensuivrait une réduction de 9,2 % en moyenne. Dans la situation actuelle, la reproduction atteint des niveaux critiques, lorsque les niveaux de crues sont inférieurs à environ 440 cm. Une fois le barrage de Fomi construit, de tels faibles niveaux seront atteints plus souvent. Des calculs similaires peuvent être effectués pour les autres corrélations mentionnées au Chapitre 9. Par conséquent, on s'attend à ce que le barrage de Fomi ait un impact appréciable sur les niveaux de population de certaines espèces, notamment le cormoran africain, l'Anhinga d'Afrique (Fig. 9.9), le Pluvier pâtre et une large gamme d'espèces de Hérons et d'Aigrettes. Cette situation pourrait menacer également les colonies nicheuses de Cormorans, d'Ibis, de Hérons et d'Aigrettes.

Période d'engraissement avant la migration

Le moment de la migration des oiseaux d'eau paléarctiques mérite de retenir une attention particulière. Les oiseaux aquatiques du Delta intérieur du Niger se rassemblent dans le complexe Walado-Debo pendant la "décrue" afin de se nourrir de poisson et de faune benthique dans les eaux peu profondes (Chapitre 9.3). Van der Kamp et al. (2002b) ont démontré que la "récoltabilité" de la faune benthique dépend du niveau des eaux. En fait, seule une partie de l'ensemble des ressources

alimentaires est disponible pour les oiseaux, compte tenu du rythme accéléré de la baisse du niveau d'eau (5 cm par jour). Dès que les berges situées dans les dépressions émergent de l'eau, la faune benthique – escargots, bivalves, etc. – meurt dans le climat chaud et n'est plus consommée. La plupart du temps, les oiseaux d'eau parviennent à mettre à profit ces ressources alimentaires au cours de la période février-mars et s'engraissent en vue de la migration sur de longues distances vers les lieux de reproduction du Nord. Cependant, lorsque les niveaux de crue sont très faibles, la disponibilité de ces ressources alimentaires ne coïncide pas avec la période d'engraissement avant la migration. Par conséquent, il se peut que les oiseaux ne parviennent pas à s'engraisser en vue de la migration, ce qui se traduit par un taux de mortalité très élevé (Fig. 9.11, Chapitre 9). Face à un niveau de crue faible, le fait d'avancer le début de la migration ne constitue pas une solution de rechange judicieuse. La période de la migration, et partant celle de l'engraissement, est fixe, étant donné que les oiseaux doivent atteindre leurs zones de reproduction à un moment donné.

La baisse notable du niveau de crue, imputable au futur barrage de Fomi (45 cm en moyenne) atteindrait 60 cm au cours des années de faible crue (Tableau 3.4). Ceci accroît le risque de décalage de la période de migration des oiseaux d'eau paléarctiques, en raison de la réduction de la période au cours de laquelle les ressources alimentaires sont disponibles au niveau du complexe Walado-Debo. Ceci pourrait avoir des conséquences considérables pour ces espèces migratrices. Des études plus approfondies sont nécessaires afin de définir les limites critiques de cette «fenêtre de migration».

Surexploitation et débit minimum

L'étiage constitue une période critique de l'année au cours de laquelle l'eau est à son niveau le plus bas. D'une manière générale, cette période s'étend de la mi-mars à fin juin. Pendant l'étiage, les plans d'eau dans le Delta Intérieur du Niger se raréfient considérablement (Fig. 3.5). Il s'ensuit une raréfaction des ressources alimentaires. L'une des caractéristiques particulières d'un système lié aux niveaux de crue a trait à l'adaptation aux conditions d'inondation très dynamiques et à la capacité de récupération après les périodes de sécheresse (voir Arfi 2002b). Des exemples, à cet égard, concernent les forêts inondables d'Akkagoun et de Dentaka qui, lorsqu'elles ont été protégées du pâturage et de l'abattage, sur

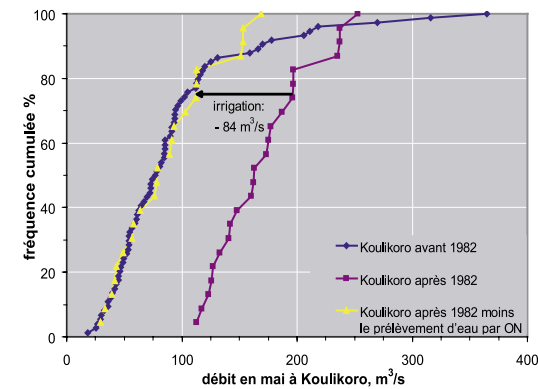


Fig. 12.2. Distribution de la fréquence cumulée du débit du fleuve en mai à Koulikoro au cours de deux périodes 1907-1981 et 1982-2004. Étant donné que l'Office du Niger prélève en moyenne 84 m³/s à Markala, au mois de mai, la ligne jaune présente le débit en aval de Markala depuis 1982.

l'initiative de l'UICN, elles ont enregistrées un taux de récupération spectaculaire depuis 1987 (Beintema et al. 2002). En outre, le projet de restauration de la plaine inondable de Waza-Logone a administré la preuve de la capacité de régénération en rétablissant (partiellement) les conditions de crue (Scholte et al. 2000a, 2000b, Loth 2004). Les périodes de sécheresse extrême et la récupération ultérieure constituent un phénomène récurrent dans le Sahel (notamment au cours de la période 1910-14 et au début des années 40). Cependant, de nos jours, la pression humaine constitue un obstacle majeur à la récupération. Il s'agit là d'une différence non négligeable entre le passé et le présent.

Dans la situation actuelle, la pression de la pêche atteint un niveau extrême dans le complexe Walado-Debo, lorsque les niveaux d'eau sont très bas pendant l'étiage (observations personnelles, Quensière et al. 1994). Ceci assure des revenus et de la nourriture supplémentaire, à court terme, mais porte préjudice, à plus long terme, aux stocks ichtyologiques, et partant aux organismes dépendants. De même, d'autres ressources alimentaires sont surexploitées (notamment en servant de pâturage à une forte concentration de troupeaux), ce qui a pour effet de menacer la survie des oiseaux d'eau et d'autres organismes en voie de disparition. Par conséquent, nous considérons qu'il est nécessaire

d'assurer un débit minimum en aval de Markala afin d'éviter l'exploitation excessive et non durable des ressources naturelles.

Les niveaux d'eau pendant l'étiage peuvent donner une indication du débit minimum requis. Les crues dans le Delta Intérieur du Niger atteignent leur niveau minimum en juin. Il existe une corrélation linéaire entre le niveau d'eau à Akka en juin et le débit combiné du Niger à Ké-macina et du Bani à Douna, en mai:

$$\text{Akka} = 0,565\text{débit} + 62,$$

où:

Akka = niveau d'eau (cm) en juin

Débit = débit du Bani + celui du Niger en mai (m³/s)

Selon cette fonction, le niveau d'eau à Akka est de 0 cm pour un débit de 110 m³/s. Le niveau d'eau tombe à -20, -40 et -60 cm pour un débit de 75, 39 et 4 m³/s, respectivement. Au cours des années où le niveau d'eau tombe à -40 cm (comme ce fut le cas en 1984 et 2003), le lien entre les lacs Walado et Debo se rompt et le premier s'assèche. Le débit moyen du Bani en mai ne s'élève qu'à 22 m³/s, en moyenne, ce qui est faible par rapport au débit moyen du Niger pendant le même mois: 110 m³/s. Par conséquent, la contribution du Bani au débit minimum requis au cours des années sèches est insignifiante. Afin d'éviter que le lac Walado ne s'assèche, un débit minimum de 50 m³/s est nécessaire.

Tel qu'il ressort de la Fig. 12.2, les débits inférieurs à 50 m³/s étaient, pour ainsi dire, monnaie courante avant 1982, année où le barrage réservoir de Sélingué est devenu opérationnel: pendant 18 années sur 74, le débit en mai était inférieur à 50 m³/s. Après 1982, avec les lâchers d'eau de Sélingué, le débit du fleuve à Koulikoro n'a jamais été inférieur à 113 m³/s, soit un niveau nettement supérieur au minimum requis. Cependant, la consommation d'eau actuelle par l'Office du Niger en mai s'élève, en moyenne, à 84 m³/s (Chapitre 11.5). Lorsque l'on déduit cette perte d'eau du débit du fleuve à Koulikoro, le débit du fleuve, en mai, semble avoir été inférieur à 50 m³/s pendant 6 des 23 années qui se sont écoulées depuis 1982 (Fig. 12.3). Par conséquent, compte tenu de la consommation d'eau actuelle de l'Office du Niger, les années où le niveau des crues est extrêmement faible, en juin, sont aussi fréquentes que par le passé. Une augmentation du volume d'eau prélevé à Markala en mai se traduirait par un risque accru d'exploitation non durable des ressources naturelles dans le Delta Intérieur du Niger.

Le fait d'assurer un débit minimum ne constitue pas le seul moyen d'éviter l'épuisement des stocks ichthyologiques. L'une des mesures supplémentaires pourrait consister à protéger les zones de pêche. La création de zones de pêche protégées a été couronnée de succès sur le fleuve Chari au Cameroun où elles ont été introduites avec le soutien des communautés locales (Anonymous 2004).

Migration longitudinale des poissons

Une question qui n'a pas été prise en compte dans la présente étude, mais qui revêt de l'importance en ce qui concerne les barrages dans le bassin du Haut Niger concerne la migration longitudinale des poissons. Cette migration permet aux poissons d'occuper différents habitats pendant le cycle des crues et d'échapper aux conditions défavorables. Daget (1954, 1957) a étudié particulièrement les migrations de poissons dans le bassin du Haut Niger. Certaines espèces se déplacent en amont au début de la crue afin de se reproduire dans les plaines inondables riveraines. Daget (1952, cité dans Welcomme 1986) mentionne les mouvements en saison sèche de certaines espèces, en particulier *Brycinus leuciscus*, qui migre en amont des lacs du Centre dès que le niveau d'eau baisse. Avant la construction du barrage de Markala, cette espèce était censée parcourir des distances atteignant 400 km. Selon Laë (1995), les barrages n'affectent pas la reproduction de nombreuses espèces de poissons, étant donné que les zones de ponte sont situées en aval. Cependant, pour un certain nombre d'espèces, la migration en amont est perturbée et une réduction des populations a été signalée pour *Gymnarchus niloticus*, *Polypterus senegalus* et *Gnathonemus niger*.

Il est un lieu commun que les barrages constituent un obstacle à la migration (longitudinale) des poissons. Les barrages existants peuvent affecter la production piscicole dans les plaines inondables (Chapitre 5). Mais, les quelques études disponibles n'indiquent pas qu'ils sont nuisibles pour la migration des populations de poissons dans le bassin du Haut Niger (Laë 1992a, 1992b, 1995, Quensièrè 1994). Cette situation pourrait, toutefois, changer avec la construction de nouveaux barrages. Il apparaît nécessaire de procéder à des recherches spécifiques sur cette question.

12.4

Conclusions

- Les barrages existants et ceux dont la construction est prévue sur le fleuve Niger ont un impact négatif considérable sur les habitats précieux des plaines inondables du Delta Intérieur du Niger. La construction du barrage de Fomi réduira la superficie des pâturages de bourgou flottants dans le Delta Intérieur du Niger de près de 60 %. Ceux-ci constituent un habitat essentiel dans les plaines inondables pour les populations humaines, les ressources ichthyologiques et les oiseaux d'eau.
- Les zones humides artificielles nouvellement créées en amont comprennent les rizières irriguées, les lacs et les marécages comportant des nappes d'eau quasi-stagnantes. Elles ne compensent pas la perte de l'habitat précieux des plaines inondables en aval. La qualité écologique des pâturages de bourgou, en termes de diversité d'espèces et de population d'oiseaux d'eau, est beaucoup plus importante que celle des habitats artificiels. L'évaluation écologique montre que ces habitats ne peuvent compenser qu'un pourcentage limité de la valeur qui sera perdue du fait de la construction du barrage de Fomi.
- Compte tenu de la forte corrélation qui existe entre les niveaux de crue et la reproduction des oiseaux d'eau afrotropicaux, la construction des barrages entraîne une baisse de la reproduction. La construction du barrage de Fomi aurait un impact considérable sur les populations de certaines espèces, notamment le Cormoran africain, l'Anhinga d'Afrique, le Pluvier pâtre et une large gamme d'espèces de Hérons et d'Aigrettes. Les colonies nicheuses les plus importantes – certaines des dernières – de Cormorans, d'Ibis, de Hérons et d'Aigrettes en Afrique de l'Ouest tendront peu à peu vers la disparition.
- De même, les barrages construits et prévus accroissent le taux de mortalité des oiseaux de transit. Ceci revêt une importance particulière pour plusieurs espèces pour lesquelles la taille de la population dépend



essentiellement des conditions environnementales dans le Delta Intérieur du Niger.

- La réduction des niveaux de crue par le futur barrage de Fomi contribuerait à accroître le risque de décalage de la période de migration des oiseaux d'eau paléarctiques, du fait de la réduction de la période pendant laquelle les ressources alimentaires sont disponibles dans le complexe Walado-Debo.
- Lorsque les niveaux d'eau sont très faibles, l'exploitation humaine des ressources naturelles dans le Delta Intérieur du Niger peut devenir excessive. Afin d'éviter l'exploitation non durable des ressources, il convient d'assurer un débit minimum de 50 m³/s en aval de Markala.

13 ANALYSE ÉCONOMIQUE DES BARRAGES ET D'IRRIGATION DU HAUT NIGER

Pieter van Beukering
Bakary Kone

13.1 Introduction

Le Document du Cadre Stratégique de Lutte contre la Pauvreté (CSLP) du Mali constitue l'unique cadre de référence pour les politiques de développement et stratégies de réduction de la pauvreté au Mali (GoM 2002). Ce document de très grande importance souligne la nécessité de mettre en valeur le potentiel hydroélectrique du pays, estimé à 5 000 GWh/an, et le potentiel hydroagricole, estimé à 2 millions d'hectares. Une étude du CSLP, effectuée par l'Association de Développement International (IDA) et le Fonds Monétaire International (FMI) confirme ces données. Ceux-ci soulignent qu'il est impérieux de mettre en valeur ce potentiel hydrologique encore inexploité dans les domaines de l'agriculture et de l'eau potable, dans la mesure où pareille initiative serait de nature à pallier l'une des principales vulnérabilités auxquelles le pays est confronté, en l'occurrence la variabilité temporelle et spatiale de la pluviométrie, ainsi qu'aux incertitudes inhérentes aux aléas climatiques (IDA & FMI 2003).

Bien que le potentiel hydroélectrique et hydroagricole du Mali n'ait pas encore été pleinement exploité à ce jour, il y a lieu de se demander si les coûts et avantages de tels méga-investissements ont fait l'objet d'estimations adéquates. Outre la faisabilité économique (c'est-à-dire les coûts et avantages directs) de la construction de nouveaux barrages, nul ne sait quels seront les impacts indirects des projets hydroélectriques et hydroagricoles sur les bénéficiaires situés en aval des différents fleuves.

Le présent chapitre vise, d'une manière générale, d'aider à la prise de décision dans le cadre d'une étude complète au niveau du bassin, en ce qui concerne la gestion et la construction des barrages et systèmes d'irrigation dans le Haut Niger, eu égard à la sécurité alimentaire et aux conditions écologiques dans le Delta Intérieur du Niger en aval. Pour ce faire, nous procéderons à une analyse coûts-avantages approfondie portant sur les quatre principaux volets examinés dans les chapitres précédents.

Le chapitre est structuré comme suit: la Section 13.2 présente la méthodologie qui sous-tend l'analyse coûts-avantages des barrages et systèmes d'irrigation dans le bassin du fleuve Niger. L'évaluation des coûts et avantages directs est effectuée à la Section 13.3. Les estimations des coûts et avantages indirects des quatre scénarios sont effectuées à la Section 13.4. La Section 13.5 présente une analyse coûts-avantages élargie. Différents aspects de l'analyse coûts-avantages (ACA) sont abordés, notamment les avantages et les coûts au fil du temps, la valeur actualisée nette (VAN), la distribution sectorielle et spatiale des conséquences, ainsi que l'analyse de sensibilité pour plusieurs paramètres essentiels. La Section 13.6 présente les conclusions de l'analyse.



13.2 Méthodologie

Afin d'évaluer les coûts et avantages inhérents aux barrages dans le bassin du fleuve Niger, nous n'avons pas adopté une approche novatrice. L'analyse coûts-avantages (ACA) est un outil économique indispensable pour les grands projets d'infrastructure. Les barrages n'échappent pas à cette règle. Par le passé, l'ACA était exécutée à l'aide d'une série limitée de paramètres. Dans la plupart des cas, les coûts se limitaient au capital d'investissement direct et aux coûts de construction et d'exploitation. De même, seuls les avantages directs (mesurables), notamment la production d'énergie, les avantages liés à l'irrigation et au tourisme étaient pris en considération. De nos jours, les impacts sociaux et environnementaux sont de plus en plus pris en compte dans la planification des barrages, grâce à l'application d'une ACA élargie. Cette analyse requiert l'évaluation économique des coûts et avantages indirects (Aylward et al. 2001).

Plusieurs études d'ACA élargies ont été exécutées par le passé. La Commission Mondiale sur les Barrages (CMB, 2001) a étudié huit projets de façon très minutieuse. Deux de ceux-ci sont implantés en Afrique: 1) le Projet d'aménagement du fleuve Orange en Afrique du Sud; et 2) le barrage du lac Kariba en Zambie et au Zimbabwe. Une troisième étude digne d'intérêt en Afrique, qui a été commanditée par l'UICN, a porté essentiellement sur les impacts du barrage de Maga sur la zone de la plaine inondable du Waza-Logone au Cameroun (Loth 2004). Ces barrages ont été décrits de manière plus détaillée à l'Appendice IX.

Analyse coûts-avantages des barrages

A l'instar de tout autre grand projet d'infrastructure, les barrages nécessitent d'importants investissements aux phases de planification et de construction. Les investissements se présentent sous forme de capitaux financiers, ainsi que de technologies et de ressources humaines. Par rapport aux coûts d'investissement initiaux, les coûts d'exploitation et d'entretien des barrages sont rela-

vement moindres. Outre les coûts d'investissements initiaux et de fonctionnement, les grands projets de barrages ont souvent des impacts non négligeables sur la société et l'environnement, qui représentent un coût additionnel. A cet égard, le meilleur exemple d'impact social lié aux grands projets de barrage concerne le déplacement et la réinstallation des populations de la zone inondée. Bien que, par le passé, la réinstallation n'était généralement pas prise en considération pendant la phase de planification, de nos jours, les coûts de réinstallation sont de plus en plus intégrés dans le budget à la phase de planification du projet. Les impacts environnementaux liés aux barrages concernent, notamment, la réduction de l'habitat humide et la migration des poissons («barred fish»). A l'instar des impacts sociaux, les coûts d'atténuation des impacts environnementaux sont mieux pris en compte dans la planification des projets de nos jours que par le passé.

Estimations des coûts directs

Les coûts des projets de construction de barrages varient considérablement en fonction des caractéristiques des sites. Par conséquent, il est difficile de donner un aperçu général des coûts. Sur la base des informations fournies par la Commission Mondiale des Barrages (CMB, 2001), qui a effectué des enquêtes approfondies sur les coûts des barrages à travers le monde, nous tenterons de résumer les conclusions générales. Tel qu'indiqué plus haut, les coûts directs des barrages peuvent être répartis en 4 principales catégories: 1) les coûts de construction; 2) les coûts de réinstallation; 3) les coûts d'atténuation de l'impact environnemental; et 4) les coûts d'exploitation et d'entretien (E&E).

Les coûts de construction constituent la principale composante des coûts totaux du projet, dans la plupart des cas. Ils concernent la construction du barrage proprement dit, ainsi que les installations connexes, notamment les turbines, les canaux et les systèmes d'irrigation. Le coût initial estimatif est corrigé en appliquant un taux de 10 à 15 % pour les aléas, puis une provision pour la hausse de prix pendant la phase de construction. Les coûts dépendent essentiellement de l'environnement physique du projet, dans la mesure où ils varient considérablement en raison de la géologie du site au niveau local. Il s'ensuit qu'il est difficile de faire une généralisation en ce qui concerne les coûts de construction. Une étude exécutée par Head (1999) propose une fourchette de 1 000 à 3 000 dollars EU par

Tableau 13.1. Répartition des coûts environnementaux selon la taille des projets d'hydroélectricité.

Taille du projet (capacité installée)	Types de coûts (US\$1991)			
	Capital	Etude	O&M	Rapport
<1MW	\$134.500	\$21.700	\$5.124	\$5.900
1-10 MW	\$233.900	\$153.200	\$25.420	\$11.800
10 - 50 MW	\$1.511.300	\$452.800	\$33.000	\$31.200
50 - 100 MW	\$1.266.200	\$1.084.000	\$9.600	\$500
>100 MW	\$50.569.000	\$307.000	\$1.439.400	\$176.700

KW pour les projets d'hydroélectricité, tandis que Ljung (2000) suggère 1 500 à 2 250 dollars EU par KW.

Par le passé, le déplacement de populations et la perte de moyens de subsistance liés à la mise en eau du réservoir n'étaient pas pris en considération à la phase de planification du projet. Récemment, les coûts liés à la réinstallation et au rétablissement des revenus (appelés conjointement «coûts de réinstallation») ont retenu de plus en plus l'attention à l'étape de la conception des projets. L'indemnisation directe des personnes affectées est également prise en compte dans la conception. Gutman (1993) a estimé que les coûts de réinstallation estimatifs faisaient l'objet d'un dépassement de coûts de 40 %, en règle générale. Les coûts de réinstallation oscillent entre zéro et 25 % du coût total du projet, selon la situation démographique au niveau local.

Les barrages peuvent avoir des impacts environnementaux importants. Afin de pallier les impacts négatifs, des mesures d'atténuation sont souvent prévues pendant la conception du barrage. Au nombre des exemples figurent les systèmes de migration des poissons, le rétablissement de l'habitat et l'inondation artificielle des zones humides. Les coûts d'atténuation de l'impact environnemental se répartissent entre les coûts de l'étude, les coûts de capital, les coûts d'exploitation et d'entretien et les coûts d'opportunité. Le Tableau 13.1 donne un aperçu des coûts des projets d'hydroélectricité aux Etats-Unis.

L'une des caractéristiques intéressantes des grands projets de barrage concerne la part relativement faible des coûts d'exploitation, une fois la construction achevée. En moyenne, ces coûts ne représentent guère plus de 1 à 3 % du coût total du projet. S'agissant des projets d'irrigation, ils sont généralement plus élevés, en raison des coûts d'entretien élevés du réseau d'irrigation. Souvent, ces coûts sont couverts par les frais d'usagers

au titre de l'irrigation.

Une question d'importance vitale liée aux projets de barrage à l'échelle mondiale demeure les dépassements de coûts parfois considérables. Par exemple, l'étude de 70 projets d'hydroélectricité financés par la Banque mondiale montre que le dépassement de coût moyen est d'environ 27 %. Une autre étude relative aux barrages à usages multiples indique un dépassement de coûts de 39 %. Une étude de la CMB (2001) concernant les petits barrages dégage un dépassement de coûts de l'ordre de 200 %. La différence entre les conditions géotechniques réelles et celles prévues explique, pour l'essentiel, le dépassement de coûts. Au nombre des autres causes figurent la livraison tardive des matériaux, la grève ouvrière, les problèmes d'ordre juridique, ainsi que les modifications apportées à la conception des barrages et les catastrophes naturelles. Un autre facteur, qui a une incidence notable sur la performance économique du barrage, concerne le décalage entre le calendrier d'exécution initial et le temps de construction réel. Selon une étude réalisée par la Banque Asiatique de Développement en 1995, les retards d'exécution expliquent 80 % des dépassements de coûts. Les dépassements de coûts et les retards d'exécution ont des répercussions profondes sur la performance des projets de barrage. Huit à dix pour cent des barrages prévus s'avèrent, en fait, irréalisables, une fois que l'on prend en compte ces dépassements de coûts et retards d'exécution (Gutman 1993, OED 1996).

Estimations des coûts et avantages indirects

Le calcul des coûts et avantages indirects requiert une large gamme d'informations. Une méthode systématique permettant d'organiser ces informations consiste à suivre la séquence des processus sous-jacents, depuis la cause d'un impact donné jusqu'aux conséquences

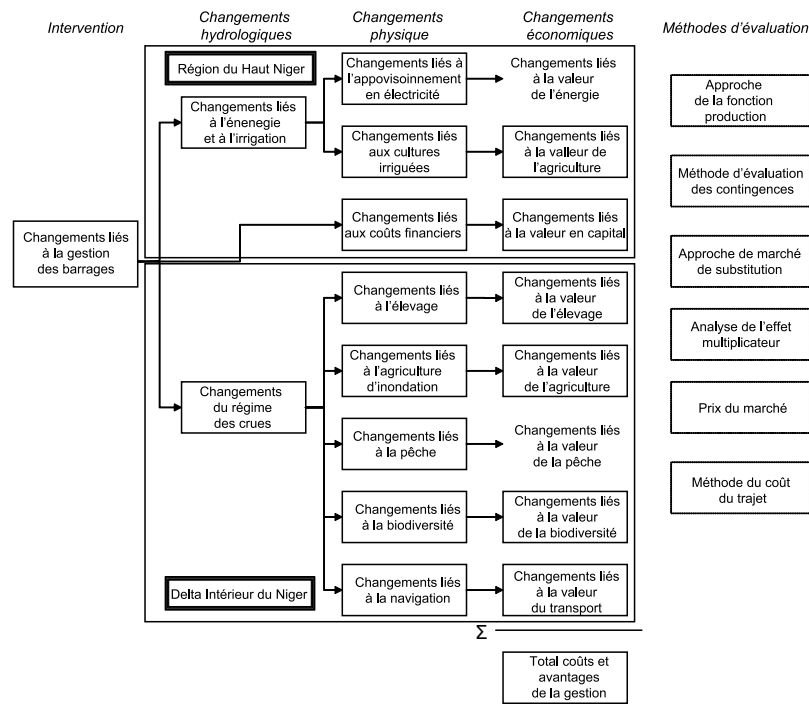


Fig. 13.1. Cheminement de l'impact de la procédure d'évaluation économique de la gestion du Delta Intérieur du Niger, Mali.

sociales et économiques, en passant par la conséquence physique. Cette approche qu'il est convenu d'appeler «l'Approche du Cheminement de l'Impact» est une méthodologie qui progresse de façon séquentielle à travers le cheminement, établissant un lien entre les causes et les effets, puis évaluant ces effets. Le cadre du cheminement de l'impact est indiqué à la Fig. 13.1 et présente les processus physiques et socioéconomiques qui découlent de la gestion des barrages et des systèmes d'irrigation dans le bassin du fleuve Niger. L'approche du cheminement de l'impact procède par une série d'étapes méthodologiques qui sont indiquées ci-après.

1) **Définition des limites de l'étude:** L'étude vise à évaluer différents scénarios de gestion de l'eau le long du fleuve Niger, en mettant un accent particulier sur le Delta Intérieur du Niger. Ces scénarios comprennent: a) le Scénario 0: statu quo; b) le Scénario 1: le barrage de Sélingué; c) le Scénario 2: Sélingué et l'Office du Niger; et d) le Scénario 3: Sélingué, l'Office du Niger et le barrage de Fomi. Par ailleurs, le délai d'exécution du modèle est la période 2005-2030. Cette période offre suffisamment de temps pour permettre que les princi-

paux impacts environnementaux se manifestent, tout en étant suffisamment courte pour permettre de faire des prévisions en ce qui concerne l'avenir.

2) **Identification des principaux impacts économiques:** En raison de certaines limitations, l'analyse s'est limitée à inclure seulement les impacts les plus importants. Inévitablement la décision doit être faite au sujet de ce qui est important et de ce qui ne l'est pas. Pour juger de l'ampleur et l'importance des impacts environnementaux, une série de critères a été identifiée: a) l'impact sur les environnements naturel, humain, chimique et physique selon leurs sensibilités relatives; b) la portée de l'impact (limitée au site ou étendue au-delà du site – échelles locale, régionale, nationale et internationale); c) le moment où l'impact se manifeste (pendant la phase de construction, d'exploitation ou d'après-exploitation); d) la réversibilité ou l'irréversibilité de l'impact. En utilisant le jugement des spécialistes en combinaison avec ces critères; il a été retenu que les impacts sur la pêche, l'agriculture, l'élevage, le transport et la biodiversité considérées comme des activités économiques dans le Delta Intérieur du Niger sont sérieusement

affectées. Les impacts potentiellement importants, mais peu connus, traitent des conséquences des barrages sur la santé. D'une part, les barrages et systèmes d'irrigation améliorent la santé humaine, dans la mesure où ils favorisent l'approvisionnement en nourriture. D'autre part, ils peuvent avoir une incidence négative sur la santé, car la prolifération des eaux stagnantes accroît l'incidence du paludisme et de la bilharziose. Compte tenu du manque d'informations concernant les effets sur la santé, cet impact n'a pas été pris en considération dans la présente étude.

3) **Quantification physique des principaux impacts:** L'évaluation de l'impact physique de la gestion des barrages et systèmes d'irrigation est un exercice complexe. Dans les chapitres précédentes la relation entre la surface inondée et les niveaux de production des différents secteurs de production a été estimée en utilisant l'approche de la fonction de production. Afin d'aider à prévoir de façon approximative les conséquences physiques des différents scénarios, il convient de mettre au point un modèle de simulation dynamique. Ce modèle évalue de façon approximative les principaux impacts de chaque scénario sur les différentes catégories d'avantages, ainsi que les changements en ce qui concerne les différents cercles (c'est-à-dire en amont et en aval). Afin de déterminer ces impacts, des hypothèses de simplification ont été mises au point concernant, notamment les conditions climatiques et hydrologiques, et les activités économiques futures. Par exemple, les hypothèses sous-jacentes utilisées dans cette étude sur la population, l'évolution démographique, ainsi que certaines variables démographiques sont présentées au Tableau 13.2 (données tirées du Chapitre 4).

Une autre hypothèse importante appliquée dans l'analyse concerne le climat. La Fig. 13.2 présente les tendances des précipitations dans la région du Delta Supérieur et dans le Delta Intérieur du Niger pour la période 1926-2000 (données tirées du Chapitre 2.2). Ces deux séries indiquent une tendance négative manifeste. Dans le modèle de simulation, nous extrapolons la tendance pour la période de l'étude, 2005-2030. Tel qu'expliqué, l'impact de cette hypothèse est testé à l'aide d'une analyse de sensibilité.

Une autre hypothèse majeure qui sous-tend le modèle traitant des variations climatiques annuelles. Tel qu'il ressort de la Fig. 13.2, les hauteurs annuelles de pluies dans le bassin hydrographique du Haut Niger oscillent entre 1 100 et 1 900 mm, la moyenne étant de 1 500 mm. Il est

Tableau 13.2. Données démographiques et géographiques au niveau des cercles.

Cercle	Population 1998	Taux croît pop.(%)
Tombouctou	70.177	0,08%
Gourma	67.717	-1,34%
Goundam	130.583	0,91%
Diré	84.393	0,09%
Niafunké	122.988	-0,34%
Ténenkou	127.237	1,47%
Mopti	263.719	1,54%
Djenné	155.551	1,42%
Youvarou	85.426	0,22%
Ségou	494.609	2,05%
Macina	164.838	1,91%
Niono	198.749	3,28%

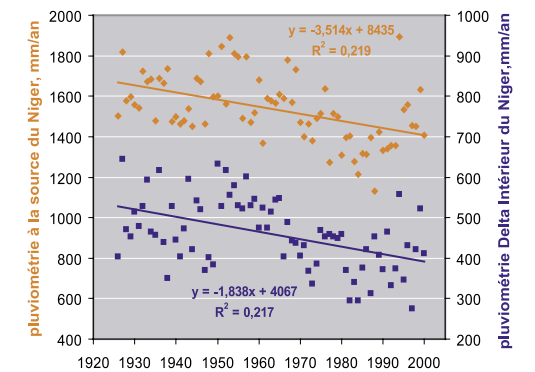


Fig. 13.2. Evolution des précipitations dans la région du Haut Niger et dans le Delta Intérieur du Niger au cours de la période 1926-2002.

important de simuler ces variations dans les différents scénarios, car en général, ce qui importe, ce n'est pas le niveau moyen, mais les niveaux extrêmes. Par exemple, au cours d'une année d'extrême sécheresse, les barrages ont une incidence très disproportionnée sur les activités économiques dans le Delta intérieur du Niger. Aussi, une variation randomisée de la pluviométrie a-t-elle été retenue pour la période 2005-30. Le taux de variation

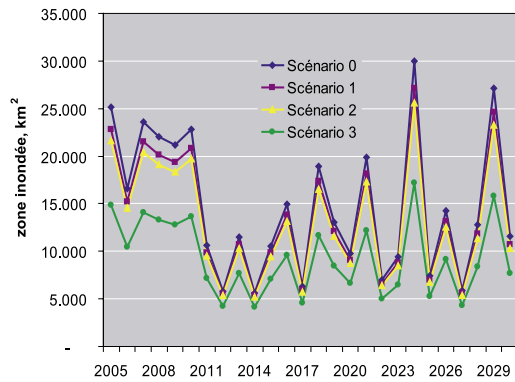


Fig. 13.3. Simulation de la zone d'inondation pour les quatre scénarios (km²).

maximal de la pluviométrie a été fixé à +/-20 %. En ce qui concerne le changement climatique, l'impact de la variation annuelle à court terme et de la tendance négative à long terme sur la zone d'inondation sont présentés au Tableau 13.3.

4) **Calcul des valeurs monétaires et analyse de sensibilité:** Une fois la gamme complète et l'ampleur des impacts définies et calculées, les changements sont évalués en termes monétaires. Les principaux cheminement de l'impact qui seront pris en compte concernent l'agriculture (Chapitre 8), la pêche (Chapitre 5), l'élevage (Chapitre 7), la biodiversité (Chapitre 12), l'approvisionnement en énergie (Chapitre 2) et le transport. Tel qu'indiqué dans la partie droite de la Fig. 13.1, différentes techniques d'évaluation ont été utilisées pour la détermination de ces avantages. La technique d'évaluation la plus cou-

ramment utilisée dans la présente étude est l'approche de la fonction production qui permet d'évaluer les niveaux de production en fonction du niveau d'eau et de la superficie de la zone d'inondation dans le Delta Intérieur du Niger. Pour la plupart des secteurs économiques pris en considération, les fonctions de production statistiques ont fait l'objet d'estimations. Celles-ci ont été incorporées dans le modèle intégré qui simule les quatre scénarios. Le principal indicateur de ce modèle est l'avantage net de chaque scénario, qui correspond au niveau de bien-être général, déduction faite des coûts financiers des barrages et systèmes d'irrigation. En définitive, une analyse de sensibilité a été effectuée afin de tester la pertinence du résultat final, par rapport à un certain nombre de paramètres importants, notamment le changement climatique, la biodiversité et le taux d'actualisation. L'Appendice XI fournit de plus amples informations sur les techniques d'évaluation appliquées dans les études économiques concernant les zones humides.

Tel qu'indiqué à la Fig. 13.1, une autre dimension importante de l'Approche du Cheminement de l'Impact concerne la distribution du bien-être dans les différents scénarios. Outre qu'elle a un impact sur le niveau absolu de bien-être au Mali et en Guinée, la création des barrages dans la région du Haut Niger pourrait assurer le transfert des avantages économiques d'une région à une autre. Par conséquent, le modèle a été conçu au niveau du cercle de façon à permettre de distinguer les avantages générés dans le Delta Intérieur du Niger (c'est-à-dire l'élevage, l'agriculture, la pêche, la biodiversité et le transport) de ceux générés à l'échelle régionale en amont (c'est-à-dire l'électricité et les cultures irriguées).

valeurs sont internes ou privées pour la prise de décision de l'investissement. Un exemple de coûts dans le cas de cette étude est l'investissement pour la construction et la maintenance des barrages. Les avantages se réfèrent aux impacts qui se manifestent de façon externe du domaine direct du décideur financier. La valeur des avantages peut être négative (exemple, le déclin de la pêche dans le Delta) et positive (exemple, l'augmentation des revenus provenant des systèmes d'irrigation).

13.3

Coûts

L'analyse coûts-avantages des trois ouvrages construits dans le Haut Niger est quelque peu inhabituelle, dans la mesure où elle compare, d'une part, le périmètre irrigué de l'Office du Niger et le barrage de Sélingué, dont la construction remonte à de nombreuses années auparavant, et d'autre part, le barrage de Fomi qui n'a pas encore été construit. Afin d'établir une comparaison équitable, nous avons retenu une période future (2005-2030) au cours de laquelle nous supposons que tous les barrages seront opérationnels, et généreront, par la suite, des avantages. Cependant, le volet «coûts» de l'analyse est encore plus complexe, car, à la différence de l'investissement dans le barrage de Fomi, les investissements initiaux dans l'Office du Niger et dans le barrage de Sélingué ont déjà été effectués. Ces «coûts irrécupérables» ne sauraient, par conséquent, être évités par des décisions futures.

L'existence de coûts irrécupérables ne signifie nullement que l'Office du Niger et le barrage de Sélingué ne comportent pas de coûts. Bien que les investissements initiaux aient été effectués parfois depuis des décennies, les barrages requièrent encore des dépenses au titre de leur entretien et exploitation. En outre, ils ont nécessité des capitaux qui auraient pu être consacrés à d'autres activités économiques au Mali (en l'occurrence, les coûts d'opportunité) et doivent être évalués en conséquence.

Aux fins de l'évaluation des coûts de capital, les hypothèses suivantes ont été formulées. Tout d'abord, le stock de capital est censé être amorti au rythme de 0,5 % par an. S'agissant des coûts de réhabilitation encourus par le passé, nous supposons que 25 % concernent des investissements supplémentaires consacrés aux immobilisations (notamment les routes, les canaux, les turbines). En outre, au début de l'exploitation du barrage et du système d'irrigation, les coûts d'exploitation et d'entretien (E&E) sont estimés à 2 % de la valeur du stock de capital (CMB, 2001). En raison des pannes de plus en plus fréquentes et de l'usure avancée



des infrastructures, cette composante enregistre une hausse de 1,25 % l'an. Par conséquent, plus les barrages et systèmes d'irrigation sont récents, moins les coûts d'exploitation et d'entretien sont élevés. Par exemple, les coûts d'exploitation et d'entretien actuels des barrages de Markala et de Sélingué sont estimés à 4,21 % et 2,73 %, respectivement.

Les organismes de financement internationaux et les bailleurs de fonds nationaux ont financé l'essentiel des investissements concernant les barrages et systèmes d'irrigation au Mali. Par exemple, dans le cas de l'Office du Niger, le Gouvernement Français a financé les coûts d'investissement initiaux, tandis que les Ministères Français et Néerlandais du Développement et de la Coopération ont pris en charge l'essentiel des coûts de réhabilitation. La Banque Mondiale a également apporté des ressources substantielles pour la réhabilitation du barrage de Markala et de son périmètre irrigué. On ignore à quel taux d'intérêt ses investissements ont été accordés au Gouvernement Malien pour l'Office du Niger et au barrage de Sélingué et dans quelle mesure. Cependant, même si les fonds ont été accordés sous forme de dons et que les organismes qui gèrent ces deux barrages ne paient pas d'intérêts sur ces ressources, le capital représente néanmoins une ressource rare et devrait être évalué en conséquence. Après tout, ces mêmes ressources auraient pu être investies dans d'autres activités économiques. Par conséquent, nous tablons sur un coût d'opportunité de 8 % pour le stock de capital réel.

Encadré 13.1.

Définition des coûts et avantages

Dans le domaine de l'analyse des coûts et avantages, l'ambiguïté peut toujours se présenter quant à la définition exacte des coûts et avantages. La principale base de démarcation des coûts et avantages de cette étude est la prise en compte de la perception des parties prenantes. Dans cette étude les coûts se réfèrent aux impacts financiers directs qui sont importants pour le décideur directement responsable de la faisabilité financière de l'investissement. Ces

Sélingué

A l'instar du barrage de Markala, peu d'informations sont disponibles sur les coûts financiers du barrage de Sélingué. Un investissement initial de 53 361 793 a été effectué dans l'ouvrage au cours de la période 1980-82 pour la construction du barrage de Sélingué et la réalisation des ouvrages d'infrastructure connexes. En 1993, Energie du Mali a bénéficié d'un prêt de 4,8 millions de dollars EU pour la réhabilitation du système d'hydroélectrique. Ce prêt a été suivi du Projet de réhabilitation de Sélingué, qui a duré de 1996 à 2002, et qui a nécessité un financement total de 34,21 millions de dollars EU. Ce projet visait à accroître la

capacité thermique du système et la capacité générale, et à créer un cadre institutionnel à long terme. Ceci porte l'investissement total à plus de 92 millions €, pour une parité égale entre le dollar EU et l'euro (pour des raisons de simplicité, nous avons retenu un taux de change de 1 dollar EU pour 1 €).

Office du Niger

Le Tableau 13.4 présente les investissements qui ont été effectués au cours des 80 dernières années. Ces estimations comprennent les coûts de construction et de réhabilitation du barrage proprement dit, ainsi que l'aménagement du périmètre irrigué, qui couvre, à

Tableau 13.3. Coûts financiers du barrage de Sélingué (en €).

An	Investissement initial	Rehabilitation par Energie du Mali (financement par IDA)	Rehabilitation par Banque Mondiale et Banque Eur. d'investissement	Coûts totale
1980-1982	53.361.793			
1993		4.800.000		4.800.000
1996-2002			34.210.000	34.210.000
Total	53.361.793	4.800.000	34.210.000	92.371.793

Tableau 13.4. Coûts financiers de l'Office du Niger (en €).

An	Investissement initial	Rehabilitation par France & Pays Bas	Rehabilitation par Banque Mondial	Coûts totale
1919-1920	2.700.000			42.700.000
1945	161.000.000			161.000.000
1979		3.030.000		3.030.000
1979-1983			4.500.000	4.500.000
1985		43.770.000		43.770.000
1988		23.400.000		23.400.000
1989-1992			9.000.000	9.000.000
1989-1997			48.800.000	48.800.000
1993		23.900.000		23.900.000
1995		20.780.000		20.780.000
1996		4.990.000		4.990.000
Total	163.700.000	119.870.000	62.300.000	385.870.000

Source: Schreyger (2002), Slob (2002).

l'heure actuelle, environ 70 000 ha. Il convient de souligner que les investissements effectués par la Banque Mondiale ont été libellés en dollars EU. Tel qu'indiqué plus haut, le périmètre irrigué devrait être étendu de près de 40 000 ha d'ici à 2030. Le coût de cette extension est estimé à 2 300 /ha. Sur la base des prévisions effectuées par les experts, on suppose que le périmètre irrigué croîtra d'environ 1 500 ha par an.

Barrage de Fomi

Depuis longtemps, il était prévu de construire le barrage de Fomi. Par conséquent, la plupart des informati-

ons de base remontent à la fin des années 90 (Agence Canadienne pour le Développement International 1999). Toutefois, peu d'informations financières sont disponibles. La production de ce barrage d'une hauteur de 42 m est estimée à 374 GWh. En outre, il est censé permettre d'assurer l'irrigation de près de 30 000 ha de terres cultivables (ONU/CI 2004). A l'instar de l'Office du Niger, les coûts du périmètre irrigué sont estimés à 2 300 /ha. On suppose que ce périmètre sera mis en valeur sur une période de 15 années, et se développera progressivement au rythme de 2 000 ha par an. La période de construction du barrage de Fomi proprement dite durera 44 mois. Le Tableau 13.5 présente les seules informations financières disponibles.

Electricité

En principe, la capacité installée de la centrale hydroélectrique de Sélingué est de 47,6 MW. En d'autres termes, la centrale pourrait produire 34,8 GWh par mois, pour autant que l'ensemble des quatre turbines soient disponibles et que le réservoir soit plein. En réalité, l'énergie maximum produite est d'environ 25 GWh/mois, soit 70 % de la valeur théorique. L'énergie ferme de 18 MW suppose une production mensuelle d'environ 13 GWh (des informations plus détaillées figurent à l'Appendice II). Il s'agit là des estimations moyennes appliquées à l'ACA. La centrale hydroélectrique de Sélingué devrait assurer un approvisionnement stable en énergie au fil du temps. La valeur ajoutée d'un kilowattheure est de 75 F CFA. Le taux de change de l'euro en franc CFA est de 1 euro pour 660 francs CFA. Etant donné que la capacité installée maximum de la centrale hydroélectrique de Fomi est estimée à 90 MW en vitesse de croisière, nous supposons que sa production d'énergie est deux fois plus élevée que celle de Sélingué, soit 26 GWh/mois. Il s'écoulera six années avant que la centrale hydroélectrique de Fomi ne soit pleinement opérationnelle. La même valeur pour le kilowattheure a été retenue. La Fig. 13.4 présente les recettes de la fourniture d'énergie.

Tableau 13.5. Coûts de l'investissement initial, calculés en 1999 (en millions de dollars EU 1999).

Coûts des articles	Coûts détaillés estimés par SNC
travaux hydrauliques	199
transmission de infrastructure	62
engineering & gestion	27
Coûts totaux	288

Source: Agence Canadienne pour le Développement International 1999

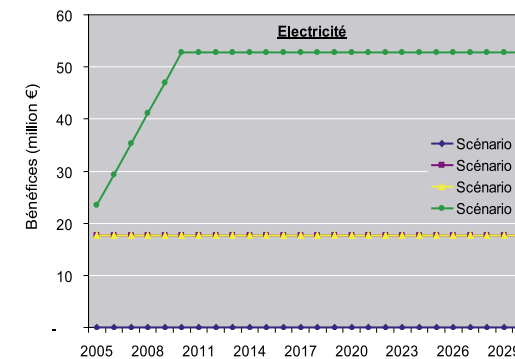


Fig. 13.4. Recettes prévisionnelles de la production d'électricité pour les quatre scénarios.

13.4 Coûts et avantages indirects des scénarios

Un certain nombre d'activités économiques ont beaucoup pâti tant de la gestion des barrages que des régimes d'irrigation en amont. La présente section porte essentiellement et de façon spécifique sur ces coûts et avantages indirects.

Pêche

Le secteur de la pêche constitue l'un des principaux piliers de l'économie dans le Delta Intérieur du Niger (Chapitre 5). La valeur économique de l'industrie piscicole varie, en raison de la fluctuation du volume des prises (poisson pêché), ainsi que des variations du prix du poisson. La Fig. 13.5 présente la variation mensuelle du prix des différents types de produits de la pêche par rapport à une moyenne calculée pour la période 1998-2002. Une explication possible de la fluctuation saisonnière tient au volume des prises qui dépend également de la saison. La saison des crues entraîne également une baisse notable du volume total des prises. Les prises triplent en saison sèche. Les variations mensuelles ne sont pas prises en compte dans le modèle de simulation. Par

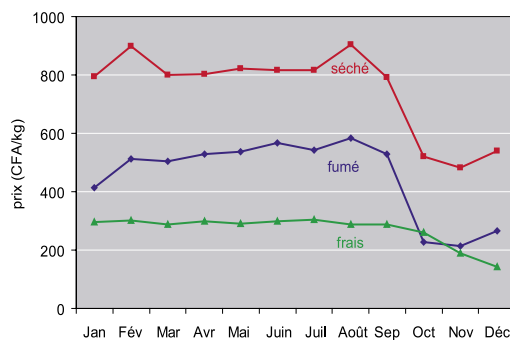


Fig. 13.5. Fluctuations saisonnières du prix pour différents types de poissons sur la base des données relatives à la période 1972-2002 (F CFA/kg). Source: OPM-Rapports annuels.

conséquent, la valeur moyenne du poisson est estimée à 500 000 F CFA par tonne (source: OPM- Rapports annuels).

Tel qu'expliqué de façon détaillée au Chapitre 5, la pêche ressent durement les changements qui interviennent au niveau des zones d'inondation. La Fig. 13.6 présente l'évolution du secteur de la pêche au fil du temps. Les fluctuations à court terme sont dues à la variation classique des conditions climatiques. De toute évidence, chaque fois qu'un nouveau barrage entre en service, les activités de pêche s'en trouvent réduites. Par conséquent, le Scénario 0 comporte les avantages les plus importants. La différence en termes de volume des prises est particulièrement importante au cours des années pluvieuses.

Elevage

L'élevage est évalué sur la base de sa valeur bouchère. On suppose qu'en moyenne 2 et 8 % des ovins et caprins, et des bovins sont abattus et commercialisés chaque année. Le poids des animaux varie d'un cercle à un autre, mais le poids moyen des bovins et des ovins est estimé à 85 et 9 kg, respectivement. Le prix moyen de la viande retenu pour les bovins et les ovins aux fins de la présente analyse se situe entre 600 et 400 F CFA/kg.

La Fig. 13.7 présente les fluctuations dans le secteur de l'élevage pour les quatre scénarios. Plusieurs observations intéressantes peuvent être faites. Les scénarios sont moins sensibles aux fluctuations climatiques à court terme. Ceci s'explique par la capacité des bovins à

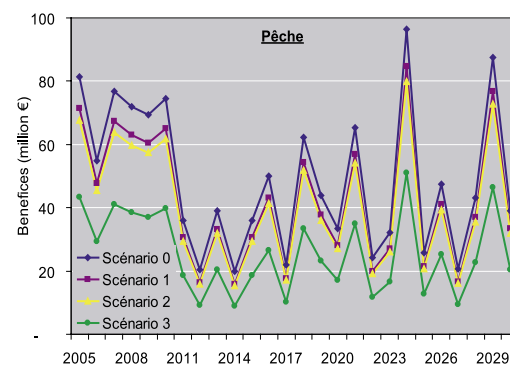


Fig. 13.6. Avantages du secteur de la pêche au fil du temps pour les quatre scénarios (en millions €/année).

se déplacer vers des pâturages plus verts. Cependant, les animaux sont vulnérables aux sécheresses à long terme, comme en témoigne l'effondrement du secteur de l'élevage au cours de la période 2010-13, qui est censée représenter une série d'années de sécheresse extrême. Une autre leçon tirée de la Fig. 13.7 est que pendant les années extrêmement humides (notamment la période 2005-10), l'existence des barrages peut s'avérer avantageuse pour les bovins, les ovins et les caprins. L'explication réside dans le fait que les animaux dépendent, dans une large mesure, de la disponibilité du bourgou. Lorsque le niveau des eaux est trop élevé, il s'ensuit une incidence négative pour le bourgou, ainsi que pour les bovins (Chapitre 7.3). En réduisant les débits de pointe extrêmes, il se crée ainsi un habitat plus optimal pour le bourgou au cours des années extrêmement humides, le Scénario 3 génère de bons résultats lorsque les pluies sont abondantes. En réduisant le débit de pointe bien au-delà des niveaux optima, voire davantage au cours des années extrêmement sèches, le Scénario 3 donne de mauvais résultats au cours des années pendant lesquelles les pluies sont exceptionnellement faibles.

Agriculture

L'agriculture au sein et à la périphérie du Delta Intérieur du Niger peut être répartie en agriculture irriguée et en agriculture de crue. L'agriculture de crue a été présentée de façon détaillée au Chapitre 8, tandis que l'agriculture irriguée a été décrite au Chapitre 11. Les fonctions de

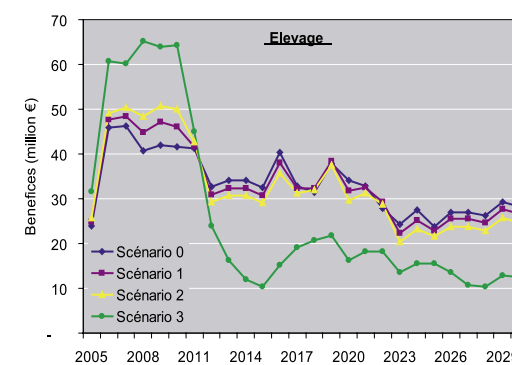


Fig. 13.7. Avantages pour le secteur de l'élevage au fil du temps au titre des quatre scénarios (en millions €/année).

production tirées de ces chapitres ont été appliquées au modèle de simulation. En dépit des fluctuations observées en ce qui concerne les prix des produits agricoles, la valeur ajoutée du riz et des autres cultures a été estimée à 95 000 F CFA et 75 000 F CFA par tonne, respectivement.

La Fig. 13.8 présente les scénarios simulés pour le secteur agricole. L'Office du Niger constitue la principale source de production agricole au Mali. La production actuelle de l'Office du Niger est censée croître au rythme de 1 500 ha/an. Le barrage de Fomi est censé constituer l'autre source importante de production du riz, du sorgho et des autres cultures dans la région. Parallèlement à l'exploitation de la capacité de production d'hydroélectricité, les périmètres irrigués seront aménagés au cours d'une période de 15 années, à raison de 2 000 ha/an.

Transport

Le fleuve Niger joue un rôle primordial en ce qui concerne le transport de biens et de personnes. En particulier, pendant la saison des pluies, les bateaux constituent le moyen de transport le plus populaire dans le Delta. Non seulement le transport fluvial permet aux populations et aux biens d'atteindre les lieux reculés, mais il est également relativement moins cher que le transport routier. Tel qu'indiqué au Tableau 13.6, les distances au Mali sont très longues.

En estimant la valeur du fleuve Niger en termes de transport, il convient d'établir une distinction entre les

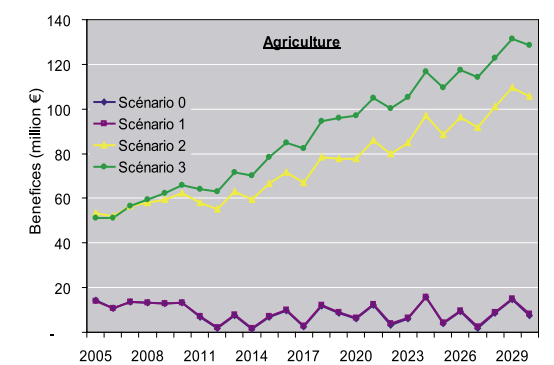


Fig. 13.8. Avantages pour le secteur agricole au fil du temps au titre des quatre scénarios (en millions €/année).



grands bateaux d'une capacité maximum d'environ 400 passagers et de 350 t de fret, d'une part, et les petites embarcations d'une capacité de 10 à 20 passagers et de 1 à 5 t de fret, d'autre part. Les grands bateaux ont besoin d'au moins 3 à 4 m d'eau pour naviguer, tandis que les bateaux de plus petite taille peuvent naviguer même à une profondeur d'eau de 1 m. Le Tableau 13.7 résume la capacité actuelle et la valeur économique de la flotte de grands bateaux. Les informations concernant les petites embarcations ne sont pas directement disponibles. Par conséquent, nous supposons que la flotte de petites embarcations et celle des grands bateaux ont des capacités similaires.

Les barrages et systèmes d'irrigation ont un impact sur le potentiel de navigation du fleuve Niger, dans la mesure où ils réduisent les niveaux d'eau en saison des pluies tout en assurant un débit supplémentaire en saison sèche. La réduction de la période de navigation en eau profonde affecte, en particulier, les grands bateaux. Une profondeur supplémentaire sur le Niger, en saison sèche, est particulièrement utile pour les petites embarcations. Les nombres de journées de navigation pour les quatre scénarios à différents niveaux d'eau sont indiqués à la Fig. 13.9 (données tirées du Chapitre 3: Fig.

Tableau 13.6. Distances de transport sur le fleuve Niger.

Route	Distance (en km)
Koulikoro-Ségou	180
Ségou-Macina	154
Macina-Mopti	170
Mopti-Niafunké	225
Niafunké-Diré	86
Diré-Tombouctou	85
Tombouctou-Gao	408

3.14). La comparaison du Scénario 0 (aucun barrage) et du scénario 3 (trois barrages) montre que ce dernier scénario prolongerait de 82 jours la période de navigation des petites embarcations, tandis qu'il réduirait de 20 jours la saison d'exploitation des grands bateaux. Les résultats de la simulation du modèle pour le secteur du transport sont indiqués à la Fig. 13.10. Les scénarios qui donnent les meilleurs résultats sont ceux relatifs au barrage de Sélingué et à l'Office du Niger. Ces barrages assurent suffisamment d'eau en saison sèche pour les petits bateaux sans causer des préjudices importants aux grands bateaux en saison des pluies. Selon que l'année est relativement humide ou non, les positions du Scénario 0 (aucun barrage) et du Scénario 3 (Fomi) changent. Au cours des années extrêmement sèches, les résultats du barrage de Fomi sont meilleurs sur le plan du transport, tandis qu'au cours des années humides, l'absence de barrage est préférable.

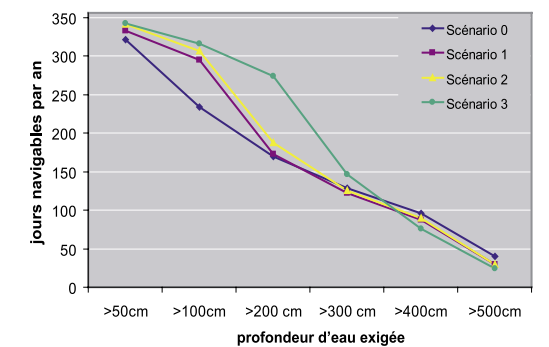


Fig. 13.9. Variation saisonnière moyenne des profondeurs de navigation à Mopti pour les différents scénarios, sur la base des simulations pour la période 1982-2002 (en nombre de jours au cours d'une année moyenne).

Tableau 13.7. Hypothèses sous-jacentes de l'analyse du transport assuré par les grands bateaux.

Données	Persons	Unité	Marchandises	Unité
Capacité maximale	64,613	Persons	34,125	Tonnes
Capacité maximale	58	Million person-km	31	Million tonne-km
Prix / unité	13	CFA/Person/km	127	CFA/tonne per km
Valeur du transport	727	Million CFA	3,890	Million CFA

Source: Enquête auprès de la COMANAV et des propriétaires de pinasses.

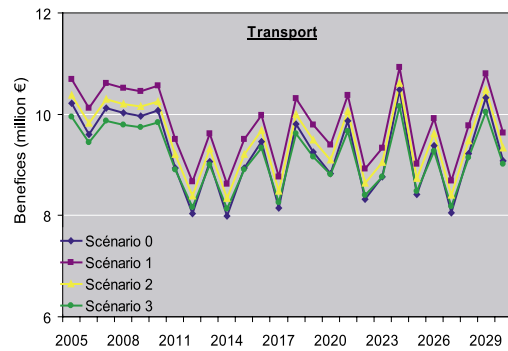


Fig. 13.10. Avantages en termes de valeur du transport au fil du temps pour les quatre scénarios (en millions €/année).

Biodiversité

Tel qu'expliqué au Chapitre 12, la biodiversité dans le Delta Intérieur du Niger est unique au monde. Il s'ensuit que la biodiversité que recèle le Mali revêt également une valeur économique. Afin d'en évaluer l'importance, une enquête a été effectuée aux Pays-Bas où les citoyens Néerlandais ont été sondés au sujet du soutien financier qu'ils seraient disposés à apporter à la protection des oiseaux d'eau aux Pays-Bas et en Afrique subsaharienne. Les résultats de cette enquête ont été présentés par Van Beukering & Sultanian (2005). En résumé, il ressort de l'étude que beaucoup de personnes attachent de l'importance aux oiseaux d'eau aux Pays-Bas. Plus de la moitié des 800 personnes interrogées étaient disposées à apporter une contribution financière à la protection des habitats d'oiseaux. En moyenne, les populations seraient disposées à payer environ 15 € par ménage par an. Si l'on fait une extrapolation à travers l'Europe, les ressources qui seraient mises à disposition pour la protection des oiseaux migrateurs seraient d'environ 2 milliards €.

Compte tenu de l'importance que revêt le Mali en tant que quartier d'hiver pour de nombreux oiseaux migrateurs d'Europe, nous supposons que 1 % de ce montant serait mis à la disposition du Mali en 2005 pour la protection des oiseaux d'eau. Le montant de ces ressources varierait en fonction de la valeur écologique. Tel qu'expliqué dans le chapitre précédent, la valeur écologique des oiseaux d'eau dans le Delta Intérieur du Niger et dans les zones irriguées est estimée à 7 019 € pour le Scénario 0, le prix d'un point écologique étant

de 3 200 €. Étant donné que les valeurs écologiques varient au fil du temps pour les quatre scénarios, il est possible de calculer une valeur économique hypothétique pour la biodiversité. Comparée aux autres secteurs, l'estimation de la valeur économique de la biodiversité est hautement hypothétique et il est probable qu'elle soit significativement élevée ou faible. Cependant, compte tenu du fait que nous avons exclu cette valeur de l'analyse des coûts et avantages puisque préjudiciable quand elle est prise en compte, nous avons décidé de la réserver pour la dernière approche. L'impact de cette assumption sur le résultat final est testé dans l'analyse de la sensibilité.

Les résultats du modèle de simulation sont indiqués à la Fig. 13.11. Les oiseaux d'eau du Delta Intérieur du Niger dépendent beaucoup du bourgou. Tel qu'expliqué au Chapitre 7, la croissance du bourgou est plutôt limitée en eau très profonde. C'est la raison pour laquelle les résultats du Scénario 2 sont légèrement meilleurs que ceux du Scénario 0 au cours des années extrêmement humides. Toutefois, pendant toute la période, une situation sans barrages génère la valeur de la biodiversité la plus élevée. La valeur de la biodiversité dans le Delta est extrêmement faible au titre du Scénario 3. La réduction de la superficie de la zone inondable imputable au barrage de Fomi contraint les oiseaux d'eau à se concentrer sur des zones limitées, ce qui non seulement réduit la quantité de nourriture disponible, mais les rend également vulnérables à l'action humaine (chasse).

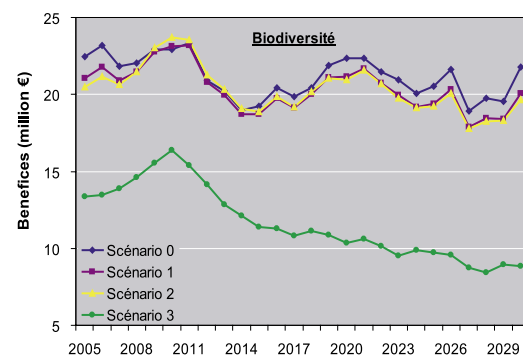


Fig. 13.11. Avantages en termes de valeur de la biodiversité au fil du temps au titre des quatre scénarios (en millions €/année).



13.5

Analyse coûts-avantages

Avantages et coûts au fil du temps

La Fig. 13.12 présente les coûts et avantages globaux pour les quatre scénarios tout au long de la période 2005-2030. En ce qui concerne les avantages proprement dits, tels que présentés dans la partie supérieure de la Fig. 13.12, il va sans dire que plus il existe de barrages plus l'on génère des avantages globaux. D'une manière générale, le Scénario 3 (3 barrages) comporte plus d'avantages que le Scénario 2 (2 barrages) qui, à leur tour, en comportent plus que le Scénario 1 (1 barrage). En d'autres termes, les interventions de l'homme peuvent générer des recettes plus importantes pour la société en général. Cependant, des avantages plus appréciables ne se traduisent pas nécessairement par des niveaux de bien-être meilleurs. Il y a lieu de prendre en compte également le coût de chaque scénario.

Les coûts globaux au fil du temps pour les quatre scénarios sont présentés dans la partie centrale de la Fig. 13.12. Il n'est pas surprenant que la situation soit similaire à celle représentée sur le graphique des avantages. De toute évidence, 3 barrages sont plus onéreux que 2 barrages, 2 barrages coûtent plus cher que 1 barrage, etc. En revanche, les coûts et avantages diffèrent de deux manières. Tout d'abord, la différence entre les scénarios est beaucoup plus marquée sur le graphique des coûts. En particulier, la combinaison de trois barrages (Scénario 3) nécessite des investissements et implique coûts d'entretien importants. Ceci s'explique, pour l'essentiel, par le fait que Fomi n'ait pas encore été construit, tandis que les barrages de Markala et de Sélingué sont déjà opérationnels. Ensuite, par rapport aux avantages, les coûts sont beaucoup plus prévisibles et constants au fil du temps, dans la mesure où ils ne sont pas tributaires des conditions climatiques.

La partie inférieure de la Fig. 13.12 présente la même configuration que les avantages nets au fil du temps pour les quatre scénarios. Les avantages nets résultent de la déduction des coûts globaux des avantages globaux. La classification des scénarios sur la base des avantages

nets change au fil du temps. Compte tenu des investissements initiaux élevés que requiert le barrage, le Scénario 3 génère des avantages nets faibles au cours des toutes premières années. Mais, ceux-ci augmentent à mesure que le barrage de Fomi devient opérationnel progressivement. En principe, les avantages nets du deuxième scénario sont supérieurs à ceux du Scénario 3 tout au long de la période. A la lumière de la fluctuation des avantages nets, tel que présentée à la Fig. 13.12, on

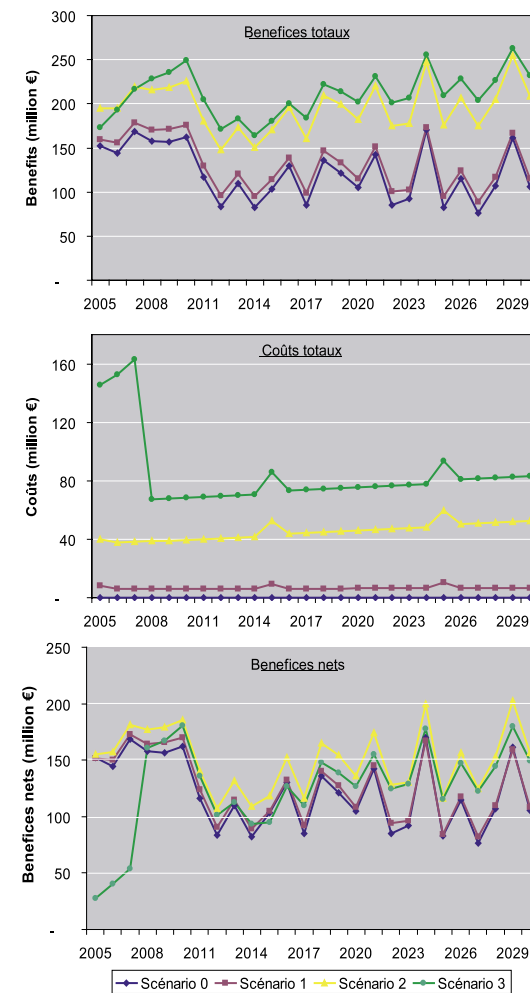


Fig. 13.12. Coûts et avantages globaux des quatre scénarios au fil du temps (2005-30).

peut conclure également que les barrages sont particulièrement avantageux au cours des années de pluies abondantes. Pendant les années humides, les avantages perdus en aval sont nettement moindres.

Valeur actualisée nette

L'étape suivante de l'analyse des avantages et des coûts des quatre scénarios consiste à faire la somme des avantages annuels et coûts au fil du temps. afin d'obtenir la valeur économique totale (VET). Les économistes font la somme des valeurs dans le temps en convertissant les coûts et bénéfices annuels en valeurs actualisées nettes (VAN), en actualisant. L'actualisation est la pratique qui consiste à retenir des valeurs inférieures pour les avantages et coûts futurs par rapport aux avantages et coûts de l'heure, prenant en compte ainsi la préférence des populations pour le présent par rapport au futur. Le taux d'actualisation retenu pour la présente étude est de 5 %. Pour démontrer l'impact de cette sélection, une analyse de sensibilité pour une gamme de taux d'actualisation a également été effectuée. Le calcul de la VAN des avantages et coûts est expliqué de façon plus détaillée à l'Appendice X.

Le Tableau 13.8 présente la VAN des avantages nets totaux au titre des quatre scénarios dont la somme a été faite pour toute la période (2ème colonne) et sous forme de valeurs annuelles (3ème colonne), respectivement. Ces valeurs représentent la valeur économique totale de chaque scénario. Les deux colonnes montrent que le Scénario 2 génère les avantages nets les plus substantiels, tandis que le Scénario 3 génère les moindres.

Ceci revient à dire que l'adjonction du barrage de Fomi aurait une incidence négative sur l'économie en général.

Afin d'analyser l'impact économique individuel exact des trois combinaisons de barrages, il est prise en compte la différence entre les scénarios avec barrages et le Scénario 0 (aucun barrage). Ces avantages nets additionnels des trois scénarios avec barrages sont calculés en déduisant les avantages nets totaux du Scénario 0 de ceux des Scénarios 1, 2 et 3. Les quatrième et cinquième colonnes du Tableau 13.8 présentent la VAN marginale des avantages nets totaux et annuels des trois scénarios avec barrages, respectivement. A la lumière de la différence entre les Scénarios 2 et 3, les avantages nets supplémentaires du barrage de Fomi par rapport à la situation actuelle (Markala et Sélingué) peuvent être déterminés. En construisant le barrage de Fomi, la société en général perdra plus de 500 millions € (c'est-à-dire 121 € + 380 millions €), soit une perte annuelle de 35 millions € (c'est-à-dire 8,5 € + 26,4 millions €). Le barrage de Sélingué est censé générer des avantages nets supplémentaires de l'ordre de 68,5 € jusqu'en 2030. Parmi les trois barrages, celui de Markala est le plus réalisable sur le plan économique, dans la mesure où il est censé générer des avantages nets totaux de 312 millions € (c'est-à-dire 380 € - 69 millions €), ce qui équivaut à environ 22 millions € par an (c'est-à-dire 26,4 € - 4,8 millions €).

Tableau 13.8. Valeurs actualisées nettes (VAN) des avantages nets au titre des quatre scénarios avec barrage, obtenues en déduisant les coûts totaux des avantages totaux (avantages nets) et en comparant les changements au titre des Scénarios 1, 2 et 3, d'une part, et celui lié au Scénario 0 (marginal), d'autre part, qui représente la situation sans aucun barrage.

Scénario	Global		Marginal	
	VAN des avantages nets (en million €)	VAN des avantages nets par an (en million € par an)	VAN des avantages nets (en million €)	VAN des avantages nets par an (en million € par an)
Scénario 0	1.903	132	-	-
Scénario 1	1.971	137	68,5	4,8
Scénario 2	2.283	159	380,2	26,4
Scénario 3	1.781	124	-121,8	-8,5

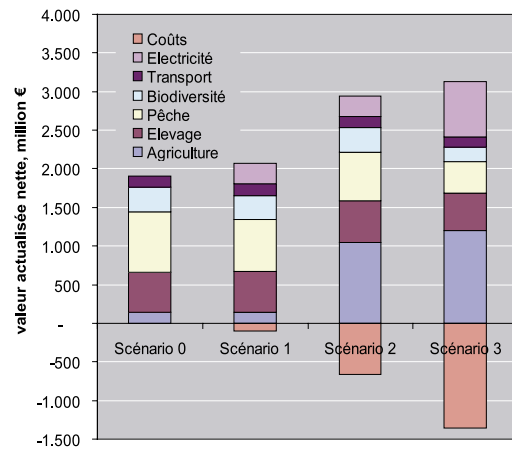


Fig. 13.13. Répartition de la VAN des coûts et avantages connexes des quatre scénarios (26 années, taux d'actualisation de 5 %).

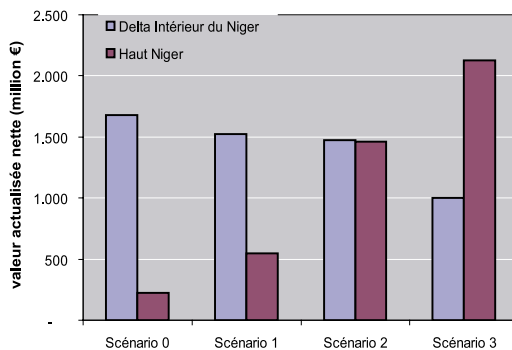


Fig. 13.14. Répartition spatiale des avantages globaux entre le Delta Intérieur du Niger et la région du Haut Niger du Mali et de la Guinée.

Distribution sectorielle

Les avantages nets marginaux des scénarios prennent en compte les changements dans les différents secteurs de l'économie. Ces secteurs ont été décrits de façon individuelle dans la section précédente. La Fig. 13.13 présente la configuration des différents avantages sectoriels. Les valeurs négatives représentent les coûts financiers cumulés de chacun des scénarios. Les coûts augmentent

disproportionnellement avec l'adjonction du barrage de Fomi. Bien que ces coûts supplémentaires soient compensés, en partie, par l'électricité et les avantages agricoles supplémentaires, les pertes dans les domaines de la pêche, de l'élevage et de la biodiversité sont également considérables. L'impact de l'Office du Niger et du barrage de Sélingué est beaucoup moins marqué. La Fig. 13.13 montre également qu'une société sans barrages (Scénario 0) génère essentiellement des recettes par le truchement de la pêche et de l'élevage. Aucune électricité n'est produite et la production agricole demeure plutôt limitée.

Distribution dans l'espace

Une dimension importante de l'étude concerne la distribution dans l'espace des avantages sous différents scénarios. Outre les changements en ce qui concerne le niveau absolu de bien-être, il est probable que les barrages assurent le transfert des avantages d'une région à une autre. La Fig. 13.14 présente la répartition des avantages globaux entre le Delta intérieur du Niger et la région située en amont. La région du Haut Niger comprend tous les cercles du Mali et de la Guinée où les barrages créent des activités économiques, notamment l'agriculture irriguée et la production hydroélectrique. Au Mali, il s'agit des cercles de Ségou, Macina, Niono et Yanfolila. La tendance à la Fig. 13.14 montre clairement que, suite à la construction de chaque barrage supplémentaire, les avantages sont transférés du Delta Intérieur du Niger à la région en amont. Ce transfert est particulièrement important dans le Scénario 3. Ceci signifie que la construction du barrage de Fomi sera très avantageuse pour la Guinée au détriment de l'économie malienne.

La Fig. 13.15 présente une distribution spatiale plus détaillée des avantages globaux des quatre scénarios entre les différents cercles. Dans une situation sans barrage, Mopti et Ténenkou sont les cercles dont l'économie dépend du Niger. Dans la situation actuelle, où Markala et Sélingué sont pleinement opérationnels, Ségou domine l'économie liée au fleuve. La réduction du débit du Niger imputable au barrage de Fomi aurait pour effet de réduire les avantages économiques pour Ségou, tout en favorisant l'essor économique de la Guinée.

Une autre manière de considérer la distribution spatiale consiste à prendre en compte les avantages par personne dans chaque cercle. La Fig. 13.16 présente les différents niveaux d'avantages par habitant

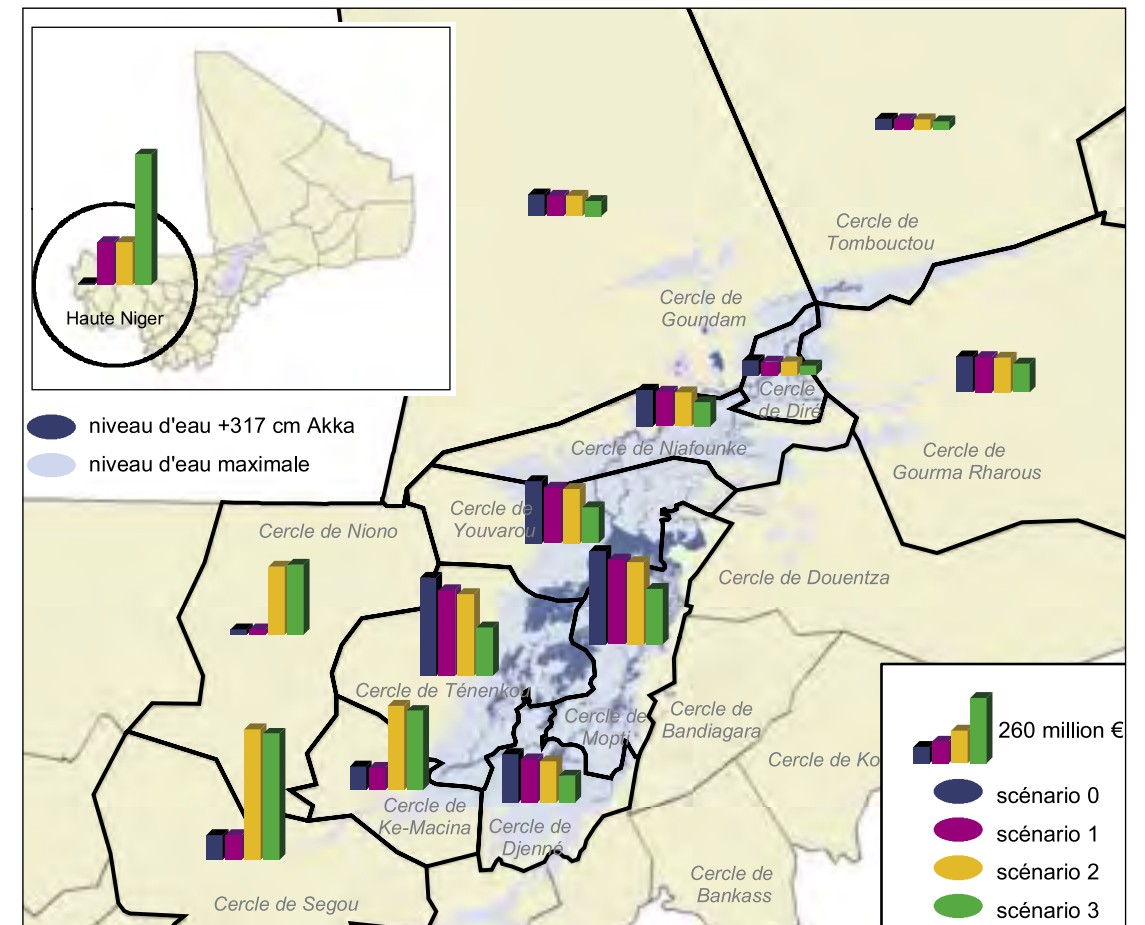


Fig. 13.15. Répartition spatiale des avantages globaux entre les différents cercles au titre des quatre scénarios en millions € (26 années, taux d'actualisation de 5 %).

tirés du fleuve Niger au titre des quatre scénarios. Plusieurs observations s'imposent en ce qui concerne l'explication des résultats présentés. Tout d'abord, les tendances actuelles de l'évolution démographique ont été extrapolées pour la période 2005-2030. En réalité, il est probable que ces tendances dépendent du scénario; car, le plus souvent, les régions les plus prospères sur le plan économique attirent les migrants de régions moins prospères. Ensuite, les niveaux présentés à la Fig. 13.16 sont inférieurs au revenu moyen enregistré en général dans le Delta Intérieur du Niger. D'une part,

ceci pourrait signifier que les données statistiques disponibles appliquées dans la présente étude sont en deçà des niveaux de revenu réels générés dans les secteurs économiques considérés. D'autre part, il convient de relever que les résultats ne concernent que les secteurs tributaires du fleuve. Un certain nombre d'autres activités économiques importantes, notamment le transport routier, la vente au détail et le commerce n'ont pas été prises en compte dans les estimations présentées dans le cadre de la présente étude. Enfin, il y a lieu de relever que les avantages par habitant pour la région du Haut

Niger au titre du Scénario 3 ne peuvent être calculés, car nul ne connaît le nombre des Guinéens qui tireront parti du barrage de Fomi.

En dépit de cette mise en garde sur le plan méthodologique, il est possible de tirer plusieurs leçons importantes des données de la Fig. 13.16. De toute évidence, les cercles qui sont situés dans le Delta Intérieur du Niger accusent une baisse notable du revenu par habitant proportionnelle à l'augmentation du nombre de barrages. Il va sans dire qu'il existe un rapport d'opposition entre les avantages économiques pour les cercles du Haut Niger et le nombre de barrages. Seule la création du barrage de Fomi a une incidence négative sur le revenu par habitant. Les barrages de Markala et de Sélingué ont permis d'améliorer, dans une certaine mesure, le niveau de bien-être du citoyen malien moyen. Les avantages moyens liés au fleuve augmentent avec chaque barrage, passant de 44 € (Scénario 0), à 48 € (Scénario 1), puis à 68 € (Scénario 2). Le barrage de Fomi est censé réduire le bien-être lié au fleuve Niger pour la population malienne concernée, qui passerait de 68 € à 52 € par habitant.

Enfin, la distribution spatiale peut être présentée également de façon spécifique pour les différents

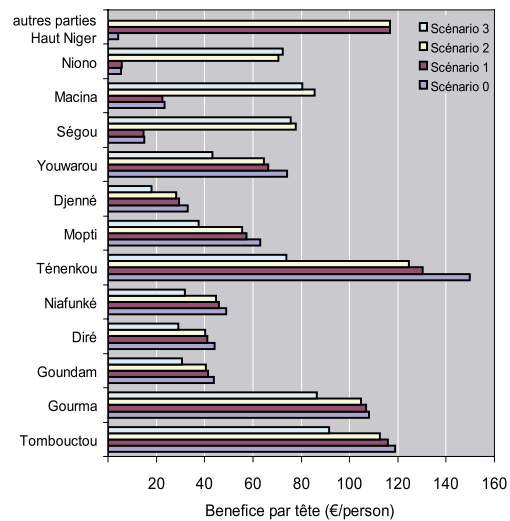


Fig. 13.16. Répartition spatiale des avantages globaux par habitant générés par le fleuve Niger entre les différents cercles au titre des quatre scénarios, en €/personne (26 années, taux d'actualisation de 5 %).

secteurs économiques qui sont opérationnels dans les cercles suivants. La répartition actuelle des avantages (Scénario 2) est présentée à la Fig. 13.17. Dans ce scénario, la région «reste du Haut Niger» se limite au Cercle de Yanfolila. La configuration des avantages varie considérablement d'un cercle à un autre. Le cercle de Gourma-Rharous dépend essentiellement des avantages liés à l'élevage, tandis que Ténenkou et Mopti sont des cercles essentiellement piscicoles. Les cercles de Ségou, Macina et Niono tirent l'essentiel de leurs avantages des revenus de l'agriculture irriguée et Yanfolila de la production d'énergie et, une certaine mesure, des revenus de la pêche au niveau du réservoir.

Analyse de sensibilité

De nombreuses hypothèses ont été formulées afin de parvenir aux résultats obtenus. Ceci est nécessaire, compte tenu des contraintes de données et du temps disponible pour la présente étude. Ces hypothèses ne devraient pas constituer un obstacle tant que les résultats sont relativement solides par rapport à l'évolution des valeurs des paramètres supposés. A ce stade, la sensibilité des résultats est testée pour deux des principales hypothèses: le taux d'actualisation, ainsi que les conditions climatiques et l'évaluation de la biodiversité.

Le taux d'actualisation standard utilisé pour l'analyse économique de la gestion du fleuve Niger est de 5 %. La Fig. 13.18 présente les résultats de cette analyse de sensibilité pour une fourchette de 0 à 15 %.

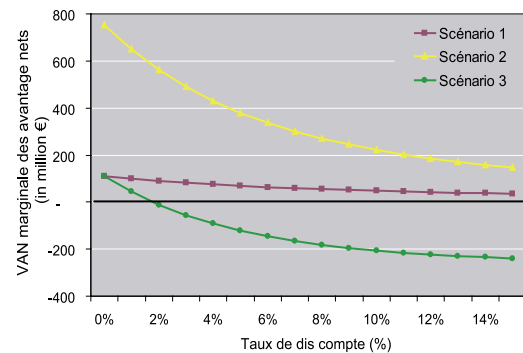


Fig. 13.18. Analyse de sensibilité de l'impact du taux d'actualisation de la VAN sur les avantages nets (en millions €).

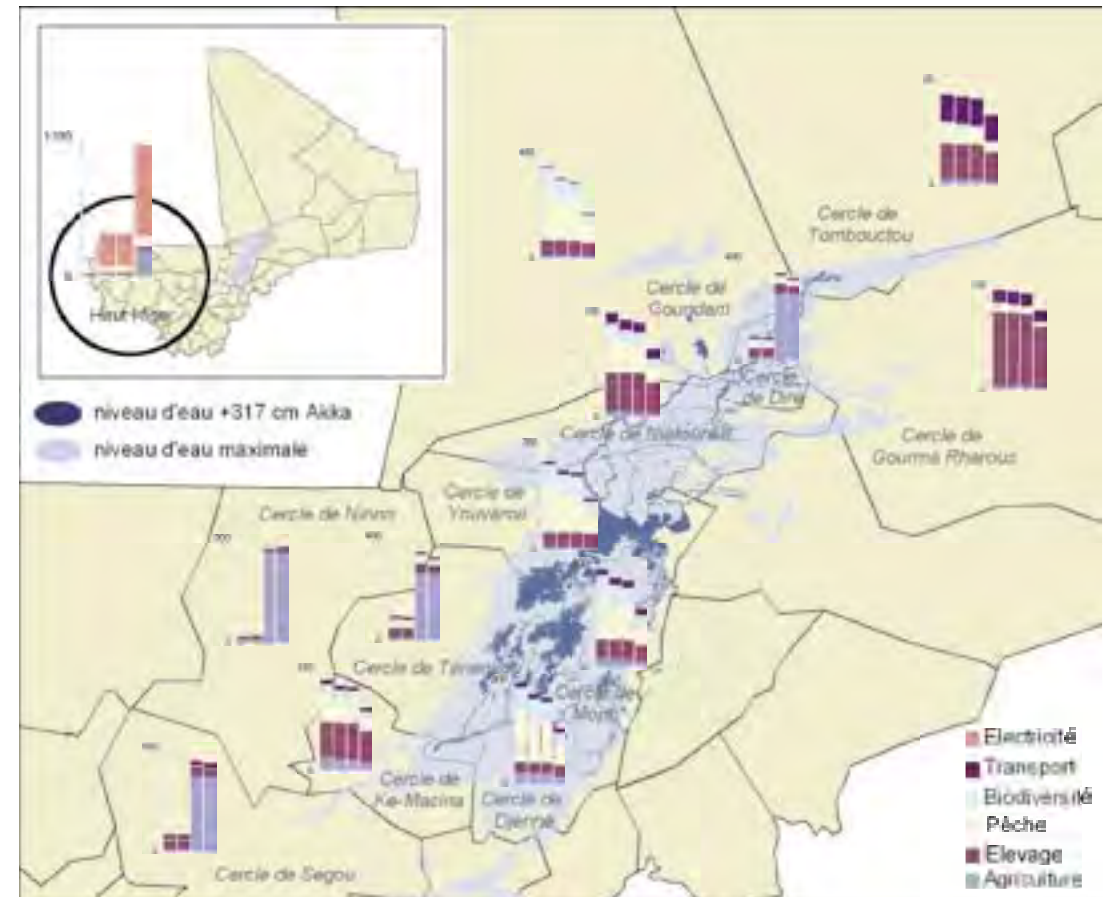


Fig. 13.17. Répartition spatiale des avantages entre les différents secteurs pour chaque cercle au titre des quatre scénarios en millions € (26 années, taux d'actualisation de 5 %).

observations peuvent être faites à partir du graphique. Tout d'abord, pour un taux d'actualisation de zéro pour cent, qui signifie qu'aucune actualisation n'est effectuée, toutes les combinaisons de barrages génèrent une VAN positive pour les avantages nets. Deuxièmement, les courbes ne se recoupent pas. En d'autres termes, le classement des trois scénarios est le même, indépendamment du taux d'actualisation retenu. Par conséquent, les résultats sont fiables en ce qui concerne le taux d'actualisation.

La deuxième hypothèse majeure de l'étude a trait aux conditions climatiques dans la région du Haut Niger.

Sur la base des conditions des 75 dernières années, l'on a estimé que les précipitations diminuent de 3,5 mm chaque année. En raison de la tendance générale au réchauffement climatique mondial, il est fort probable que ce rythme s'accélère au cours des prochaines décennies. Afin de tester l'impact d'une accélération de ce changement climatique, la réduction des précipitations est majorée par la suite de 25 %, 50 %, 100 %, puis 150 % pour les différents scénarios. Les résultats de cette analyse de sensibilité sont présentés séparément à la Fig. 13.19 pour le Delta Intérieur du Niger et la région du Haut Niger. Les deux régions souffrent de conditions de

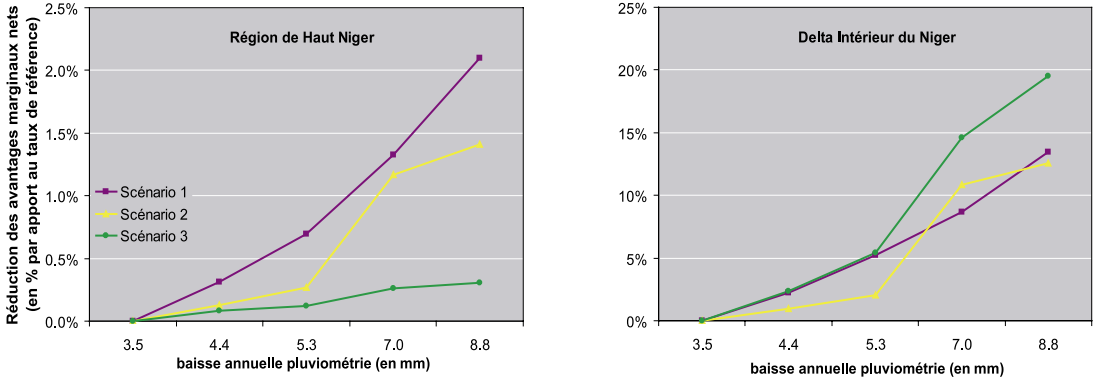


Fig. 13.19. Analyse de sensibilité de l'impact de conditions climatiques plus extrêmes sur la VAN des avantages nets (en millions €).

sécheresse croissante, quoiqu'à des degrés divers. Pour l'ensemble des trois scénarios, le Delta Intérieur du Niger est beaucoup plus vulnérable que le Haut Niger à la sécheresse, en particulier avec l'existence du barrage de Fomi.

L'hypothèse finale qui a été testée a trait à l'impact de la valeur de la biodiversité sur le résultat final. A l'heure actuelle, la valeur de la biodiversité est fondamentalement une expression des préférences des citoyens européens. En d'autres termes, plus la biodiversité est abondante dans le Delta Intérieur du Niger, plus le bien-être est élevé en Europe. Seule une part limitée de cet avantage est en fait transférée aux communautés du Delta Intérieur du Niger. Etant donné que la valeur de la biodiversité est une valeur réelle mesurée en Europe, et vu que l'on s'attend à ce que cette valeur de la biodiversité européenne soit de plus en plus utilisée au Mali pour protéger les oiseaux d'eau et les autres types d'environnement naturel, la valeur estimative est effectivement intégrée dans l'analyse coûts-avantages de la présente étude. Cependant, on pourrait affirmer que la mesure dans laquelle la valeur de la biodiversité qui profitera au Delta lui-même est considérablement moindre. Par conséquent, nous testons la sensibilité du résultat final en supposant que seuls 10 % de la valeur de la biodiversité exprimée profitera effectivement à l'économie malienne.

Les résultats sont présentés à la Fig. 13.20. Les avantages nets additionnels des barrages sont légèrement meilleurs du fait de la déclin de la valeur de la biodiversité.

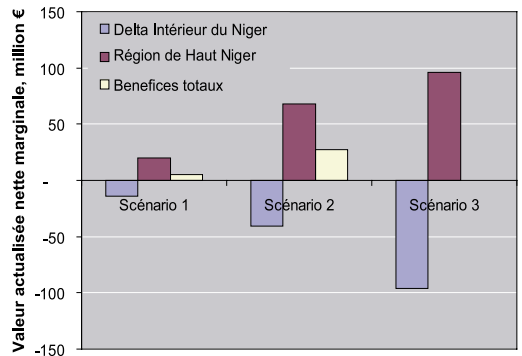


Fig. 13.20. Analyse de sensibilité de l'impact de la décimation de la valeur de la biodiversité sur la VAN des avantages nets (en millions €).

sité. La faisabilité économique des barrages de Sélingué et Markala demeure intacte. Celle du barrage de Fomi s'améliore quelque peu, à telle enseigne que les pertes dans le Delta Intérieur du Niger sont au moins compensées par les avantages tirés par la région du Haut Niger. Néanmoins, l'adjonction du barrage entraîne toujours une baisse des avantages nets additionnels. Ce test de sensibilité montre à quel point la prise en compte de la biodiversité dans le Delta Intérieur du Niger seule ne doit pas modifier de fond en comble les décisions économiques. Toutefois, son intégration dans l'équation peut jouer un rôle primordial.

13.6 Conclusions

Une fois mises en commun les informations fournies par les hydrologues, les écologistes, les ingénieurs, les experts en pisciculture et les agronomes, l'analyse économique constitue la dernière étape d'une longue série d'exercices scientifiques. En dépit de la simplification des hypothèses, plusieurs conclusions peuvent être tirées.

- La valeur économique des barrages sur le fleuve Niger dépend essentiellement de la quantité d'eau détournée du fleuve. Le barrage de Sélingué et Markala semblent économiquement viables. Pris ensemble, ils génèrent 26,4 millions d'avantages par an pour la société dans son ensemble. L'adjonction du barrage de Fomi aux deux barrages existants réduirait la prospérité économique de 35 millions par an.
- Plusieurs secteurs jouissent des avantages qui varient considérablement en fonction de la quantité d'eau détournée à partir du fleuve Niger. Les coûts financiers additionnels du barrage de Fomi ne sont compensés qu'en partie par l'électricité et les avantages agricoles supplémentaires. En outre, les pertes indirectes dans les domaines de la pêche, de l'élevage et de la biodiversité en aval dépassent ces avantages directs. Ces conséquences négatives en aval sont moins marquées dans le cas du scénario de l'Office du Niger et de Sélingué.
- Outre les changements du niveau absolu de bien-être, il est probable que les barrages entraînent des transferts d'avantages d'une région à une autre. Il ressort clairement des résultats que, suite à la construction de chaque barrage supplémentaire, des avantages sont transférés du Delta Intérieur du Niger à la région du Haut Niger, en amont. Ce transfert est particulièrement important dans le cas de l'adjonction du barrage de Fomi, qui profite essentiellement à la Guinée, au détriment de l'économie malienne.
- Les barrages sur le Niger ont des impacts mitigés sur la pauvreté. La population du Delta Intérieur du Niger connaît une baisse importante du revenu par habitant,

suite à l'augmentation du nombre de barrages. Il existe un rapport d'opposition entre les avantages économiques par habitant de la population du Haut Niger et l'augmentation du nombre de barrages. Les avantages moyens liés au fleuve par personne augmentent pour chaque barrage supplémentaire, passant de 44 (aucun barrage), à 48 (Sélingué) et à 68 (Sélingué et Markala). On s'attend à ce que le barrage de Fomi



réduise le bien-être lié au fleuve pour la population malienne concernée, celui-ci passant de 68 à 52 par habitant.

- Enfin, l'analyse de sensibilité des conditions climatiques montre, en particulier, que le Delta intérieur, et dans une moindre mesure, la région du Haut Niger souffrent de la recrudescence de la sécheresse. La construction du barrage de Fomi renforce considérablement la vulnérabilité du Delta Intérieur du Niger.

14

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS



Leo Zwarts
Pieter van Beukering
Bakary Kone
Eddy Wymenga

14.1 Introduction

De nombreuses populations vivant dans la zone semi-aride du Sahel occidental sont entièrement tributaires des fleuves Sénégal et Niger. Etant donné que ces deux fleuves sont soumis à d'importantes variations saisonnières liées aux précipitations et au débit, la performance des activités économiques tributaires du fleuve varie également. Une solution à laquelle l'on a très souvent recours face à cette dépendance des conditions climatiques consiste à créer des systèmes hydroélectriques et hydroagricoles. D'une manière générale, on se demande si les coûts directs et indirects de tels méga-investissements ont fait l'objet d'évaluations judicieuses. Outre la faisabilité économique (c'est-à-dire les coûts et avantages directs) de la construction de nouveaux barrages, nul ne sait quelles seront les conséquences indirectes des systèmes hydroélectriques, hydroagricoles sur les bénéficiaires en aval. Au nombre de ces bénéficiaires figurent les pêcheurs, les éleveurs, les sociétés de transport fluvial et les agriculteurs, ainsi que la biodiversité du fleuve et des plaines alluviales connexes.

Le principal objectif de la présente étude consiste à définir le rôle des barrages et systèmes d'irrigation dans l'économie générale, ainsi que dans l'écosystème du Delta Intérieur du Niger et de la région en amont au Mali et en Guinée. Une évaluation intégrée a été effectuée afin de déterminer les coûts et avantages directs et indirects des différents régimes de gestion du fleuve Niger, en procédant à une analyse des changements potentiels de l'hydrologie, puis des impacts écologiques y relatifs, et enfin des conséquences sociales et économiques. Les résultats de cette étude pluridisciplinaire sont résumés dans les sections suivantes. Par ailleurs, plusieurs leçons ont été tirées à l'intention des décideurs.

14.2 Hydrologie

Le fleuve Niger, qui prend sa source en Guinée, traverse le Mali, et se jette dans l'Océan Atlantique, à 4 200 km de sa source. Le débit du fleuve fluctue considérablement au fil du temps. Ces fluctuations sont à la fois naturelles et artificielles. L'évaluation hydrologique faite dans la présente étude nous permet de mieux comprendre l'hydrologie du Haut Niger, mettant en exergue les variations naturelles, ainsi que l'impact des ouvrages artificiels.

Variations naturelles

La hauteur des précipitations annuelles dans le bassin versant du Haut Niger s'estime en moyenne à 1 500 mm, oscillant dans les faits entre 1 100 et 1 900 mm. Bien que le débit du fleuve Niger soit déterminé par les précipitations, sa variation annuelle entre 600 et 2 300 m³/s est beaucoup plus marquée que celle des précipitations. Ceci peut s'expliquer par le fait que le débit de pointe du fleuve n'est pas seulement tributaire des précipitations enregistrées au cours des mois précédents, mais également des formations aquifères. Étant donné

que les niveaux de la nappe phréatique sont déterminés par les précipitations enregistrées au cours des années précédentes, le débit du fleuve baisse au cours d'une série d'années de sécheresse. C'est ce qui s'est produit pendant la période de sécheresse du milieu des années 80, connue en Afrique de l'Ouest sous le nom de la «Grande Sécheresse», au cours de laquelle le débit du fleuve Niger avait baissé, atteignant des niveaux sans précédent. Entre 1900 et 1980, le fleuve n'a enregistré un débit de pointe inférieur à 4 000 m³/s que deux fois; au cours des 20 dernières années, son débit a rarement dépassé ce niveau.

Barrages

La baisse récente du débit du fleuve Niger ne peut être attribuée uniquement à la faiblesse de la pluviométrie et à l'épuisement des formations aquifères. Les projets de barrage et d'irrigation dans la région du Haut Niger devraient également avoir un impact écologique mesurable. La présente étude analyse l'impact des deux ouvrages artificiels existants sur le fleuve Niger: le barrage de Markala construit par l'Office du Niger (ON) et le barrage de Sélingué. L'impact potentiel du barrage prévu dans la région du Haut Niger, en Guinée (barrage de Fomi), fait également l'objet d'une évaluation.

Le **barrage de Sélingué**, qui a été construit en 1982, constitue, à l'heure actuelle, l'unique réservoir d'hydroélectricité dans le Haut Niger. En principe, la capacité de la centrale hydroélectrique de Sélingué est de 47,6 MW. Cependant, compte tenu de sa taille,

soit 2,2 km³ (l'équivalent de 6,8% du débit moyen du fleuve), le volume du réservoir de Sélingué est limité. En raison de l'évaporation à la surface du réservoir (34,2 km²), environ 0,5 km³ de débit d'eau est perdu chaque année. Le rôle de Sélingué dans l'hydrologie du Delta Intérieur du Niger varie considérablement entre la saison humide et la saison sèche. En moyenne, 1,8 km³ de débit du fleuve est stocké dans le réservoir du fleuve en saison des pluies (août à septembre). Au cours des années de débit élevé, ceci représente seulement l'équivalent de 10 à 20% du débit de pointe du Niger. Cependant, au cours des années de faible débit, cette fraction s'accroît, atteignant 20 à 30%. L'eau stockée dans le réservoir de Sélingué pendant la saison des pluies est libérée progressivement pendant le reste de l'année. Sans ces «lâchers d'eau» de Sélingué, le débit du fleuve en saison sèche pourrait se situer de 0,2 à 0,4 km³ par mois; L'on ajoute 0,2 km³ par mois au débit naturel. Ceci est particulièrement important au cours des années de faibles crues, lorsque le débit du fleuve dans le Delta Intérieur du Niger, de mars à mai, est très tributaire de la gestion du lac de Sélingué.

La construction du barrage de Fomi sur un affluent du Niger en Guinée est encore à l'étude. Le projet de Fomi concerne une centrale hydroélectrique d'une capacité installée maximum de 90 MW, ainsi que des activités hydroagricoles sur une superficie irriguée de 30 000 ha. Son réservoir devrait être 2,9 fois plus grand que celui de Sélingué. Si la gestion de l'eau au niveau du barrage de Fomi était similaire à celle de Sélingué, on s'attend à ce

que l'impact sur le débit en saison de pluies et en saison sèche soit comparable, cependant avec une amplitude qui serait 2,9 fois plus élevée. Trois autres ouvrages sont prévus dans le bassin du fleuve Niger: le seuil de Talo et le barrage de Djenné sur le Bani, un affluent du fleuve Niger, et le barrage de Tossaye en aval du Delta Intérieur du Niger entre Tombouctou et Gao. Les implications de ces barrages n'ont pas encore été prises en compte dans la présente analyse.

Le périmètre irrigué de l'Office du Niger constitue, à l'heure actuelle, l'unique principal utilisateur d'eau dans le Haut Niger. Afin d'irriguer plus de 700 km² dans le «Delta mort», l'Office du Niger utilise 2,7 km³ d'eau par an. Ceci est l'équivalent de 8,3% du débit annuel total du fleuve. L'impact de cette prise d'eau sur le régime hydrologique du Delta Intérieur du Niger varie d'une année à l'autre. Étant donné que la prise d'eau demeure pratiquement constante, l'utilisation annuelle de l'eau par le périmètre irrigué de l'Office du Niger tombe à 4% du débit total au cours des années de débit élevé, mais passe à 15% du débit total au cours des années de faible débit. Le ratio de la prise d'eau varie également sur une base saisonnière. L'Office du Niger consomme environ 100 m³/s d'eau d'août à novembre et près de 60 m³/s de décembre à avril. Ceci ne représente que l'équivalent d'une infime fraction de la période de crues (saison humide), mais jusqu'à 50 à 60% de l'eau en saison sèche. Les pratiques d'irrigation de l'Office du Niger en saison sèche sont, par conséquent, très tributaires de l'eau libérée au niveau du réservoir de Sélingué.



Relations de dépendance

Les barrages, les systèmes d'irrigation et les processus naturels du Delta Intérieur apportent tous une contribution à l'actuel système hydrologique. Au cours des années où les précipitations sont faibles, le débit naturel du fleuve Niger ne suffit pas à satisfaire les besoins en eau de l'Office du Niger. En mai, par exemple, ce débit n'est que de 40 m³/s, tandis que la consommation d'eau du périmètre irrigué de l'Office représente au moins le double de cette quantité. Pendant six années consécutives (1989-95), c'est uniquement grâce au débit supplémentaire assuré par le réservoir de Sélingué que l'Office du Niger a pu recevoir la quantité d'eau nécessaire pour satisfaire ses besoins.

Le débit restant dans le Delta Intérieur du Niger dépend des lâchers d'eau de Sélingué et de la consommation d'eau au niveau de l'Office du Niger qui, pendant les années sèches, représente parfois moins de 60 m³/s. Dans ces conditions extrêmes, la hauteur des eaux dans le Delta Intérieur du Niger tombe à des niveaux extrêmement bas. En conséquence, l'eau se concentre dans quelques zones de dépression du Delta central. Afin de tirer le meilleur parti de ces conditions, les pêcheurs vident les plans d'eau restants (lac Walado) de leurs ressources halieutiques. A la longue, ces pratiques seront très préjudiciables pour les stocks de poissons. Par conséquent, un débit minimum est nécessaire pour prévenir un épuisement des ressources ichtyologiques au niveau du Delta central, de même que la réduction de la pression sur la biodiversité restante.

Dans la présente étude, ce débit minimum est fixé à 50 m³/s. Le maintien de ce débit permet de veiller également à ce que les obligations internationales entre le Mali et le Niger soient honorées. Avec ce débit minimum, la consommation d'eau de l'Office du Niger au cours de la période où les crues sont les plus faibles atteint un niveau record. En d'autres termes, l'extension prévue du périmètre irrigué de l'Office du Niger n'est possible que si la gestion de l'eau s'améliore davantage. L'efficacité de l'utilisation de l'eau dans ce périmètre a déjà été améliorée de façon considérable. Dans les années 80, la production d'un kilogramme de riz nécessitait 30 000 litres d'eau. A l'heure actuelle, seuls environ 7 500 litres sont nécessaires. Dans le même temps, les niveaux de production et l'ampleur spatiale de l'agriculture se sont accrus au cours des deux dernières décennies. Une poursuite de cette tendance est essentielle et possible.

Scénarios

Afin d'évaluer l'impact des trois ouvrages artificiels dans la région du Haut Niger, quatre scénarios hypothétiques ont été simulés et analysés. Ils sont utilisés comme points de référence essentiels à travers la présente étude:

- Scénario 0: Sans l'Office du Niger & Sélingué – Dans ce scénario, ni Sélingué ni l'Office du Niger n'existent dans le Haut Niger. Cette situation hypothétique sert de «référence», illustrant la situation hydrologique naturelle qui prévalait il y a plus de 50 ans;
- Scénario 1: Sans l'Office du Niger & avec Sélingué – Dans ce scénario, Sélingué est encore présent, mais l'Office du Niger est absent;
- Scénario 2: Avec l'Office du Niger & Sélingué – Ce scénario reflète la situation actuelle où Sélingué et l'Office du Niger sont pleinement opérationnels dans le Haut Niger;
- Scénario 3: Avec l'Office du Niger, Sélingué et Fomi – Ce scénario reflète également la situation actuelle, mais prend en compte l'existence du futur barrage Fomi. Le principal objectif de ce scénario est d'évaluer l'impact de ce barrage dont la construction est prévue.

Sur la base de données historiques, les corrélations statistiques entre l'hydrologie, l'inondation, l'écologie et la socioéconomie sont évaluées pour ces quatre scénarios et extrapolées pour une période future allant de 2005 à 2030. La durée de cette période assure suffisamment de temps pour que les principaux impacts environnementaux se fassent sentir, tout en étant suffisamment courte afin de faire des prévisions en ce qui concerne l'avenir. On suppose que la tendance négative des précipitations dans la région du Haut Niger, de -3,5 mm par an, continuera et que la variabilité du climat de +/-30% demeurera inchangée.

Inondation

L'hydroélectricité et l'irrigation offrent des avantages distincts. Mais, les impacts en aval de ces aménagements sont également manifestes. La réduction du débit du fleuve affecte l'une des plus grandes plaines inondables riveraines au monde – le Delta Intérieur du Niger. L'inondation de cette zone dépend entièrement du fleuve, dans la mesure où les précipitations au niveau local sont faibles.

Tel qu'il ressort d'un modèle d'équilibre hydrique, le niveau d'eau dans le Delta Intérieur du Niger, d'août à octobre, baisse de 5 à 10 cm, en moyenne, en raison de l'irrigation de la zone de l'Office du Niger, et de 15 autres cm du fait du réservoir de Sélingué. Une analyse statistique a complété ces estimations en comparant les différentes séries à long terme de mesures hydrologiques. A l'aide des informations relatives aux débits tant du fleuve Niger que du fleuve Bani au cours des mois précédents, l'analyse prévoit avec exactitude le niveau d'eau au milieu du Delta Intérieur du Niger. Elle est parvenue à la conclusion que la gestion de l'eau au niveau du barrage de Fomi réduira de 45 autres cm le niveau de crue maximal.

Les images satellite montrent clairement les zones inondées du Delta Intérieur du Niger. En comparant les images des différents niveaux de crues au fil du temps, il est possible d'établir une corrélation entre l'inondation et le niveau des crues. Cette corrélation statistique permet de faire des estimations concernant les superficies inondables maximales au cours des 50 dernières années. La superficie de la zone inondée varie entre 8 000 et 25 000 km². Selon le climat général, la gestion de Sélingué a entraîné une réduction de la superficie inondée maximale de 300 km² en moyenne. La consommation d'eau de l'Office du Niger et du (futur) barrage de Fomi entraînent une réduction supplémentaire de 600 et 2 000 km², respectivement .

14.3

Ecologie



A première vue, la plaine inondable du Delta Intérieur du Niger semble être un écosystème naturel intact. Le fleuve suit son cours normal et les crues sont à peine entravées par les barrages, les digues et les écluses. De vastes végétations d'herbes flottantes («bourgou»), de riz sauvage et de nénuphars se rencontrent sur les lacs existants dans les zones de dépression du Delta Intérieur central (lacs Debo, Walado-Debo) et dans les environs de ceux-ci. Par ailleurs, la zone abrite des millions d'oiseaux d'eau et d'autres animaux sauvages.

Impact de l'activité humaine

Bien que la plaine inondable du Delta Intérieur du Niger soit l'une des rares plaines où l'eau coule librement dans le Sahel, l'impact de l'activité humaine sur cette zone est encore considérable. Tout d'abord, la pression exercée par les activités de pêche est excessivement élevée. Ensuite, les plaines inondables servent de pâturage à deux millions de bovins et quatre millions d'ovins et de caprins. Ceci a de graves conséquences sur la végétation naturelle et constitue l'une des raisons pour lesquelles les forêts inondées naguère très abondantes sont menacées de disparition. Par ailleurs, les champs de bourgou dans le



lac Débo sont massivement affectés à l'agriculture par les populations locales. De même, le riz est cultivé et récolté chaque année. Les adventices, notamment le riz sauvage, sont enlevés à la main et le chaume de riz est souvent brûlé après la récolte. Enfin, le détournement de l'eau en amont a un impact majeur sur l'écosystème de la plaine inondable, essentiellement en raison de la réduction du niveau des crues. Ces facteurs font du Delta Intérieur un habitat semi-naturel. Néanmoins, il s'agit de l'une des dernières vastes plaines inondable au monde qui recèle des valeurs écologiques sans inégale.

Habitats

La végétation très productive du Delta Intérieur constitue une source de vies au sein de l'écosystème des plaines inondables. Par exemple, les champs de bourgou flottants sont indispensables en tant qu'aire de croissance pour les alevins, leur assurant à la fois la protection et la nourriture. Les champs de bourgou tiennent lieu également d'habitat principal pour un certain nombre d'espèces d'oiseaux d'eau piscivores et, dès que les eaux d'inondation se retirent, ils fournissent de la nourriture pour le bétail qui est omniprésent. Outre sa valeur écologique, l'importance économique du bourgou pour les secteurs de la pêche et de l'agriculture est considérable. Au nombre des autres habitats typiques des plaines inondables figurent les végétations de Cypéracées dans les zones de dépression, le riz sauvage et les forêts inondables qui en voie de disparaître rapidement. Les principaux types de végétation révèlent un découpage zonal clair, en fonction de la profondeur de l'eau. Le bourgou pousse là où la profondeur d'eau dépasse 3 m, tandis que le riz pousse là où la profondeur de l'eau est d'environ 2 m. En utilisant le modèle de crue en combinaison avec

une carte de la végétation (découlant tous deux de la présente étude et tiré des images satellite), nous avons évalué les changements d'habitats selon les 4 scénarios d'interventions hydrologiques. Lorsque le niveau d'eau dans le Delta Intérieur du Niger baisse, les conditions optimales pour le bourgou et le riz changent. On s'attend à ce que le barrage de Fomi réduise la dimension des champs de bourgou flottant (un habitat important) de 62%. Les zones humides nouvellement créées dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger, ne compensent pas la perte d'habitats précieux dans le Delta Intérieur du Niger.

Biodiversité

Le Delta Intérieur du Niger est l'un des sites Ramsar les plus vastes au monde et considéré comme une zone à haute valeur de biodiversité. Il abrite deux des colonies les plus importantes connues à ce jour de Hérons et de Cormorans nicheurs en Afrique. En outre, ce Delta abrite 3 à 4 millions d'oiseaux d'eau migrateurs, à la fois résidents et migrateurs, venant des quatre coins de l'Europe et de l'Asie voisine. Bien que soumise à une forte pression humaine, la faune aquatique, notamment les hippopotames, le lamantin d'Afrique de l'Ouest et le varan existent encore. La zone centrale des lacs du Delta, comprenant les lacs Debo et Walado-Debo, jouent un rôle primordial dans le fonctionnement écologique du Delta. Non seulement cette zone de dépression compte des zones humides et peu profondes lorsque les niveaux d'eau sont faibles et que la quasi-totalité de la zone du Delta est sèche, mais aussi offre également d'excellentes opportunités d'alimentation aux oiseaux d'eau sous forme de champs de bourgou peu profonds et de prairies recelant de la biomasse de faune benthique.

Notre étude révèle que l'état de la faune (c'est-à-dire la qualité et la quantité de la biodiversité) est fortement tributaire des niveaux de crue maximaux et de l'existence de plans d'eau, surtout pendant les périodes de basses eaux. Il semble que le niveau de crue (maximal) dans le Delta Intérieur du Niger détermine le nombre des oiseaux d'eau afrotropicaux. En outre, les niveaux de crue jouent un rôle déterminant en ce qui concerne le taux de mortalité tant des populations d'oiseaux d'eau résidentes africaines que des espèces migratrices paléarctiques. Les conditions d'alimentation, qui sont étroitement liées aux crues, expliquent, pour l'essentiel, cette situation. Mais, l'exploitation humaine constitue un autre facteur important. En particulier, pendant les périodes de faibles crues, les populations des oiseaux d'eau sont vulnérables à la pression humaine. Les conditions hydrologiques et écologiques connexes dans le Delta Intérieur du Niger ont, par conséquent, un effet de régulation sur la taille de la population des espèces d'oiseaux d'eau nicheurs et migrateurs. Ces derniers comprennent une large gamme d'espèces dont la conservation constitue une préoccupation en Europe, notamment le Héron pourpré, l'Ibis falcinelle, la Sarcelle d'été, la Barge à queue noire, la Glaréole à collier, la Bécassine double et la Sterne caspienne. Ces espèces migratrices permettent d'illustrer les corrélations qui existent entre différents écosystèmes séparés par des milliers de kilomètres.

Compte tenu de la corrélation qui existe entre les niveaux de crue et la valeur écologique, les interventions hydrologiques en amont ont inévitablement une incidence sur la valeur écologique du Delta Intérieur du Niger. L'évaluation écologique montre que la qualité écologique des rizières irriguées, en termes de diversité biologique et d'abondance des espèces, ne représente que 6% de celle d'une superficie similaire de champs de bourgou dans le Delta Intérieur du Niger. Le barrage de Fomi contribuera à réduire la valeur écologique du Delta Intérieur d'au moins 36%. Mais, en raison des effets en cascade, l'impact sur la survie des oiseaux d'eau et des autres animaux sauvages est beaucoup plus important lorsque les crues sont faibles. Ceci signifie que, si le barrage de Fomi était construit, les dernières colonies nicheuses importantes de Cormorans, d'Ibis, de Hérons et d'Aigrettes en Afrique de l'Ouest seraient menacées de disparition. Le barrage de Fomi pourrait également réduire considérablement les populations de plusieurs espèces d'oiseaux, tant nicheurs que migrateurs dont la conservation constitue une préoccupation en Europe.

14.4

Secteurs économiques

Les interventions hydrologiques en amont affectent considérablement un certain nombre d'activités économiques. En évaluant la faisabilité économique des investissements dans la région du Haut Niger, ces coûts et avantages directs sont rarement pris en considération.

Pêche

Les vieux pêcheurs dans le Delta Intérieur se souviennent encore de l'époque où ils capturaient des capitaines « Perches du Nil » d'une taille de 1,5 m et plus. Tous les pêcheurs du Delta Intérieur du Niger savent que la taille des poissons a diminué considérablement au cours des 30 à 40 dernières années. Au fil du temps, la pression de la pêche s'y est accrue du fait de l'intensification de la pêche à la nasse, à la ligne et au filet. A l'heure actuelle, 300 000 personnes dans la zone vivent de la pêche. Lorsque les plaines inondables s'assèchent pendant les décrues, la capture devient aisée, car les poissons sont pris au piège dans des lacs (provisoires) et concentrés dans des ruisseaux et dans le lit de fleuve. De nos jours, la quasi-totalité des poissons sont capturés bien avant l'arrivée des prochaines crues. Par conséquent, la prise de l'année suivante dépend du nombre d'alevins nés au cours de la période de crue précédente. Les capitaines « Perches du Nil » du Delta Intérieur du Niger n'atteignent plus la taille de 1,5 mètre.

Les niveaux de crue dans le Delta influent également sur la production halieutique. La corrélation étroite entre la quantité annuelle de poisson commercialisé à Mopti et les niveaux de crue au niveau de l'année précédente permet d'évaluer l'impact moyen de l'Office du Niger et de Sélingué sur le commerce de poissons de la région. Le commerce de poisson dans le Delta Intérieur du Niger serait 6% plus élevé en l'absence du périmètre irrigué de l'Office du Niger et de 13 autres points de pourcentage plus élevés sans le réservoir de Sélingué. L'analyse indique que le commerce actuel de poisson serait réduit de 37% si le barrage de Fomi était construit. Ces pertes sont en partie compensées par les gains

en termes de poissons du lac de Sélingué, où environ 4 000 t de poisson sont capturées chaque année.

Bétail

Chaque année, les bergers du Sahel décident au début de la saison des pluies jusqu' où ils iront au Nord. Après la courte saison des pluies, l'herbe se dessèche et les bergers se déplacent de nouveau vers le Sud, où ils laissent paître leurs animaux dans les champs, s'alimentant de chaume de riz, de mil ou de sorgho, ou dans la savane. Le bétail des environs du Delta Intérieur du Niger a de meilleures opportunités d'alimentation dans les plaines inondables asséchées. C'est la raison pour laquelle 60% des 5 millions de bovins du Mali sont concentrés dans les régions situées aux alentours de Mopti et de Tombouctou où se trouvent les plaines inondables du Delta Intérieur du Niger.

Pendant la Grande Sécheresse, de nombreux bovins sont morts et les bergers ont perdu plus de la moitié de leurs troupeaux. Ceci était dû à la réduction de la quantité d'aliments causée par le manque de pluies et la réduction de la zone inondée du Delta Intérieur du Niger de deux tiers. La situation s'est détériorée davantage du fait du surpâturage. A ce jour, le cheptel n'a pas encore atteint sa taille d'avant la Grande Sécheresse. Selon nos calculs, le nombre de bovins, d'ovins et de caprins dans les régions de Mopti et de Tombouctou serait en moyenne de 4 à 5% plus élevé par an, en l'absence du périmètre irrigué de l'Office du Niger et du réservoir de Sélingué. L'effectif maximum du cheptel pourrait être réduit de 10 à 15% si le barrage de Fomi était construit.

Riz

Tout comme dans les autres pays du Sahel, au Mali, les précipitations annuelles ont une incidence majeure sur l'économie rurale, en particulier dans la partie plus sèche du pays. La production de mil, de sorgho et de riz baisse considérablement lorsqu'elles tombent en dessous de 400 mm. Bien que les riziculteurs du Delta Intérieur du Niger dépendent également de la pluie au cours des semaines qui précèdent l'inondation de leurs rizières, la production est tributaire, pour l'essentiel, de la durée de la crue. Les plants de riz croissent au fur et à mesure que le niveau de la lame d'eau augmente et il est nécessaire que les rizières restent recouvertes d'eau pendant 3 mois. Le riz est cultivé essentiellement dans les zones inondées où le niveau de l'eau atteint un ou

deux mètres. Pendant la Grande Sécheresse, le niveau des crues avait baissé de 220 cm. Face à cette situation, les agriculteurs ont cultivé le riz à des niveaux plus bas dans la zone inondée. Cependant, d'une manière générale, le niveau auquel ils ont déplacé leurs champs plus bas dans la plaine inondable ne représentait que 80 des 220 cm de baisse du niveau de crue. Les agriculteurs du Delta n'ont pu déplacer leurs cultures plus bas du fait de l'insuffisance de l'espace disponible aux niveaux inférieurs. L'incapacité des agriculteurs à réagir face au faible niveau de crue explique, pour l'essentiel, la baisse de la production de riz au cours des années de sécheresse.

Dans le Delta Intérieur du Niger, la production de riz varie d'une année à une autre, en fonction des niveaux de crue et, dans une moindre mesure, des précipitations. On estime la production à 83 000 t, en moyenne. Lorsque les crues sont faibles, elle tombe à 10 000 t et lorsque celles-ci sont élevées, elle peut atteindre 120 000 t. Compte tenu de la forte corrélation qui existe entre la production de riz et le niveau de la crue de pointe, on estime que les agriculteurs accusent, en moyenne, un déficit de production de 8900 t (10,4%), du fait de l'existence du barrage de Sélingué. En l'absence du périmètre irrigué de l'Office du Niger, la production de riz du Delta Intérieur du Niger augmenterait de 4300 t (4,9%) par rapport à son niveau actuel. L'impact du barrage de Fomi serait encore plus important: la production baisserait de 40%, soit 34 500 t.

Ces pertes sont largement compensées par l'irrigation à Sélingué (permettant de produire 6000 à 7500 t de riz) et dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger (320 000 t). En particulier, le périmètre irrigué de l'Office du Niger joue un rôle primordial en matière de production de riz. A ce jour, la production nationale de riz du Mali satisfait 90% de la demande nationale, la production de l'Office du Niger représentant 40% de cette production totale. Par conséquent, c'est à juste titre que cette région est appelée grenier à riz du Mali. Au fil des ans, le périmètre irrigué de l'Office du Niger a constitué une source de nourriture sûre, indépendamment du niveau des précipitations et du régime de crues. Même au cours des périodes de sécheresse, au début des années 70 et au milieu des années 80, la production alimentaire n'a enregistré aucune baisse notable.

Transport

Le fleuve Niger joue un rôle essentiel en ce qui concerne le transport de biens et de personnes. En particulier,

en saison des pluies, les bateaux constituent le moyen de transport le plus populaire dans le Delta. Non seulement le fleuve permet de transporter les personnes et les biens jusqu'aux endroits les plus reculés, mais le transport par bateau est relativement plus abordable que le transport routier. Les barrages et systèmes d'irrigation ont un impact sur le potentiel de navigation du fleuve Niger, dans la mesure où ils réduisent les niveaux d'eau en saison des pluies tout en assurant un débit supplémentaire en saison sèche. La réduction de la période de navigation en eau profonde affecte, en particulier, les bateaux plus grands dont la capacité maximum sont d'environ 400 passagers et 350 t de fret. En saison sèche, une profondeur supplémentaire de l'eau du fleuve est par-



ticulièrement utile pour les bateaux plus petits, d'une capacité d'environ 10 à 20 passagers et de 1 à 5 t de fret. Les grands bateaux ont besoin d'au moins 3 à 4 m d'eau pour naviguer, tandis que les bateaux de plus petite taille peuvent naviguer même à une profondeur d'eau de 1 m. La comparaison du scénario 0 (aucun barrage) et du scénario 3 (trois barrages) montre que ce dernier scénario prolongerait de 82 jours la période de navigation des petits bateaux, tandis qu'il réduirait de 20 jours la saison d'exploitation des grands bateaux.



14.5

Economie

Afin d'évaluer les coûts et avantages inhérents aux barrages sur le fleuve Niger, nous n'avons pas adopté une approche novatrice. L'analyse coûts-avantages (ACA) est un outil économique indispensable pour les grands projets d'infrastructure. Les barrages n'échappent pas à cette règle. Par le passé, l'ACA était exécutée à l'aide d'une série limitée de paramètres. Dans la plupart des cas, les coûts se limitaient au capital d'investissement direct et aux coûts de construction et d'exploitation. De même, seuls les avantages directs (mesurables), notamment la production d'énergie, les avantages liés à l'irrigation et au tourisme étaient pris en considération. De nos jours, les impacts sociaux et environnementaux sont de plus en plus pris en compte dans la planification des barrages, grâce à l'application d'une ACA élargie. Cette analyse requiert l'évaluation économique des coûts et avantages indirects.

Approche du Cheminement de l'Impact

Afin de déterminer les coûts et avantages indirects, il y a lieu d'étudier les processus sous-jacents. Dans la présente étude, nous avons commencé par évaluer les changements potentiels liés à l'hydrologie, ensuite nous avons étudié les impacts écologiques ultérieurs et enfin les impacts sociaux et économiques. Cette approche qu'il est convenu d'appeler «l'Approche du Cheminement de l'Impact» est une méthodologie qui progresse de façon séquentielle à travers le cheminement, établissant un lien entre les causes et les effets, puis évaluant ces effets. Le cadre du cheminement de l'impact présente les processus physiques et socioéconomiques qui découlent de la variation de la gestion des barrages et des projets d'irrigation sur le fleuve Niger.

Une fois la fourchette et l'importance des impacts établis et chiffrés, les changements sont ensuite évalués en termes monétaires. Les principaux cheminements de l'impact pris en compte concernent l'agriculture, la pêche, l'élevage, la biodiversité, l'approvisionnement en énergie et le transport. Différentes techniques d'évaluation sont utilisées pour le calcul de ces avantages.

La technique d'évaluation la plus couramment utilisée dans la présente étude est l'approche de la fonction production qui évalue les niveaux de production en fonction du niveau d'eau ou de la zone d'inondation du Delta Intérieur du Niger. Les fonctions de production statistiques ont été évaluées pour la plupart des secteurs économiques pris en considération. Celles-ci ont été incorporées dans le modèle de simulation intégré des quatre scénarios. Le principal indicateur du modèle est l'avantage net de chaque scénario qui exprime le niveau de bien-être général moins les coûts financiers des barrages et des systèmes d'irrigation. En définitive, une analyse de sensibilité a été effectuée afin de tester la solidité du résultat final, par rapport à un certain nombre de paramètres essentiels, notamment le changement climatique.

Une autre dimension non négligeable de l'Approche du Cheminement de l'Impact a trait à la distribution du bien-être dans les différents scénarios. Outre le fait qu'elle a un impact sur le niveau absolu de bien-être au Mali et en Guinée, la création de barrages dans la région du Haut Niger pourrait assurer un transfert des avantages économiques d'une région à une autre. Par conséquent, le modèle a été conçu au niveau des districts de manière à établir une distinction entre les avantages dans le Delta Intérieur du Niger (élevage, agriculture, pêche, biodiversité et transport) et ceux qui sont générés dans la région en amont (électricité et cultures irriguées).

Coûts financiers

L'analyse coûts-avantages des trois ouvrages construits dans le Haut Niger est quelque peu inhabituelle, dans la mesure où elle compare, d'une part, le périmètre irrigué de l'Office du Niger et le barrage de Sélingué, qui ont été créés il y a longtemps et, d'autre part, le barrage de Fomi qui n'a pas encore été construit. Afin d'établir une comparaison équitable, nous avons retenu une période future (2005-2030) au cours de laquelle nous supposons que tous les barrages peuvent être opérationnels, puis nous avons calculé les avantages. Cependant, le volet «coûts» de l'analyse est encore plus complexe, car, à la différence de l'investissement dans le barrage de Fomi, les investissements initiaux dans l'Office du Niger et dans le barrage de Sélingué ont déjà été effectués. Ces «coûts irrécupérables» ne sauraient, par conséquent, être évités par des décisions futures.

L'existence de coûts irrécupérables ne signifie nullement que l'Office du Niger et le barrage de Sélingué ne

comportent pas de coûts. Bien que les investissements initiaux aient été effectués parfois depuis des décennies, les barrages requièrent encore des dépenses au titre de leurs entretien et exploitation. En outre, les barrages ont nécessité des capitaux qui auraient pu être consacrés à d'autres activités économiques au Mali (en l'occurrence, les coûts d'opportunité) et doivent être appréciés en conséquence. Aussi, avons-nous retenu un coût d'opportunité du capital équivalent à 8% du coût d'investissement réel. Au début, les coûts d'exploitation et d'entretien (E&E) du barrage et du système d'irrigation sont estimés à 2% de la valeur du stock de capital (Aylward et al. 2001). Compte tenu des pannes de plus en plus fréquentes et de la détérioration avancée des infrastructures, cette composante enregistre une hausse de 1,25% l'an. Il va sans dire que le périmètre irrigué de l'Office du Niger et le barrage de Fomi est nettement plus onéreux que le barrage de Sélingué. Cette différence s'explique, pour l'essentiel, par l'expansion continue des deux périmètres irrigués. L'Office du Niger est censé développer son périmètre irrigué au rythme de 1 500 ha par an.

Avantages économiques

Si l'on ne prend en compte que les avantages, il va sans dire que la construction d'un plus grand nombre de barrages se traduiraient par des avantages totaux plus substantiels. Chaque année, les avantages du scénario 3 (c'est-à-dire la situation actuelle, y compris le barrage de Fomi) dépassent ceux du scénario 2 (c'est-à-dire la situation actuelle avec Sélingué et l'Office du Niger) qui, à son tour, dépasse les avantages du scénario 1 (1 barrage). En d'autres termes, une intervention à grande échelle peut générer des avantages plus importants pour l'ensemble de la société. Cependant, des avantages plus substantiels n'impliquent pas nécessairement des niveaux de bien-être nets plus élevés. Il convient de prendre en compte également le coût de chaque scénario.

Ces avantages se définissent comme les avantages totaux moins les coûts totaux. Le classement des scénarios sur la base des avantages nets évolue au fil du temps. En raison des investissements initiaux élevés qui requiert le barrage de Fomi, le scénario 3 génère des avantages nets moindres au cours des premières années. Mais, ceux-ci augmentent au fur et à mesure que le barrage de Fomi devient pleinement opérationnel. Les avantages nets du scénario 2 sont supérieurs à ceux du scénario 3 pendant toute la période. Compte tenu des fluctuations



des avantages nets, on peut conclure également que les barrages sont légèrement plus avantageux au cours des années de précipitations abondantes. En d'autres termes, le Delta Intérieur du Niger pâtit, en particulier, du détournement de l'eau du fleuve Niger au cours des années de pénurie d'eau.

Valeur actualisée nette

L'étape suivante de l'analyse des avantages et des coûts des quatre scénarios consiste à faire la somme des différents avantages, pris individuellement, au fil du temps afin de procéder à une mesure unique du bien-être. Cette opération nécessite des hypothèses concernant la période considérée et le taux d'actualisation appliqué aux avantages nets. Les économistes font la somme des valeurs dans le temps en les convertissant en valeur actualisée nette (VAN) selon le principe de l'actualisation. L'actualisation est une pratique qui consiste à retenir des valeurs inférieures pour les avantages et coûts futurs par rapport aux avantages et coûts de l'heure, prenant en compte ainsi la préférence des populations pour le présent par rapport à l'avenir. Le taux d'actualisation retenu pour la présente étude est de 5%.

Les VANs représentent la valeur économique totale de chaque scénario. Le scénario 2 (c'est-à-dire «avec l'Office du Niger et le barrage de Sélingué») génère les avantages nets les plus substantiels, tandis que le scénario 3 (c'est-à-dire «avec l'Office du Niger, Sélingué et le barrage de Fomi») génère la VAN la plus faible. Ceci revient à dire que la construction du barrage de Fomi aurait une

incidence négative sur l'économie en général.

Afin d'analyser l'impact économique précis des trois combinaisons de barrages, prises individuellement, il convient de prendre en compte la différence entre les scénarios avec barrages et le scénario 0 de référence. Ces avantages nets marginaux des trois scénarios avec barrages s'obtiennent en soustrayant les avantages nets totaux du scénario 0 de ceux des scénarios 1, 2 et 3. Compte tenu de la différence entre les scénarios 2 et 3, il est possible de déterminer les avantages nets supplémentaires du barrage de Fomi par rapport à la situation actuelle (Office du Niger et Sélingué). Du fait de la construction du barrage de Fomi, la société, dans son ensemble, perdrait 35 millions € par an (c'est-à-dire 8,5 € + 26,4 millions €). Le barrage de Sélingué génère des avantages nets annuels supplémentaires de près de 5 millions €. Parmi les trois projets, le périmètre irrigué de l'Office du Niger est le plus réalisable sur le plan économique, dans la mesure où il générerait des avantages nets totaux de près de 22 millions € par an (c'est-à-dire 26,4 € à 4,8 millions €).

Pauvreté et équité

Outre l'amélioration du niveau de bien-être global, les barrages et systèmes d'irrigation entraînent des changements aux niveaux tant sectoriel que régional au sein de la société. A titre d'exemple, l'amélioration du bien-être est induite par les changements dans les différents secteurs de l'économie. Les valeurs négatives représentent les coûts financiers cumulés au titre de chaque scénario. Il va sans dire que les coûts augmentent de façon disproportionnée avec l'adjonction du barrage de Fomi. Bien que ces coûts supplémentaires soient compensés, en partie, par l'électricité et les avantages agricoles supplémentaires, les pertes dans les domaines de la pêche, de l'élevage et de la biodiversité sont également considérables. L'impact de l'Office du Niger et du barrage de Sélingué est beaucoup moins marqué. Une société sans barrages (scénario 0) génère essentiellement des recettes par le truchement de la pêche et de l'élevage, comme c'était le cas 50 ans plus tôt. Aucune électricité n'est produite et la production agricole demeure plutôt limitée.

Une dimension importante de l'étude concerne la distribution dans l'espace des avantages au titre des différents scénarios. Outre les changements en ce qui concerne le niveau absolu de bien-être, il est probable que les barrages assurent le transfert d'avantages d'une région à une autre. La région du Haut Niger comprend

tous les cercles du Mali et de la Guinée où les barrages créent des activités économiques, notamment l'agriculture irriguée et la production d'hydroélectricité. Au Mali, il s'agit des cercles de Ségou, Macina, Niono et Yanfolila. Suite à la construction de chaque barrage supplémentaire, les avantages sont transférés du Delta Intérieur du Niger à la région en amont. Ce transfert est particulièrement important dans le scénario 3.

Les barrages situés le long du fleuve Niger ont un impact mitigé sur la pauvreté. La population du Delta Intérieur du Niger accuse une baisse du revenu par habitant, à mesure que le nombre de barrages croît. Toutefois, il existe une corrélation positive entre les avantages économiques par habitant que tirent les populations du Haut Niger et le nombre de barrages et de systèmes d'irrigation. Les avantages annuels moyens par personne découlant du fleuve augmentent avec chaque barrage supplémentaire, passant de 44 € (sans barrages) à 48 € (Sélingué) et 68 € (Sélingué et Office du Niger). Le barrage de Fomi devrait réduire l'avantage annuel lié au fleuve pour les populations maliennes concernées, celui-ci passant de 68 € à 52 € par habitant.

Sensibilité du climat

En raison de la complexité de l'hydrologie du bassin du Haut Niger et de la faible disponibilité des données, un certain nombre d'hypothèses ont été formulées afin d'assurer une analyse intégrée des barrages et systèmes d'irrigation dans la région du Haut Niger. Il est peu probable que ces hypothèses donnent lieu à controverse, tant que les résultats sont solides, au regard de l'évolution des valeurs des paramètres supposées. La deuxième hypothèse majeure de l'étude a trait aux conditions climatiques dans la région du Haut Niger. Sur la base des 75 dernières années, l'on a estimé que les précipitations diminuent de 3,5 mm chaque année. En raison de la tendance générale au réchauffement du climat mondial, il est fort probable que ce rythme s'accélère au cours des prochaines décennies. Afin de tester l'impact d'un changement climatique accéléré, la réduction des précipitations est majorée par la suite de 25%, 50%, 100%, puis 150% pour les différents scénarios. Le Delta Intérieur du Niger et la région en amont souffrent de conditions de sécheresse plus marquées, quoiqu'à des degrés divers. Pour l'ensemble des trois scénarios, le Delta Intérieur du Niger est beaucoup plus vulnérable que le Haut Niger à la sécheresse. Sa vulnérabilité serait aggravée par la construction du barrage de Fomi.

14.6 Conclusions et recommandations

La présente évaluation intégrée visait à déterminer le rôle des barrages et systèmes d'irrigation dans l'économie générale et l'écologie du Delta Intérieur du Niger et de la région en amont du Niger. En combinant les informations concernant l'hydrologie, l'écologie, la pêche et l'agriculture, plusieurs leçons importantes peuvent être tirées.

- Près d'un million de personnes dans le Delta Intérieur du Niger vivent de la pêche, de l'élevage ou de l'agriculture. Ils dépendent entièrement des ressources naturelles disponibles dans une zone de 50 000 km². La production annuelle de poisson, de bétail et de riz est déterminée par le débit du fleuve et ne suffit pas à nourrir la population locale au cours des années de sécheresse. C'est la raison pour laquelle de nombreuses personnes ont abandonné les parties plus sèches du Delta Intérieur du Niger au cours des 40 dernières années. L'on est en droit de s'attendre à d'autres migrations si davantage d'eau était détournée dans la région du Haut Niger.
- La valeur économique des barrages sur le fleuve Niger dépend essentiellement de la quantité d'eau détournée du fleuve. Le barrage de Sélingué et l'Office du Niger semblent économiquement viables. Pris ensemble, ils génèrent 26,4 millions € d'avantages par an pour la société dans son ensemble. L'adjonction du barrage de Fomi réduirait la prospérité économique de 35 millions € par an.
- La faisabilité de l'Office du Niger repose sur un certain nombre d'hypothèses majeures. Au cours des années sèches, la faisabilité économique de l'Office du Niger dépend des lâchers d'eau par le barrage de Sélingué. Par ailleurs, l'accroissement de la productivité de la région de l'Office du Niger, qui passe de 2-3 t de riz à l'hectare à 4-6 t à l'hectare à l'heure actuelle, constitue une condition sine qua non de sa viabilité économique. Un renforcement de l'efficacité de l'irrigation est non seulement possible, mais également primordiale pour l'extension de la superficie

irriguée de l'Office du Niger.

- Plusieurs secteurs jouissent des avantages qui varient considérablement en fonction de la quantité d'eau détournée à partir du fleuve Niger. Les coûts financiers additionnels du barrage de Fomi ne sont compensés qu'en partie par l'électricité et les avantages agricoles supplémentaires. En outre, les pertes indirectes dans les domaines de la pêche, de l'élevage et de la biodiversité en aval dépassent ces avantages directs. Ces conséquences négatives en aval sont moins marquées dans le cas du scénario avec le périmètre irrigué de l'Office du Niger et le barrage de Sélingué.
- Outre les changements du niveau absolu de bien-être, il est probable que les barrages entraînent des transferts d'avantages d'une région à une autre. Il ressort clairement des résultats que, suite à la construction de chaque barrage supplémentaire, des avantages sont transférés du Delta Intérieur du Niger à la région du Haut Niger, en amont.

Tout compte fait, la présente étude administre la preuve que l'amélioration de la performance de l'infrastructure existante, ainsi que des activités économiques dans le Delta Intérieur du Niger proprement dit constitue un moyen beaucoup plus efficace de donner un coup de fouet à la croissance économique, de réduire la pauvreté et de protéger l'environnement dans la région, que la construction d'un nouveau barrage et d'une nouvelle centrale hydroélectrique.





REFERENCES

- Acharya, G. 2000. Approaches to valuing the hidden hydrological services of wetland ecosystems. *Ecological Economics* 35: 63–74.
- Acharya, G. & E.B. Barbier 2000. Valuing groundwater recharge through agricultural production in the Hadejia-Nguru wetlands in northern Nigeria. *Agricultural Economics* 22: 247–259.
- Agence Canadienne pour le Développement international 1999. Etudes de réactualisation du dossier de faisabilité du barrage de Fomi: Rapport de faisabilité. - Montréal: SNC-Lavalin International, mars 1999. - p.m., tab., fig., cartes.
- Altenburg, W., A.J. Beintema & J. van der Kamp 1986. Observations ornithologiques dans le Delta Intérieur du Niger au Mali pendant les mois de mars et août 1985 et janvier 1986. RIN Contributions to Research on management of natural resources 1986-2. Fondation Néerlandaise pour la Protection Internationale des Oiseaux, Zeist/ Research Institute for Nature Management, Leersum.
- AMD, African Mammals Databank 1999. A databank for the conservation and management of the African mammals. European Commission/Institute for Applied Ecology. Rome.
- Anonymous 2004. In Chad, a project to promote sustainable fishing yields extra dividends. *One Country* (January-March 2004): 8-12.
- Arfi, R. 2002a. Contrôle environnemental de la productivité planctonique du Delta Intérieur du Niger. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*, pp. 280-301. IRD, Paris.
- Arfi, R. 2002b. Processus d'édification des ressources naturelles en zones inondables tropicales. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*, pp. 169-178. IRD, Paris.
- Asian Development Bank 1995. Sector Synthesis of Postevaluation Findings in the Irrigation and Rural Development Sector. Manila.
- Aylward, B., Berkhoff, J., Green, C., Gutman, P., Lagman, A., Manion, M., Markandya, A., McKenney, B., Naudascher-Jankowski, K., Oud, B., Penman, A., Porter, S., Rajapakse, C., Southgate, D. & Unsworth, R. 2000. Financial, Economic and Distributional Analysis, Thematic Review III.1 prepared as an input to the World Commission on Dams, Cape Town. www.dams.org
- Bacalbasa-Dobovrici, N. 1971. The economic importance of the Burgu (*Echinochloa stagnina* P. Beauv.) on the Middle Niger in the Niger Republic. *Hydrobiologica* 12: 41-66.
- Barbier, E.B. 2000. Valuing the environment as input: applications to mangrove-fishery linkages. *Ecological Economics* 35: 47–61.
- Barbier, E.B. & I. Strand 1998. Valuing mangrove-fishery linkages: a case study of Campeche, Mexico. *Environmental and Resource Economics* 12: 151–166.
- Beintema, A.J., B. Kone, M. Diallo & B. Fofana 2002. Restauration à base communautaire des forêts inondées. En: E. Wymenga, B. Kone, J. van der Kamp & L. Zwartz (éds.). *Delta Intérieur du Niger. Ecologie et gestion durable des ressources naturelles*. Mali-PIN publication 2002-01, pp. 189-198. Wetlands International, Sévère / RIZA Rijkswaterstaat, Lelystad, Alterra, Wageningen / A&W conseillers écologiques, Veenwouden.
- Bélières, J.-F. & M. Kuper 2002. L'extension des périmètres. Un problème d'eau et de disponibilité financières. En: P. Bonneval, M. Kuper & J.-P. Tonneau (éds.). *L'Office du Niger, grenier au riz du Mali*, pp. 227-228. Karthala, Paris.
- Bénech, V. & D.F. Dansoko. 1994. Reproduction des espèces d'intérêt halieutique. En: J. Quensièrre (éd.). *La Pêche dans le Delta Central du Niger*, pp. 213-227. Karthala, Paris.
- Bénech, V., M. Penaz & P. Le Hong Chuong. 1994. Migrations latérales des poissons: l'exemple de la mare de Batamari (août-décembre 1991). En: J. Quensièrre (éd.). *La Pêche dans le Delta Central du Niger*, pp. 237-253. Kathala, Paris
- Beukering, P.J.H. van & E. Sultanian 2005. How important are birds to us? Results of a survey on the perception of the environment by the Dutch. Working Paper. Institute for Environmental Studies. Amsterdam
- Birdlife International 2000. *Threatened birds of the World*. Lynx Editions, Barcelona & Birdlife International, Cambridge.
- Bonneval, P., M. Kuper, J-P Tonneau 2002. *L'Office du Niger, grenier à riz du Mali: Succès économiques, transitions culturelles et politiques de développement; Le fil de l'eau et la part des homes*. La Librairie de Cirad. Montpellier Cedex.
- Borrow, N & R. Demy 2001. *Birds of Western Africa*. Helm Identification Guides. Cristopher Helm, London.
- Brander, L.M., R.J.G.M. Florax & J.E. Vermaat 2004. The Empirics of Wetland Valuation: A Comprehensive Summary and a Meta-Analysis of the Literature. *Environmental and Resource Economics*. In press.
- Brondeau, F. 2002. *Hommes et paysages. Un îlot de pros-*

- périté dans une région sahélienne. En: P. Bonneval, M. Kuper & J.-P. Tonneau (éds.). L'Office du Niger, grenier au riz du Mali, pp. 82-86. Karthala, Paris.
- Bystorm, O., H. Anderson & I.M. Gren 2000. Economic criteria for using wetlands as hydrogen sinks under uncertainty. *Ecological Economics* 35: 35-45.
- Carmouze, J.P., J.R. Durand & C. Lévêque 1983. Lake Chad. Ecology and productivity of a shallow tropical ecosystem. Junk, The Hague.
- Cavé, A.J. 1983. Purple Heron survival and drought in tropical West-Africa. *Ardea* 71: 217-224.
- Chohin-Kuper, A., H. David-Benz & D. Mariko 2002a. La rémunération des riziculteurs. Une amélioration de la compétitivité du riz local au profit des producteurs. En: P. Bonneval, M. Kuper & J.-P. Tonneau (éds.). L'Office du Niger, grenier au riz du Mali, pp. 127-132. Karthala, Paris.
- Chohin-Kuper, A., V. Kelly, R. Ducrot & Y. Coulibaly 2002b. La diversification des cultures. Le maraîchage comme complément de la riziculture. En: P. Bonneval, M. Kuper & J.-P. Tonneau (éds.). L'Office du Niger, grenier au riz du Mali, pp. 204-206. Karthala, Paris.
- Cissé, S. & P. A. Gosseye 1990. Compétition pour des ressources limitées: le cas de la cinquième région du Mali. CABO, Wageningen.
- CPS-MDR 2001. Recueil des statistiques du secteur rural. Ministère du Développement Rural, Bamako.
- Crul, R.C.M. & F.C. Roest 1995. Current status of fisheries and fish stocks of the four largest African reservoirs: Kainji, Kariba, Nasser/Nubia and Volta. CIFA Technical Paper No. 30. FAO, Rome.
- Curry-Lindahl, K. 1981. Bird migration in Africa. 2 vols. Academic Press, London.
- Daget, J. 1952. Mémoires sur la biologie des poissons du Niger moyen. 2. Recherches sur *Tilapia zillii* (Gerv.). *Bull. IFAN* 18: 165-223.
- Daget, J. 1954. Les poisons du Niger supérieur. *Mém. Inst. Fr. Afr. noire* 36.
- Daget, J. 1957. Données récentes sur la biologie des poissons dans le delta central du Niger. *Hydrobiologica* 9: 321-347.
- Delany, S. & D. Scott (éds.) 2002. Waterbird Population Estimates, Third Edition. Wetlands International Global Series no. 12. Wetlands International, Wageningen.
- Dansoko, D, H. Breman & J. daget 1976. Influence de la sécheresse sur les populations d'*Hydrocynus* dans le Delta central du Niger. *Cah. ORSTOM série Hydrobiol.* 10: 71-76
- Diallo, M., B. Fofana & J. van der Kamp 2002. Suivi de populations d'oiseaux d'eau dans le Delta Intérieur du fleuve Niger. Aperçu des données de base 1998 - 2002. Mali-PIN publication 02-02. Wetlands International, Sévaré, Mali / Altenburg & Wymenga, conseillers écologiques, Veenwouden.
- Diarra, A.M. & M. Diallo Liste des infrastructures réalisés sur le fleuve Niger. Mali-PIN publication 03-03. Wetlands International, Sévaré, Mali / Altenburg & Wymenga, conseillers écologiques, Veenwouden.
- Deshmukh, I. 1986. Ecology and tropical biology. Blackwell Scientific Publications.
- Dietz, T., E. Ostrom & P.C. Stern 2003. The Struggle to Govern the Commons, *Science* 302: 1907-1912.
- Drijver, C.A. & J. van Wetten 1994. Les zones humides sahéliennes à l'Horizon 2020. Rapport Centre d'études de l'environnement, University of Leiden.
- Drijver, C.A. & M. Marchand 1985. Taming the floods. Environmental aspects of floodplain development in Africa. Centre d'études de l'environnement, University of Leiden.
- Dumont, H. 1986. Zooplankton of the Niger system. En: B. R. Davies and K. F. Walker (éd.). The ecology of river systems, pp 49-59. Dr W. Junk Publishers, Dordrecht.
- Durand, J.R. 1978. Biologie et dynamique des populations d'*Alestes baremoze* (Pisces, Characidae) du bassin tchadien. *Trav. Doc. ORSTOM* 98: 1-332
- Eerden, M. van 1997. Patchwork. Patch use, habitat exploitation and carrying capacity for waterbirds in Dutch fresh water wetlands. *Van Zee tot Land* 65. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied, Lelystad.
- Ellis, G. & A. Fisher 1987. Valuing the environment as an input. *Journal of Environmental Management* 25: 149-156.
- Fisher, A.C., J.V. Krutilla & C.J. Cicchetti 1972. The economics of environmental preservation. *American Economic Review* 62: 605-619.
- Fishpool, L.D.C. & M.I. Evans (éds.) 2001. Important Bird Areas in Africa and associated islands: priority sites for conservations. *Birdlife Conservation series no. 11*. Pisces Publications and Birdlife International. Newbury and Cambridge.
- Foppen, R.P.B., ter Braak, C.J.F., Verboom, J., Reijnen, R., 1999. Dutch Sedge Warblers *Acrocephalus schoenobaenus* and West-African rainfall: empirical data and simulation modelling show low population resilience in fragmented marshlands. *Ardea* 87, 113-127.
- François, J., A. Rivas & R. Compère 1989. Le pâturage semi-aquatique à *Echinochloa stagnina* (RETZ.) P. BEAUV. Etude approfondie de la plante «bourgou» et des bourgoutières situées en zone lacustre du Mali. *Bull. Rech. Agron. Gembloux* 24: 145-189.
- Freeman, A.M. 1993. The Measurement of Environmental and Resource Values: Theory and Methods, *Resources for the Future*: 516. Washington.
- Gallais, J. 1964. Hommes du Sahel. Flammarion, Paris.
- Gallais, J. 1967. Le Delta Intérieur du Niger. Etudes de géographie régionale. *Mém. IFAN* 78. Larose, Paris.
- GEPIS 2001. Vers une gestion durable des plaines d'inondation sahéliennes. Groupe d'experts sur les plaines d'inondation sahéliennes (GEPIS). UICN Bureau régional de L'Afrique de l'Ouest, Ouagadougou.
- Girard, O. & J. Thal 1999. Mise en place d'un réseau de suivi de populations d'oiseaux d'eau en Afrique subsaharienne. Rapport de mission au Mali 8-29 janvier 1999. ONC, France.
- Girard, O. & J. Thal 2000. Mise en place d'un réseau de suivi de populations d'oiseaux d'eau en Afrique subsaharienne. Rapport de mission au Mali 11-31 janvier 2000. ONC, France.
- Girard, O. & J. Thal 2001. Mise en place d'un réseau de suivi de populations d'oiseaux d'eau en Afrique subsaharienne. Rapport de mission au Mali 9-23 janvier 2001. ONCFS, France.
- GoM 2002. Poverty Reduction Strategy Paper. Document prepared and adopted by the Government Of Mali, May 29, 2002. Bamako.
- Guichard, K.M. 1947. Birds of the inundation zone of the River Niger, French Soudan. *Ibis* 80: 450-489.
- Gutman, P. 1993. Involuntary Resettlement in Hydropower Projects, The World Bank, Washington, DC.
- Hafner, H. 2000. Heron Nest Site Conservation. En: J.A. Kushlan & H. Hafner (éds.). *Heron Conservation*, pp. 201-217. Academic Press.
- Hagemeijer, W.J.M. & W.J. Blair (éds.) 1997. The EBCC Atlas of European Breeding birds: their distribution and abundance. T and D. Poyser, London.
- Haidara, H.M. 2003. Projet de plan de congestion participative du lac de Sélingué.
- Hanley N.D & Craig S.H. 1991. Wilderness development and the Krutilla-Fisher model. *Ecological Economics*: 145-164.
- Hanneman, W.M. 1992. Preface: Notes on the history of environmental valuation in the USA. En: S. Navrud (éd.) *Pricing the Environment: The European Experience*, New York: Oxford University Press.
- Hamerlycnk, O. & S. Duval 2003. The Rehabilitation of the Delta of the Senegal River in Mauritania. IUCN, Gland and Cambridge.
- Hamerlycnk, O., O. Messaoud, R. Braund, C.H. Diagana, Y. Diawarra & D. Ngantou 2002. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales*, pp. 475-500. IRD, Paris.
- Happold, D.C.D. 1987. The mammals of Nigeria. Oxford University Press, Oxford.
- Harrison, P. 1987. The greening of Africa. Breaking through in the battle for land and food. International Institute for environment. Earthscan. Paladin Grafton Books, London.
- Hassane, A. & M. Kuper 1999. Impact de la disponibilité en eau du fleuve Niger sur la gestion de l'eau dans le périmètre irrigué de l'Office du Niger au Mali: le cas de l'étiage 1999. 1999. Institut du Sahel, Bamako.
- Hassane, A. 1999. Influence des aménagements hydrauliques et hydro-agricoles du Niger supérieur sur l'inondation du Delta Intérieur du Niger, au Mali. Université de Bamako, Bamako.
- Hassane, A., M. Kuper & D. Orange 2000. Influence des aménagements hydrauliques et hydro-agricoles du Niger supérieur sur l'onde de la crue du Delta Intérieur du Niger au Mali. *Sud Sciences et technologies* 5: 16-31.
- Held, J.J. den 1981. Population changes of the Purple Heron in relation to drought in the wintering area. *Ardea* 69: 185-191.
- Herry, C. 1994. Démographie des pêcheurs. En: J. Quensière (éd.) *La Pêche dans le Delta Central du Niger*, pp. 123-141. Karthala, Paris.
- Hiernaux, P. 1982. La carte des ressources fourragères des parcours du Delta Intérieur du Niger. Notice CIPEA-ODEM, Bamako.
- Hiernaux, P., M.I. Diarra & L. Diarra 1983. Les pâturages naturels. En: R.T. Wilson, P.N. de Leeuw & C. de Haan (éds.). *recherches sur les systèmes des zones arides du Mali; résultats préliminaires*. CIPEA Rapport de recherche 5, pp. 33-46.
- Hiernaux, P. & L. Diarra 1986. Bilans des cinq années de recherches (sept 1979 - sept 1984) sur la production végétale des parcours des plaines d'inondation du fleuve Niger au Mali central. CIPEA. Document de programme AZ 142.
- Hiernaux, P. 1993. The crisis of Sahelian pastoralism: ecological or economic? *ILCA* 1-16.
- Hitchcock, C.L. & C. Gratto-Trevor 1997. Diagnosing a shorebird local population decline with a stage-structured

- population model. *Ecology* 78: 522-534.
- IDA & IMF 2003. Joint Staff Assessment of the Poverty Reduction Strategy Paper of the Republic Of Mali. International Development Association (IDA) and the International Monetary Fund (IMF), February 13, 2003, Washington DC.
- IUCN 1989a. Dossier relatif à la création de 'sites de Ramsar' dans le Delta Intérieur du Niger, Mali. Projet de la Conservation de l'environnement dans le Delta Intérieur du Niger. UICN-Mali, Bamako.
- IUCN 1989b. Conservation de l'Environnement dans le Delta Intérieur du Fleuve Niger. Rapport Final de la Projet de la Conservation de l'environnement dans le Delta Intérieur du Niger. UICN-Mali, Bamako.
- Junk, W.J., P.B. Bayley, & R.E. Sparks 1989. The flood pulse concept in river floodplain systems. En: P. Dodge (éd.). *Proceedings of the International Large River Symposium (LARS)*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, pp. 110-127. Ottawa.
- Kamp, J. van der, L. Zwarts & M. Diallo 2002a. Niveaux de crue, oiseaux d'eau et ressources alimentaires disponibles. En: E. Wymenga, B. Kone, J. van der Kamp & L. Zwarts (éds.). *Delta Intérieur du Niger. Ecologie et gestion durable des ressources naturelles*, pp. 141-161. Mali-PIN publication 2002-01. Wetlands International, Sévère / RIZA Rijkswaterstaat, Lelystad, Alterra, Wageningen / A&W ecological consultants, Veenwouden.
- Kamp, J. van der, M. Diallo & B. Fofana 2002b. Dynamique des populations d'oiseaux d'eau. En: E. Wymenga, B. Kone, J. van der Kamp & L. Zwarts (éds.). *Delta Intérieur du Niger. Ecologie et gestion durable des ressources naturelles*, pp. 87-138. Mali-PIN publication 2002-01. Wetlands International, Sévère / RIZA Rijkswaterstaat, Lelystad, Alterra, Wageningen / A&W conseillers écologiques, Veenwouden.
- Kamp, J. van der, M. Diallo & B. Fofana 2005. Ecological evaluation of man-made habitats (Sélingué réservoir, irrigation zone of the Office du Niger) and floodplain habitats in the Upper Niger Basin, Mali. *Wetlands International, Sévère / A&W conseillers écologiques, Veenwouden*.
- Kamp, J. van der, M. Diallo, B. Fofana & E. Wymenga 2002c. Colonies nicheuses d'oiseaux d'eau. En: E. Wymenga, B. Kone, J. van der Kamp & L. Zwarts (éds.). *Delta Intérieur du Niger. Ecologie et gestion durable des ressources naturelles*, pp. 163-186. Mali-PIN publication 2002-01. Wetlands International, Sévère / RIZA Rijkswaterstaat, Lelystad, Alterra, Wageningen / A&W conseillers écologiques, Veenwouden.
- Kassibo, B. 2002. Priorités nationales et intérêt local; des grands barrages à la décentralisation. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales*, pp. 119-130. IRD, Paris.
- Keddy, P.A. 2000. *Wetland ecology. Principles and conservation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Keïta, N., J.-F. Bélières & B. Sidibé 2002. Extension de la zone aménagée de l'Office du Niger: exploitation rationnelle et durable des ressources naturelles au service d'un enjeu national de développement. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales*, pp. 929-952. IRD, Paris.
- Kingdon, J. *The Kingdon field guide to African Mammals*. Princeton University Press, Princeton and Oxford.
- Kodio, A., P. Morand, K. Diéno & R. Laë. 2002. Dynamique de la pêche du Delta Intérieur du Niger revisitée à la lumière des données récentes. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales*, pp. 431-453. IRD, Paris.
- Kone, B. & B. Fofana 2001. Statut de la Grue couronnée et son exploitation au Mali. *Wetlands International Mali, Sévère*.
- Kone, B., M. Diallo & B. Fofana 2002. Exploitation des oiseaux d'eau. En: E. Wymenga, B. Kone, J. van der Kamp & L. Zwarts (éds.). *Delta Intérieur du Niger. Ecologie et gestion durable des ressources naturelles*, pp. 201-208. Mali-PIN publication 2002-01. Wetlands International, Sévère / RIZA Rijkswaterstaat, Lelystad, Alterra, Wageningen / A&W conseillers écologiques, Veenwouden.
- Kosz, M. 1996. Valuing riverside wetlands: the case of Donace-Anav National Park. *Ecological Economics* 16: 109-127.
- Kuper, M., A. Hassane, D. Orange, A. Chohin-Kuper & M. Sow 2002a. Régulation, utilisation et partage des eaux du fleuve Niger. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales*, pp. 411-430. IRD, Paris.
- Kuper, M., A. Hassane & D. Orange 2002b. La pénurie d'eau de l'étiage de 1999. En: P. Bonneval, M. Kuper & J.-P. Tonneau (éds.). *L'Office du Niger, grenier au riz du Mali*, pp. 79. Karthala, Paris.
- Kuper, M., C. Mullon, Y. Poncet, E. Benga, P. Morand, D. Orange, G. Mahé, R. Arfi & F. Bamba 2002. La modélisation intégrée d'un écosystème inondable. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales*, pp. 773-798. IRD, Paris.
- Kuper, M. & O. Maïga 2002. Commercialisation du riz traditionnel dans le Delta Intérieur du Niger (Mali). En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales*, pp. 639-660. IRD, Paris.
- Laë, R. 1992a. Impact des barrages sur les pêcheries artisanales du delta central du Niger. *Cahiers Agricultures* 2: 14-21.
- Laë, R. 1992b. Influence de l'hydrologie sur l'évolution des pêcheries du delta central du Niger, de 1966 à 1989. *Aquat. Living Resour.* 5: 115-126.
- Laë, R. 1994. Modifications des apports en eau et impact sur les captures de poisson. En: J. Quensièrre (éd.). *La Pêche dans le Delta Central du Niger*, pp. 255-265. Karthala, Paris.
- Laë, R., M. Maïga, J. Raffray & J. Troubat 1994. Évolution de la pêche. En: J. Quensièrre (éd.). *La Pêche dans le Delta Central du Niger*, pp. 143-163. Karthala, Paris.
- Laë, R. & C. Levêque 1999. La pêche. En: C. Levêque & D. Paugy (éds.). *Les poissons des eaux continentales africaines*, pp. 385-424. IRD, Paris.
- Laë, R. & G. Mahé 2002. Crue, inondation et production halieutique. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales*, pp. 865-882. IRD, Paris.
- Laë, R. & J.-Y. Weigel 1995. Diagnostic halieutique et propositions d'aménagement: l'exemple de la retenue de Sélingué (Mali). *FAO-report*.
- Lamarche, B. 1981. Liste commentée des oiseaux du Mali. 1ère partie: Non-passeraux. *Malimbus* 2: 121-158.
- Leeuw de & P.N. & K. Milligan 1983. Ressources animales. En: R.T. Wilson, P.N. de Leeuw & C. de Haan (éds.). *recherches sur les systèmes des zones arides du Mali; résultats préliminaires*. CIPEA Rapport de recherché 5, pp. 33-46.
- Le Masson, A., Y. Sangaré & R. Ducrot. Le rôle de l'élevage dans l'intensification. Le bétail, outil de travail et source de fumure. En: P. Bonneval, M. Kuper & J.-P. Tonneau (éds.). *L'Office du Niger, grenier au riz du Mali*, pp. 125-126. Karthala, Paris.
- Lévêque, C. & D. Paugy 2001. Les poissons des eaux continentales africaines. *Diversité, écologie, utilisation par l'homme*. IRD éditions, Paris.
- Loth, P. (éd.) 2004. *The Return of the Water: Restoring the Waza Logone Floodplain in Cameroon*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Lowe-McConnell, R.H. 1985. The biology of the river systems with particular reference to the fishes. En: A.T. Grove (éd.). *The Niger and its neighbours: Environmental history and hydrobiology, human use and hazards of the major West African rivers*, pp. 101-141. A.A. Balkema. Rotterdam.
- Mahé, G., J. C. Olivry, R. Dessouassi, F. Bamba & E. Servat 2000. Relations eaux de surface - eaux souterraines d'une rivière tropicale au Mali. *C. R. Acad. Sc. Série IIA* 330: 689-692.
- Mahé, G., F. Bamba, D. Orange, L. Fofana, M. Kuper, B. Marieu, A. Soumaguel & N. Cissé 2002. Dynamique hydrologique du Delta Intérieur du Niger (Mali). En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales*, pp. 179-195. IRD, Paris.
- Maïga, O., M. Kuper & B. Gosse-Healy 2002. La riziculture traditionnelle autour de la mare de Débaré dans le Delta Intérieur du Niger au Mali. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales*, pp. 75-100. IRD, Paris.
- Makaske, B. 1998. Anastomosing rivers; forms, processes and sediments. *Université d'Utrecht, Utrecht*.
- Mäler, K.-G. 1992. Production function approach in developing countries. En: J.R. Vincent, E.W. Crawford & J.P. Hoehn (éds.). *Valuing Environmental Benefits in Developing Countries, East Lansing Special Report 29*, Michigan State University.
- Marie, J. 2000. DELMASIG: hommes, milieux, enjeux spatiaux et fonciers dans le Delta Intérieur du Niger (Mali). Paris, Université de Paris X Nanterre; UFR SSA - Département de Géographie.
- Marie, J. 2002. Enjeux spatiaux et fonciers dans le Delta Intérieur du Niger (Mali). En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales*, pp. 557-586. IRD, Paris.
- Mariko, A., G. Mahé, D. Orange, A. Royer, A. Nonguierma, A. Amani & B. Servat 2002. Suivi des zones d'inondation du Delta Intérieur du Niger. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales*, pp. 231-244. IRD, Paris.

- Marlet, S. & M.K. N'Diaye 2002. La fertilité des sols. Des risques d'alcalinisation liés à l'irrigation et aux pratiques culturales. En: P. Bonneval, M. Kuper & J.-P. Tonneau (éds.). L'Office du Niger, grenier au riz du Mali, pp. 163-166. Karthala, Paris.
- MDRE/ME 1999. Etude environnementale de la zone de l'Office du Niger. Rapport de Synthèse. Ministère de Développement Rural et de l'Eau et Ministère de l'Environnement. Bamako.
- Ministère du Plan, Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique 1976. Recensement Général de la Population. Bamako.
- Ministère du Plan, Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique 1987. Recensement Général de la Population et de l'Habitat. Bamako.
- Ministère de l'Economie et des Finances, Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique 1998. Recensement Général de la Population. Bamako.
- Moorehead, R. 1991. Structural Chaos: Community and state management of common property in Mali. Phd. Thesis, University of Sussex, Sussex.
- Morand, P, J. Quensière & C. Herry 1991. Enquête pluridisciplinaire auprès des pêcheurs du delta Central du Niger: plan de sondage et estimateurs associés. En: Le Transfert d'Echelle, Séminfort 4: 195-211.
- Moseley, W.G, Earl J.A. & L. Diarra 2002. La décentralisation et les conflits entre agriculteurs et éleveurs dans le Delta Intérieur du Niger. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales, pp. 101-118. IRD, Paris.
- Nadio, M. 1984. L'évolution du Delta Intérieur du Niger (Mali) 1956-1980. D'une région sous peuplée à une région sur-exploitée? Rouen: Univ. de Haute Normandie, Institut de géographie.
- N'Diaye, M. K. 1998. Etude environnementale de la zone de l'Office du Niger. Aspects liés à l'hydro-système et à la productivité des sols. Ministère du Développement Rural et de l'Eau. Bamako.
- Ngounou Ngatcha, B, R. Njitchoua & E. Naah 2002. Le barrage de Lagdo (Nord Cameroun). Impact sur les plaines d'inondation de la Bénoué. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales, pp. 455-474. IRD, Paris.
- Nouvellet, Y & N. Sanogo 2002. L'approvisionnement en bois. Un capital forestier menacé. En: P. Bonneval, M. Kuper & J.-P. Tonneau (éds.). L'Office du Niger, grenier au riz du Mali, pp. 177-181. Karthala, Paris.
- Olivry, J. C. 1987. Les conséquences durables de la sécheresse actuelle sur l'écoulement du fleuve Sénégal et l'hypersalinisation de la Basse- Casamance. En: The influence of climate change and climatic variability on the hydrologic regime and water resources. Proceedings of the Vancouver. IAHS Publ. no. 168: 501-512.
- Olivry, J. C. 1995. Fonctionnement hydrologique de la cuvette lacustre du Niger et essai de modélisation de l'inondation du Delta Intérieur. En: J. C. Olivry & J. Boulègue (éds.). Grands bassins fluviaux périatlantiques: Congo, Niger, Amazone, pp 267-280. IRD, Paris.
- Orange, D., G. Mahé, L. Dembélé, C.H. Diakité, M. Kuper & J.C. Olivry 2002a. Hydrologie, agro-écologie et superficies d'inondation dans le Delta Intérieur du Niger. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales, pp 209-229. IRD, Paris.
- Orange, D., R. Arfi, V. Bénech, M. Kuper, B. Marieu & I. Sidibé 2002b. Impact de la dynamique hydrologique sur les cycles de nutriments en zone inondable tropicale sahélienne. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales, pp 259-277. IRD, Paris.
- Ostrom, E. 1990. Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action. Cambridge University Press, New York.
- Ostrom, E. 1999. Coping with tragedies of the commons. Annual Review of Political Science 2:493-535.
- Ouvry, F., H. N'Djim, M. Kuper, E. Hamel & J.-P. Barral 2002. La gestion de l'eau. Une équilibre entre apports et drainage. En: Bonneval, P, M. Kuper & J.-P. Tonneau (éds.). L'Office du Niger, grenier au riz du Mali, pp. 152-156. Karthala, Paris.
- Palangié, A. 1999. Origines et caractéristiques de la pollution des eaux de Bamako: une première approche pour la gestion et l'épuration. GIHREX M19. IRD, Bamako.
- Papim/ODRS 2003. Etude environnementale du barrage de Selingue. ODRS, Bamako.
- Passchier, R., R. Maaten & K. Meijer 2004. Integrated water resources modelling of the Upper Niger River (Mali). Report WL | Delft Hydraulics.
- Paugy, D. & C. Lévêque 1999. Régimes alimentaires et réseaux trophiques. En: Lévêque, C. & D. Paugy (éds.). Les poissons des eaux continentales africaines. Diversité, écologie, utilisation par l'homme, pp. 167-190. IRD, Paris.
- Peeters, J. 2003. Etude pour la restauration du réseau hydraulique du bassin du fleuve Sénégal. Evaluation environnementale: rapport de première phase. OMVS, FAD/FAT, SOGED, AGRER-SERADE-SETICO. Dakar.
- Penning de Vries, F.W.T. & M.A. Djitéye (éds.) 1982. La productivité des pâturages sahéliens, une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle. PUDOC, Wageningen.
- Picouet, C., D. Orange, G. Mahé & J.C. Olivry 2002. Rôle du Delta Intérieur du fleuve Niger dans la régulation des bilans et de l'eau et de sédiments. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales, pp 245-258. IRD, Paris.
- PIRL (Projet d'inventaire des ressources ligneuses) 1991. Phase B, synthèse régionale, synthèse technique. Bdpa, Scet-Agri, Cft, Cirad, Sysame. Ministère des Ressources Naturelles et de l'Élevage., Direction Nationale des Eaux et Forêts. Bamako.
- PIRT. 1983. Les ressources terrestres au Mali, Atlas. USAID.
- Ponchet, Y. & J. Troubat 1994. La pêche dans le Delta central du Niger, cartes. En: J. Quensière (éd.) La Pêche dans le Delta Central du Niger, volume 2, hors texte. Karthala. Paris.
- Quensière, J. 1994. La Pêche dans le Delta central du Niger. Orstom/Karthala, Paris.
- Quensière, J., J.C. Olivry, Y. Poncet & J. Wuillot 1994a. Environnement deltaïque. En: J. Quensière (éd.). La Pêche dans le Delta Central du Niger, pp. 29-80. Karthala. Paris.
- Quensière, J., Y. Poncet, C. Fay, P. Morand, B. Kassibo, H. Rey, E. Baumann, V. Bénech, F. Bousquet, D. Dansoko, C. Herry, R. Laë, T. Niaré, J. Raffray, J.-J. Troubat & J.-Y. Weigel 1994b. Crise halieutique et surexploitation. En: Quensière, J. (éd.). La pêche dans le Delta Central du Niger, pp. 417-426. Karthala, Paris.
- Randolph, T.F. 1995. Rice demand in the Sahel. En: K.M. Miézan, M.C.S., M. Dingkuhn & J. Deckers, T.F. Randolph (éds.). Irrigated rice in the Sahel: prospects for sustainable development. Adreo, Bamako.
- Sangare, S., G. Mahé, J.-E. Paturel, Y. Bangoura 2002. Bilan hydraulique du Niger en Guinée. Friend - AOC.
- Scholte, P. in prep. Waterbird recovery in Waza-Logone (Cameroun) resulting from increased rainfall, floodplain rehabilitation and colony protection. Amsterdam.
- Scholte, P., S. de Kort, S. & M. van Weerd 2000b. Floodplain rehabilitation in Far North Cameroon: expected impact on bird life. Ostrich 71: 112-117.
- Scholte, P., E. Pamo, S. Kari, S. Kersten & P. Kirda 1996. Floodplain rehabilitation in N. Cameroon: expected impact on vegetation, pastoralists and wildlife. In Proceedings Fifth International Rangeland Congress, ed. West, N. pp 492-493. Society of Range Management, Colorado.
- Scholte, P., Kirda, P., Adam, S., Kadiri, B. 2000a. Floodplain rehabilitation in North Cameroon: impact on vegetation dynamics. Applied Vegetation Science 3, 33-42.
- Schreyer, E. 1984. L'Office du Niger au Mali: la problématique d'une grande entreprise agricole dans la zone du Sahel. Franz Steiner Verlag, Wiesbaden, Allemagne.
- Schreyer, E. 2002. La période 1932-1982. De la "mission Béline" à l'Office du Niger. En: Bonneval, P., M. Kuper, J.-P. Tonneau (2002) L'Office du Niger, grenier à riz du Mali, pp. 68-73. Karthala, Paris.
- Shumway, C.A. 1999. Forgotten waters: Freshwater and marine ecosystems in Africa. Strategies for biodiversity conservation and sustainable development. Boston University. Boston, USA.
- Skinner, J. R., P.J. Wallace, W. Altenburg et B. Fofana 1987. The status of heron colonies in the Niger Delta, Mali. Malimbus 9: 65-82.
- Slob, A. (2002) Le rôle des bailleurs de fonds. Une coopération réussie entre bailleurs et gouvernement malien. En: Bonneval, P., M. Kuper, J.-P. Tonneau (2002) L'Office du Niger, grenier à riz du Mali, pp. 97-99.
- Söderqvist, T., W.J. Mitsch & R.K. Turner 2000. Valuation of wetlands in a landscape and institutional perspective. Ecological Economics 35: 1-6.
- Sogréah-BCEOM-Betico 1999. Etude de schéma directeur de développement pour la zone Office du Niger: diagnostic de la situation actuelle. Rap. principal + rap. infrastructure hydrauliques. Doc. Office du Niger, Ségou.
- Soils Incorporated (Pty) Ltd & Chalo Environmental and Sustainable Development Consultants. 2000. Kariba Dam Case Study, prepared as an input to the World Commission on Dams, Cape Town.
- Staa, R. 2001. Svenska skrântärnors flyttning. Presentation av återfyndsmaterial med kartor. [Migration of Caspian terns *Sterna caspia* ringed in Sweden]. Fauna och Flora Årg. 95: 159-168.
- Szép, T., 1995. Relationship between west African rainfall and the survival of central European Sand Martins *Riparia riparia*. Ibis 137, 162-168.
- Témé, & J.-P. Tonneau 2002. L'avenir de l'Office du Niger. Un territoire à construire. En: Bonneval, P, M. Kuper & J.-P. Tonneau (éds.). L'Office du Niger, grenier au riz du Mali, pp. 241-244. Karthala, Paris.

Tobler, W. R. 1992. Preliminary representation of World population by spherical harmonics. Proc. Nat. Ac. Sci. USA 89: 6262-6264.

Togola, C. 2002. L'eau, la terre et les hommes autour du Lac Télé. En: D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand & Y. Poncet (éds.). Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inonables tropicales, pp. 61-74. IRD, Paris.

Trolliet, B. 2003. Ferruginous Duck in tropical Africa: a brief overview. En: Petkov, N., B. Hughes & U. Gallo-Orsi (éds.). Ferruginous Duck. From research to Conservation. Conservation Series no. 6, pp. 88-95. Birdlife International, BSPB-TWWSG, Sofia.

Turner, D., 2000. Herons in Africa and the Malagasy Region. En: Kushlan, J.A. & H. Hafner. (éds.). Heron Conservation, pp. 99-121. Academic Press.

Turner, R.K., R. Brouwer, S. Georgiou & I.J. Bateman 2000. Ecosystem functions and services: an integrated framework and case study for environmental evaluation. CSERGE Working Paper GEC 2000-21.

van 't Hof, S. 1998. Étude d'un projet pilote d'irrigation par pompage à basse pression: amélioration de la disponibilité de groupes motopompe à prix abordables aux paysans africains. Amersfoort.

Wammens, D.F., G.C. Boere & S. Braaksma 1983. In hoe verre kunnen aantalsveranderingen van zangvogels in verband worden gebracht met hun trekgedrag? Limosa 56: 231-242

Weigel, J. & B. Stomal. 1994. Consommation, transformation et commercialisation du poisson. En: J. Quensièrre (éd.). La Pêche dans le Delta Central du Niger, pp. 165-189. Paris: Karthala.

Welcomme, R. L. 1979. Fisheries ecology of floodplain rivers. Longman, London.

Welcomme, R. L. 1986a. Fish of the Niger system. En: B. R. Davies & K. F. Walker (éds.). The ecology of river systems, pp. 25-47. Dordrecht: Junk.

Welcomme, R. L. 1986b. The effects of the Sahelian drought on the fisheries of the Central delta of the Niger river. Aquat. Fish. manage. 147-154.

Wymenga, E., B. Kone & L. Zwarts (éds.). 2002. Le Delta Intérieur du fleuve Niger: ecologie et gestion durable des ressources naturelles. Wetlands International-Mali, Sévaré /RIZA, Lelystad /A&W conseillers ecologiques, Veenwouden.

World Commission on Dams. 2001. Orange River Development Project, South Africa, Case Study prepared as an input to the World Commission on Dams, Cape Town. www.dams.org.

Zwarts, L. & M. Diallo. 2002. Eco-hydrologie du Delta. En: E. Wymenga, B. Kone, J. van der Kamp & L. Zwarts (éds.). Delta Intérieur du fleuve Niger: ecologie et gestion durable des ressources naturelles, pp. 45-63. Wageningen: Mali-PIN 02-01.

Zwarts, L., M. Diallo, M. Maïga & J. van der Kamp 1999. La distribution et la biomasse des coquillages dans la plaine d'inondation du Delta Intérieur du Niger autour du Lac Débo en février – mars 1999. Publication Malipin 99-01, Wetlands International, Sevaré / RIZA – RWS, Lelystad / A&W, Veenwouden.

Zwarts, L. B.J. Ens, M. Kersten & T. Piersma 1990. Moulting, mass and flight range of waders ready to take off for long-distance migration. Ardea 78: 339-364.

Zwarts, L., I. Grigoros & W. Dubbeldam. 2003 A digital flooding model of the Inner Niger Delta: a first analysis of remote sensing data. Mali-PIN 03-01.

APPENDICE I PRÉCIPITATIONS ET DÉBITS DANS LES BASSINS VERSANTS DE CINQ AFFLUENTS DU HAUT NIGER

Le Tableau I.1 présente les débits fluviaux (Q, m³/s) et les hauteurs moyennes de pluies (P, mm) dans cinq bassins. Voir Fig. 2.3 pour les localités. Le tableau est tiré de Mahé et al. (1997).

x = moyenne, et = écart-type, cv = coefficient de variation (écart-type/x %)

Tableau I.1: Données relatives au débit fluvial (Q, m³/s) et à la hauteur moyenne des pluies (P, mm) dans 5 bassins

An	BANI		SANKARANI		TINKISSO		MILO		NIANDAN	
	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P	Q	P
1951	770	1371	496	1640	247	1878	281	2384	344	2095
1952	828	1296	385	1441	197	1456	227	2000	273	1838
1953	837	1271	458	1557	229	1728	229	1945	317	2023
1954	909	1350	506	1657	240	1788	270	2077	310	2119
1955	890	1270	420	1503	224	1681	269	2055	356	2010
1956	563	1128	323	1330	258	1440	156	1710	221	1608
1957	798	1319	471	1595	229	1726	221	2243	322	2041
1958	801	1212	320	1324	190	1479	202	1961	284	1635
1959	712	1112	367	1409	226	1510	190	2030	268	1842
1960	616	1185	368	1411	208	1584	241	1979	282	1948
1961	645	1102	329	1341	198	1444	139	1658	171	1552
1962	555	1222	436	1533	224	1495	218	2227	294	1947
1963	517	1186	391	1452	215	1597	192	1830	223	1855
1964	759	1337	454	1565	191	1771	174	1812	240	1617
1965	728	1193	338	1391	177	1605	180	1803	270	1849
1966	670	1158	328	1502	170	1518	172	1827	224	1637
1967	724	1204	451	1567	227	1534	227	2147	296	1973
1968	670	1090	363	1357	123	1332	196	2025	298	1897
1969	697	1225	500	1610	283	1574	284	2097	361	2045
1970	528	1150	261	1355	155	1232	164	1519	170	1128
1971	363	1062	296	1291	126	1278	164	1780	225	1582
1972	175	985	271	1265	114	1262	188	1891	260	1678
1973	162	932	261	1280	88,9	1333	146	1805	159	1643
1974	312	1127	343	1396	168	1496	194	1933	281	1885
1975	357	1140	435	1341	138	1440	203	1685	219	1601
1976	242	1147	346	1405	148	1454	200	1920	290	1944
1977	168	951	248	1216	82,7	1142	141	1686	212	1565
1978	218	1088	398	1375	85,5	231	196	2048	283	1909
1979	258	1098	452	1365	127	1252	231	1900	260	1807
1980	214	999	241	1260	75,2	1249	127	1690	153	1514
1981	295	1026	337	1355	102	1347	191	1950	239	1918
1982	164	999	304	1295	78,1	1192	153	1728	279	1874
1983	70,7	784	175	1064	79,3	1120	143	1696	213	1572
1984	113	883	205	1118	59,6	1102	116	1700	194	1482
1985	175	955	256	1209	83,2	1262	163	1872	235	1677
1986	145	984	238	1178	70,7	1102	125	1785	237	1669
1987	135	846	179	1072	66,7	1220	131	1724	240	1700
1988	179	1044	225	1154	67,3	1231	129	1654	171	1367
1989	186	981	279	1250	58,1	1236	115	1916	251	1733
moyenne	465	1113	345	1370	155	1393	187	1890	254	1764
Ecart type	274	143	93	154	67	281	46	187	53	217
Cv	59	13	27	11	44	20	25	10	21	12

Résultats de cinq analyses de régression multiple, avec le débit fluvial dans le bassin (m^3/s) comme fonction des précipitations (mm) dans la même année (an 0), l'année précédente (an 1) et deux années avant (an 2). Les données originelles sont fournies par Mahé et al. (1976) et reproduites ci-dessus. L'incidence des précipitations n'est indiquée que lorsqu'elle est significative. Les précipitations des trois années précédentes (an 3)

sont prises en compte dans les équations. Mais, elles ne sont significatives dans aucune des analyses relatives cinq années. Les équations tiennent compte des variables suivantes:

a = constante

b = fonction de régression

se = écart-type de la fonction de régression (standard error)

p = signification

BANI ($R^2 = 0,863$)			
	B	SE	P
A	-1796,422	158,003	0,000
an0	1,102	0,181	0,000
an1	0,566	0,190	0,006
an2	0,360	0,175	0,048

SANKARANI ($R^2 = 0,861$)			
	B	SE	P
A	-421,009	50,909	0,000
an0	0,559	0,037	0,000

MILO ($R^2 = 0,689$)			
	B	SE	P
A	-405,111	75,712	0,000
an0	0,184	0,025	0,000
an1	0,092	0,025	0,000
an2	0,037	0,023	0,000

NIANDAN ($R^2 = 0,753$)			
	B	SE	P
A	-118,853	35,421	0,002
an0	0,212	0,020	0,000

TINKISSO ($R^2 = 0,561$)			
	B	SE	P
A	-131,035	43,764	0,005
an0	0,143	0,031	0,000
an1	0,062	0,030	0,049

APPENDICE II SÉLINGUÉ NIVEAU D'EAU, COURANT DE DÉVERSEMENT, COURANT DE DÉBORDEMENT ET PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ

II.1 Statistiques officielles

Le lac Sélingué est géré par l'Office de Développement Rural de Sélingué (ODRS) et la Direction nationale de l'Energie du Mali (EDM). Etant donné que la production d'électricité est fonction du débit fluvial artificiel, le niveau d'eau est enregistré de manière précise dans le réservoir et en aval du barrage. Il en est de même

pour les courants de déversement et de débordement du réservoir. Ce dernier est compartimenté pour l'eau du déversoir et l'eau turbinée. De même, le volume de l'eau d'irrigation est connu. La présente annexe fournit des données réparties par an et par mois. Ces informations sont analysées au Chapitre 2.

Tableau II.1. Niveau d'eau dans le réservoir (m IGN).

An	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	moyen
1982	346,89	346,64	346,01	345,57	345,42	343,24	343,55	345,49	346,60	347,01	347,04	347,00	345,87
1983	346,82	346,44	345,71	344,84	343,99	344,18	344,38	346,03	347,24	346,90	347,12	346,86	345,87
1984	346,47	345,89	344,94	343,75	342,57	341,43	340,98	345,78	348,50	348,49	348,50	348,30	345,46
1985	347,92	347,40	346,58	345,64	344,48	343,33	344,26	348,34	348,50	348,52	348,50	348,28	346,81
1986	347,91	347,32	346,46	345,44	344,12	342,70	341,34	344,76	348,08	348,52	348,54	348,22	346,12
1987	347,68	346,98	345,88	344,24	341,58	340,38	340,88	344,04	348,28	348,60	348,50	348,14	345,43
1988	347,66	346,90	346,02	345,04	343,60	342,24	341,32	344,44	348,50	348,64	348,30	347,82	345,87
1989	347,18	346,42	345,58	343,96	341,24	340,08	340,36	344,92	348,59	348,84	348,62	348,10	345,32
1990	348,16	347,15	346,28	345,11	344,16	341,88	341,96	346,90	348,81	348,86	348,70	348,14	346,34
1991	347,53	346,77	345,58	344,39	343,06	341,48	342,38	347,46	348,68	348,86	348,88	348,58	346,14
1992	348,14	347,48	346,40	345,55	343,40	341,50	341,15	346,94	348,63	349,00	349,03	348,64	346,32
1993	348,11	347,52	346,60	345,42	343,98	342,28	340,66	345,10	348,56	349,08	348,91	348,50	346,23
1994	348,15	347,63	346,64	345,38	344,19	341,74	340,68	344,42	348,10	348,16	347,99	347,94	345,92
1995	347,68	347,10	345,96	344,70	343,18	340,08	338,85	346,66	348,08	348,58	348,56	348,02	345,62
1996	347,40	346,58	345,27	343,50	341,16	338,50	339,90	343,90	348,00	348,50	348,46	348,27	344,95
1997	347,74	347,20	346,38	345,35	343,96	342,14	341,02	346,38	348,06	348,50	348,58	348,41	346,14
1998	348,17	347,55	346,54	345,16	343,50	341,82	341,44	347,42	348,54	348,68	348,71	348,96	346,37
1999	347,78	347,01	345,54	342,96	339,20	339,00	339,98	334,62	348,96	348,98	348,97	348,86	344,32
2000	348,45	347,90	346,93	345,85	344,44	343,02	342,27	347,38	348,94	349,06	349,10	348,88	346,85
2001	348,60	348,24	347,42	346,15	344,20	341,24	341,58	347,63	349,00	349,05	348,90	348,64	346,72
2002	348,34	347,74	346,39	344,86	342,69	341,22	341,56	345,58	348,91	349,08	349,03	348,72	346,18
2003	348,24	347,50	346,55	345,26	343,23	341,08	342,08						344,85
moyen	347,77	347,15	346,17	344,91	343,24	341,57	341,48	345,44	348,36	348,57	348,52	348,25	345,92

Tableau II.2. Courant de déversement dans le réservoir (m³/s).

An	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	moyen
1982	41,78	39,05	36,17	56,94	78,68	142,30	269,16	620,35	1083,63	534,83	227,40	93,02	269,30
1983	44,69	42,43	33,74	41,87	53,32	137,93	232,09	614,45	691,93	408,55	128,78	54,61	207,91
1984	35,55	28,67	37,77	38,13	53,79	75,96	118,83	448,04	612,49	374,80	110,94	45,17	165,65
1985	26,49	24,35	32,95	36,53	46,20	59,13	182,72	746,94	1082,60	596,31	161,80	47,20	254,59
1986	27,64	30,17	34,37	52,20	59,25	68,29	90,96	367,67	906,03	451,17	184,94	38,48	192,72
1987	34,88	63,36	26,86	37,50	47,81	52,80	91,95	335,01	608,70	414,60	143,10	25,87	157,05
1988	30,57	53,93	19,65	21,84	34,56	51,13	119,04	350,18	656,00	303,70	50,62	20,53	142,80
1989	45,70	30,98	26,94	36,07	44,31	38,39	94,92	422,20	606,33	355,43	99,27	33,47	153,37
1990	22,96	42,64	29,20	28,02	86,87	88,63	213,23	609,06	634,87	423,03	134,26	40,12	197,06
1991	37,30	51,87	28,29	26,38	56,16	80,39	249,52	651,42	778,95	490,90	210,52	73,47	228,87
1992	31,16	58,95	52,27	25,71	47,68	91,15	207,88	566,85	1106,91	522,34	166,97	79,00	246,84
1993	26,53	45,14	69,10	37,29	70,31	78,93	138,54	485,62	864,94	544,49	196,85	81,04	220,52
1994	27,06	46,43	66,96	26,26	61,14	97,65	221,97	419,13	1004,29	1145,24	676,67	191,05	333,03
1995	81,82	86,35	47,59	51,11	68,65	69,68	78,46	701,74	1135,11	859,89	267,14	82,09	294,89
1996	81,24	74,09	71,12	72,04	94,43	77,20	88,46	432,89	913,62	711,89	216,35	77,31	243,09
1997	51,18	61,42	59,37	48,24	76,21	97,69	266,94	687,05	1191,31	631,02	211,03	87,32	289,86
1998	54,33	53,03	71,84	47,20	69,35	110,15	233,72	1021,81	1216,06	992,50	264,72	98,01	354,57
1999	64,46	72,67	69,94	76,18	77,29	36,10	118,63	429,57	1094,03	764,49	297,44	97,79	266,94
2000	83,31	42,61	68,26	50,31	77,24	154,35	209,40	679,77	972,38	768,34	286,96	104,01	292,64
2001	53,94	38,84	50,99	75,65	66,22	94,96	237,04	735,48	2369,47	786,97	251,50	112,98	405,99
2002	56,42	51,00	87,10	48,62	68,99	87,77	171,99	508,24	857,02	578,93	222,53	76,06	235,30
2003	48,70	60,54	63,71	41,36	65,13	107,20	338,54						103,60
moyen	45,80	49,93	49,28	44,34	63,80	86,26	180,64	563,50	970,79	602,83	214,75	74,22	246,20

Tableau II.3. Courant de débordement du réservoir (m³/s).

An	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	moyen
1982	32,73	45,03	74,73	75,85	69,78	300,27	272,26	455,30	985,03	473,18	204,92	108,34	258,41
1983	45,66	61,24	77,43	94,36	102,63	98,63	210,34	468,10	551,65	430,38	76,44	65,03	191,05
1984	57,09	63,57	96,98	112,10	122,79	132,02	136,67	109,96	539,00	363,60	98,93	53,83	157,29
1985	58,75	69,39	98,62	110,34	123,62	132,51	108,63	286,01	1017,76	568,89	140,87	53,67	230,77
1986	61,48	91,88	106,77	131,97	148,36	151,97	157,00	146,44	466,21	349,12	150,94	82,48	170,43
1987	86,84	110,66	133,98	170,86	201,85	94,94	70,12	153,50	117,00	315,64	104,51	77,67	136,84
1988	74,39	102,37	93,49	108,23	128,60	131,54	161,70	154,67	149,94	231,64	98,79	74,24	126,03
1989	82,18	106,77	99,31	162,76	183,68	74,98	83,75	149,44	126,12	258,47	104,63	90,85	127,18
1990	59,58	66,41	93,24	130,56	146,95	218,79	216,18	167,84	340,87	385,69	132,86	112,56	173,14
1991	89,28	103,92	137,57	117,56	137,77	98,14	201,07	172,83	527,89	442,95	155,14	92,66	190,05
1992	79,82	105,65	133,96	160,68	152,63	195,93	216,25	193,27	688,06	426,51	134,60	112,21	216,69
1993	88,99	94,10	129,32	155,74	175,49	183,15	205,84	211,85	392,34	450,37	196,68	117,08	200,60
1994	68,14	91,20	131,56	150,90	148,13	245,30	270,08	203,47	553,18	1115,05	677,09	179,05	320,35
1995	88,82	117,79	152,96	163,99	163,18	205,13	115,64	203,36	945,12	742,98	238,53	152,64	274,21
1996	125,15	157,98	151,72	177,17	178,52	130,01	50,95	229,30	450,40	601,65	206,37	82,52	211,93
1997	98,29	79,49	96,02	134,85	166,32	205,64	320,08	284,72	961,27	511,92	173,06	81,73	259,73
1998	54,67	102,52	126,88	172,62	181,59	202,61	227,64	243,39	1009,29	942,71	237,57	127,31	302,91
1999	124,15	123,10	185,77	257,69	211,23	24,24	81,43	189,47	509,73	735,99	273,91	90,51	234,49
2000	114,04	103,14	129,48	145,58	177,30	242,02	251,26	215,38	707,53	711,32	251,60	112,14	263,91
2001	66,90	63,22	115,06	175,57	234,82	264,10	223,84	210,40	1580,72	757,16	239,87	130,40	338,28
2002	69,47	108,56	196,38	190,65	201,55	153,96	158,79	218,20	381,39	528,25	202,52	101,01	209,80
2003	94,32	128,39	125,12	149,27	203,67	224,89	291,75						173,91
moyen	78,22	95,29	122,11	147,70	161,84	168,67	183,24	222,23	619,07	540,16	195,23	99,90	219,80

Tableau II.4. Courant de débordement en tant que % du courant de déversement.

An	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	moyen
1982	78,33	115,31	206,62	133,21	88,69	211,01	101,15	73,39	90,90	88,47	90,11	116,47	95,95
1983	102,17	144,32	229,48	225,37	192,48	71,51	90,63	76,18	79,73	105,34	59,36	119,07	91,89
1984	160,59	221,73	256,76	293,99	228,28	173,80	115,02	24,54	88,00	97,01	89,17	119,17	94,95
1985	221,78	284,97	299,30	302,05	267,58	224,10	59,45	38,29	94,01	95,40	87,06	113,71	90,64
1986	222,43	304,54	310,65	252,82	250,40	222,54	172,60	39,83	51,46	77,38	81,62	214,35	88,43
1987	248,97	174,65	498,81	455,63	422,19	179,81	76,25	45,82	19,22	76,13	73,03	300,23	87,13
1988	243,34	189,83	475,78	495,56	372,12	257,27	135,84	44,17	22,86	76,27	195,16	361,63	88,26
1989	179,82	344,65	368,63	451,23	414,53	195,31	88,23	35,40	20,80	72,72	105,40	271,44	82,92
1990	259,49	155,75	319,32	465,95	169,16	246,86	101,38	27,56	53,69	91,17	98,96	280,56	87,86
1991	239,36	200,35	486,30	445,64	245,34	122,07	80,58	26,53	67,77	90,23	73,69	126,12	83,04
1992	256,16	179,22	256,28	624,97	320,12	214,95	104,03	34,10	62,16	81,65	80,61	142,04	87,79
1993	335,47	208,45	187,14	417,70	249,59	232,05	148,58	43,62	45,36	82,71	99,92	144,48	90,97
1994	251,76	196,42	196,48	574,61	242,28	251,19	121,68	48,55	55,08	97,36	100,06	93,72	96,19
1995	108,55	136,41	321,44	320,87	237,68	294,39	147,39	28,98	83,26	86,40	89,29	185,94	92,99
1996	154,05	213,23	213,32	245,92	189,06	168,41	57,59	52,97	49,30	84,51	95,39	106,73	87,18
1997	192,06	129,42	161,72	279,56	218,23	210,50	119,91	41,44	80,69	81,13	82,01	93,59	89,60
1998	100,63	193,34	176,60	365,71	261,86	183,94	97,40	23,82	83,00	94,98	89,75	129,90	85,43
1999	192,62	169,40	265,63	338,29	273,30	67,15	68,64	44,11	46,59	96,27	92,09	92,55	87,84
2000	136,89	242,03	189,69	289,34	229,54	156,81	119,99	31,68	72,76	92,58	87,68	107,82	90,18
2001	124,03	162,75	225,65	232,07	354,62	278,13	94,43	28,61	66,71	96,21	95,38	115,42	83,32
2002	123,12	212,87	225,47	392,12	292,16	175,42	92,33	42,93	44,50	91,25	91,01	132,80	89,16
2003	193,68	212,07	196,38	360,95	312,71	209,79	86,18						
moyen	170,76	190,84	247,77	333,11	253,67	195,53	101,44	39,44	63,77	89,60	90,91	134,60	89,28

Tableau II.5 Débit turbiné (m³/s).

An	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	somme
1982	30,34	45,03	74,73	75,85	69,78	300,27	272,26	455,30	985,03	473,18	204,92	108,34	790,81
1983	45,66	61,24	77,43	94,36	102,63	98,63	210,34	468,10	551,65	430,38	76,44	65,03	1022,06
1984	57,09	63,57	96,98	112,10	122,79	132,02	136,67	109,96	539,00	363,60	98,93	53,83	1090,65
1985	58,75	69,39	98,62	110,34	123,62	132,51	108,63	286,01	1017,76	568,89	140,87	53,67	1154,52
1986	61,48	91,88	106,77	131,97	148,36	151,97	157,00	146,44	466,21	349,12	150,94	82,48	1426,68
1987	86,84	110,66	133,98	170,86	201,85	94,94	70,12	153,50	117,00	315,64	104,51	77,67	1426,01
1988	74,39	102,37	93,49	108,23	128,60	131,54	161,70	154,67	149,94	231,64	98,79	74,24	1378,37
1989	82,18	106,77	99,31	162,76	183,68	74,98	83,75						

Tableau II.6 Production d'électricité (mWh).

An	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	somme
1982	3229	4484	7747	7678	6944	63	5973	6049	7191	6990	5657	4014	66166
1983	5021	6177	8178	8911	9442	7943	8108	9179	9116	9510	8081	7163	96957
1984	6119	6481	9535	9939	9927	9461	9126	9225	7752	8253	7466	6415	99834
1985	6863	7363	10683	10965	11700	11115	9211	9486	9797	11253	89	7174	105949
1986	7172	9348	11461	12742	13574	12062	11466	11735	11967	13538	10574	9782	135540
1987	10240	11085	14028	15564	16104	6297	4752	11180	11888	13677	10029	9220	134102
1988	8674	10683	10083	10316	11656	10376	11548	11884	13220	13828	11471	8806	132541
1989	9414	10481	10249	14653	14861	4873	5490	11895	13221	14238	12320	10135	131843
1990	7008	6885	10518	12754	13547	16578	14418	14881	14303	17917	14955	13334	157506
1991	10306	10673	14117	10916	11864	11783	13922	15600	15352	15142	12644	11232	153775
1992	9897	11310	14406	15412	13549	14124	14126	15375	15860	18167	15163	13643	171205
1993	10584	9846	14156	15207	16064	14236	13631	15375	16125	19267	19007	14050	177857
1994	8170	9565	14431	14756	13699	18120	16900	15312	17705	18992	17444	15397	180772
1995	10281	11824	15911	15218	14129	14323	6431	16228	20467	22240	19916	17680	184723
1996	14116	12841	15254	15340	13363	8312	3117	16644	20449	22898	17106	9878	169285
1997	11426	8191	10397	13146	15191	15601	19265	21110	19598	21198	17602	9831	183080
1998	6572	10659	13774	16581	16133	15072	14682	20524	19090	18609	18503	15103	185526
1999	14249	12380	18849	21209	14074	1481	5099	13773	19662	21434	19126	11072	172473
2000	13542	11337	14404	14643	16734	19296	18647	18876	20678	20473	17666	13638	200273
2001	8097	6913	13190	17857	21857	19342	14059	18173	22205	25791	24211	15410	207646
2002	8407	11302	20741	17873	17049	10993	10283	17631	22140	25130	17965	12317	192128
2003	11314	12954	13485	14521	17937	15814	18989						
moyen	9123	9672	12982	13918	14063	11694	11329	14292	15609	17074	14143	11204	155303

Tableau II.7. Prise d'eau (m³/s) pour l'irrigation.

An	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	moyen
1982													
1983													
1984								0,38					
1985													
1986													
1987	0,78	0,78	0,44	0,50	0,44	0,16	0,80	1,54	1,66	1,87	1,11	0,21	0,86
1988	0,95	0,70	0,83	1,05	1,02	0,18	0,00	1,70	1,53	2,17	1,78	0,24	1,01
1989	0,38	0,59	0,71	0,81	0,58	0,12	0,48	1,03	1,62	1,98	0,93	0,40	0,80
1990	1,20	1,98	2,27	2,33	1,90	0,25	0,00	1,23	2,13	2,35	1,95	0,61	1,51
1991	1,86	2,37	2,47	2,63	1,29	0,35	1,12	1,32	1,59	2,01	1,16	0,54	1,55
1992	1,28	2,31	2,07	2,15	0,76	0,20	0,26	0,78	1,02	1,77	0,67	0,84	1,17
1993	1,41	2,29	2,41	2,59	0,87	0,05	0,20	0,79	1,05	1,48	0,76	0,38	1,18
1994	0,76	1,69	1,71	1,75	0,63	0,05	0,10	0,29	0,45	0,74	0,35	0,24	0,72
1995	0,81	1,55	1,87	1,87	0,77	0,04	0,00	0,16	0,87	1,21	0,98	0,00	0,84
1996	0,56	1,69	1,80	1,80	0,69	0,23	0,00	0,23	0,77	1,21	1,39	0,44	0,89
1997	0,40	1,23	1,49	1,66	0,69	0,27	0,00	0,29	1,05	1,53	1,89	1,00	0,95
1998	0,35	1,08	1,92	2,16	2,16	0,63	0,00	0,26	1,06	1,53	1,89	1,00	1,17
1999	0,35	1,08	1,92	2,16	1,53	0,00	0,00	0,00	0,78	1,53	1,89	1,00	1,02
2000	0,19	1,08	1,92	2,16	1,53	1,53	1,08	0,26	1,26	1,39	1,77	0,99	1,26
2001	0,91	2,02	2,34	2,37	2,48	0,72	0,00	0,22	0,14	0,00	1,01	0,00	1,01
2002	1,09	2,20	1,89	1,89	1,07	0,00	0,99	0,93	1,49	1,40	0,65	0,54	1,17
2003	0,62	1,78	2,45	2,06	1,69	0,00	0,00						
moyen	0,82	1,55	1,79	1,88	1,18	0,28	0,30	0,67	1,15	1,51	1,26	0,53	1,07

II.2 Production hydroélectrique

La présente section, qui s'appuie sur les travaux de Paschier et al. 2004, présente une série chronologique de production hydroélectrique. Elle met en lumière l'énergie générée, en comparaison avec l'énergie garantie et la capacité de production électrique théorique. La Fig. II.1 présente le rapport entre les moyennes mensuelles du débit de la turbine et du niveau du réservoir. Apparemment, les turbines fonctionnent avec jusqu'à +349 m d'eau, bien que dans certaines publications, le niveau maximum normal de l'eau du réservoir soit de +348,5 m.

La Fig. II.2 présente le rapport entre le débit de la turbine et l'énergie générée par mois.

En principe, la capacité installée, soit 47,6 MW, permet de produire 34,8 GWh par mois, lorsque toutes les quatre turbines sont fonctionnelles et que le réservoir est plein. La Figure indique que l'énergie maximum générée était d'environ 25 GWh/mois, soit près de 70 % de la valeur théorique. L'énergie garantie, à savoir 18 MW, correspond à environ 13GWh/mois. Pendant près de la moitié des mois, l'énergie garantie est produite ou dépassée. La Fig. II.3 présente le niveau du réservoir par rapport à l'énergie générée par mois.

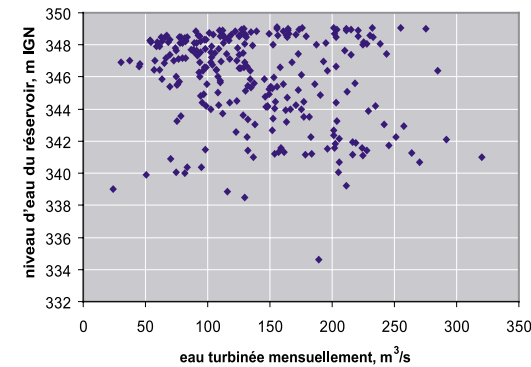


Fig. II.1. Sélingué: Débit de la turbine par rapport au niveau du réservoir.

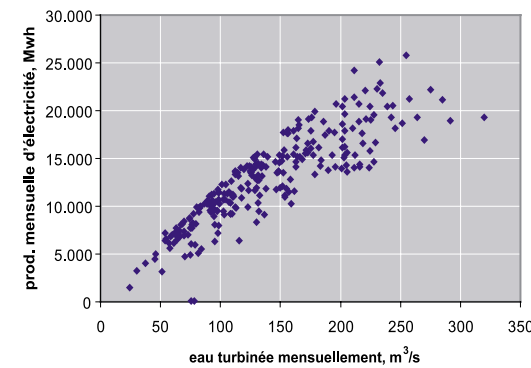


Fig. II.2. Sélingué: Débit moyen de la turbine par rapport à l'énergie générée par mois.

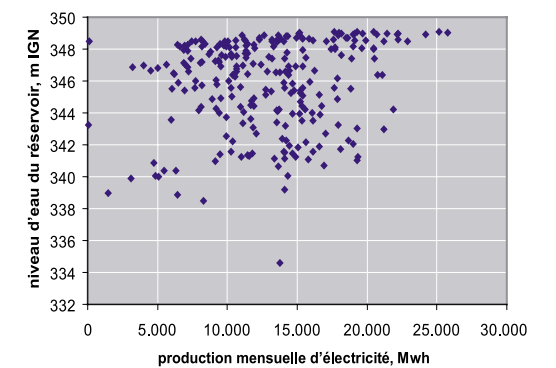


Fig. II.3. Sélingué: Niveau du réservoir par rapport à l'énergie générée par mois.

APPENDICE III CONSOMMATION D'EAU MENSUELLE DE L'OFFICE DU NIGER ET DÉBIT FLUVIAL POUR LES MÊMES MOIS À KOULIKORO

La présente annexe indique la consommation d'eau mensuelle de l'Office du Niger (m^3/s) depuis août 1988 et le débit fluvial pour les mêmes mois à Koulikoro (m^3/s) au titre des mêmes 17 années. La consommation moyenne annuelle d'eau de l'ON ne dépend pas du débit du fleuve. Par conséquent, la consommation relative d'eau augmente lorsque le débit du fleuve est faible, passant de 6 % en période de haut débit (1995) à 16% en période de faible débit (1990).

La consommation relative d'eau est décrite par la fonction ci-après:

$$\% \text{ consommation} = 5156 \text{ flux}^{-0,926}$$

où:

% consommation = consommation annuelle en tant que % du débit fluvial annuel moyen à Koulikoro

débit = débit fluvial annuel moyen (dernière colonne du deuxième tableau).

Tableau III.1. Consommation d'eau de l'Office du Niger (m^3/s).

An	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	moyen
1988								91	99	142	90	73	
1989	62	61	58	65	86	93	61	91	136	138	112	58	85
1990	60	62	61	57	105	81	68	102	138	130	113	66	87
1991	69	63	67	69	74	78	92	92	116	125	82	60	82
1992	66	69	69	60	65	67	92	91	121	141	113	76	86
1993	58	59	67	75	87	103	87	83	132	140	107	63	88
1994	57	64	71	75	76	95	78	68	120	105	88	58	79
1995	57	59	58	55	74	92	105	103	117	148	110	59	86
1996	57	58	72	69	76	96	110	110	131	135	96	76	91
1997	72	65	70	72	55	76	106	100	112	115	80	45	81
1998	44	52	70	80	91	113	120	104	111	135	82	46	87
1999	76	60	107	92	99	106	90	89	110	125	89	36	90
2000	37	49	51	51	54	104	113	96	135	136	86	61	81
2001	39	52	53	73	91	82	90	113	146	143	78	49	84
2002	62	69	83	90	97	111	129	123	134	118	85	52	96
2003	70	86	92	90	110	73	90	81	97	125	70	36	85
2004	43	54	66	75	104	109	98	109	130	146	84	56	90
moyen	58	61	69	72	84	92	95	97	124	131	92	56	86

Tableau III.2. Débit fluvial à Koulikoro (m^3/s).

An	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	moyen
1988	174	130	95	87	111	140	529	1660	3100	1660	628	248	715
1989	133	109	88	128	172	126	310	1120	2190	2020	720	340	624
1990	142	83	77	105	137	258	627	1520	2460	2010	798	352	717
1991	198	132	105	105	133	254	776	1645	3165	2590	1110	401	887
1992	182	131	126	133	136	256	720	1430	2870	2020	840	363	770
1993	182	112	118	136	169	238	488	1560	2210	2000	1050	451	729
1994	185	117	125	125	127	385	1000	1960	4230	5060	3050	865	1441
1995	347	214	175	187	192	350	479	2330	4880	4360	1590	592	1312
1996	310	226	171	165	239	290	496	1840	3680	3660	1340	439	1075
1997	216	148	93	107	158	298	935	1820	3790	2910	1220	439	1014
1998	190	135	112	138	158	349	738	2220	4100	3890	1280	444	1151
1999	235	154	173	228	237	52	386	1680	3890	3800	1860	630	1114
2000	304	200	136	138	175	398	833	1773	3438	3813	1693	562	1126
2001	255	124	111	151	235	317	827	2424	5533	3335	1175	567	1258
2002	248	150	203	184	197	228	568	1891	3137	2487	1026	386	896
2003	128	100	78	77	127	231	890	2748	5169	3151	1292	502	1212
2004	193	178	125	106	150	296	542	1567	3352	2508			
moyen	194	131	117	128	156	258	613	1709	3173	2729	1138	417	900

Note: La consommation en décembre 2004 n'est pas encore connue; la moyenne a été remplie afin de pouvoir calculer la consommation moyenne pour 2004.

APPENDICE IV DÉBIT ET SUPERFICIE EN FONCTION DU NIVEAU D'EAU DANS HUIT ZONES DU DELTA INTERIEUR DU NIGER

La présente annexe décrit le débit et la superficie en fonction du niveau d'eau dans huit zones, ainsi que présentés à la Fig. 3.13. Les paramètres fournis dans

l'annexe ont été calculés par Passchier et al. (2004) afin d'obtenir le bilan hydrique du Delta intérieur.

Tableau IV.1 Principaux paramètres qui sous-tendent le modèle de bilan hydrique de huit zones du Delta intérieur du Niger.

Débit, m^3/s	Niveau d'eau, m	Largeur, m	Surface, ha	Débit, m^3/s	Niveau d'eau, m	Largeur, m	Surface, ha
Kouakourou (15 km)				Mopti (50 km)			
0,0	266,32	9.833	14.749	0,0	260,12	722	3.608
23,9	266,35	10.451	15.677	4,9	260,20	760	3.800
135,8	266,47	13.339	20.009	27,6	260,54	936	4.679
320,7	266,61	18.097	27.145	63,4	260,95	1.214	6.069
571,6	266,76	24.550	36.825	109,8	261,37	1.574	7.871
911,9	266,91	33.306	49.958	170,1	261,79	2.042	10.208
2.024,9	267,20	61.297	91.945	352,6	262,62	3.434	17.169
4.073,2	267,50	112.812	169.218	659,6	263,45	5.776	28.879
7.843,1	267,79	207.623	311.435	1.176,0	264,29	9.715	48.576
14.781,2	268,08	382.116	573.174	2.044,5	265,12	16.341	81.706
27.550,3	268,38	703.258	1.054.887	3.505,5	265,95	27.486	137.432
51.050,9	268,67	1.294.298	1.941.447	5.962,8	266,79	46.233	231.165
Upper Diaka (100 km)				Bouna (70 km)			
0,0	267,16	265	2.652	0,0	258,38	297	2.080
1,8	267,24	290	2.896	3,1	258,51	315	2.204
11,2	267,58	412	4.119	17,3	259,01	397	2.779
28,7	267,99	639	6.395	40,5	259,63	531	3.714
55,9	268,41	993	9.929	71,5	260,26	709	4.964
98,2	268,83	1.542	15.417	112,9	260,88	948	6.634
273,5	269,66	3.717	37.170	244,9	262,13	1.693	11.849
696,1	270,49	8.961	89.613	480,7	263,38	3.023	21.162
1.714,9	271,33	21.605	216.047	901,8	264,63	5.399	37.796
4.171,3	272,16	52.087	520.867	1.654,0	265,88	9.644	67.506
10.093,4	272,99	125.576	1.255.758	2.997,4	267,13	17.224	120.568
24.371,0	273,83	302.751	3.027.508	5.396,7	268,38	30.763	215.339

Débit, m ³ /s	Niveau d'eau, m	Largeur, m	Surface, ha	Débit, m ³ /s	Niveau d'eau, m	Largeur, m	Surface, ha
Lower Diaka (50 km)				Akka (40 km)			
0,0	258,38	232	1.158	0,0	258,38	3.755	15.019
0,8	258,42	259	1.294	24,9	258,46	4.344	17.375
5,0	258,58	403	2.017	162,8	258,76	6.863	27.450
13,9	258,78	703	3.513	428,1	259,15	10.377	41.509
29,3	258,98	1.224	6.119	807,7	259,53	14.299	57.194
56,1	259,18	2.132	10.659	1.314,2	259,92	18.627	74.507
193,7	259,58	6.469	32.344	2.764,4	260,69	28.503	114.013
611,3	259,98	19.628	98.142	4.872,4	261,46	40.007	160.026
1.878,3	260,38	59.560	297.798	7.738,3	262,23	53.137	212.547
5.722,8	260,78	180.725	903.625	11.462,4	263,00	67.894	271.577
17.388,6	261,18	548.384	2.741.920	16.144,6	263,76	84.278	337.113
52.786,6	261,58	1.663.994	8.319.970	21.885,1	264,53	102.290	409.158
Mayo Kotia (84 km)				Diré South (175 km)			
0,0	260,12	199	1.668	0,0	256,85	114	1.991
0,8	260,17	218	1.829	3,1	257,18	120	2.095
5,1	260,37	315	2.642	17,3	258,52	147	2.569
13,2	260,62	498	4.185	39,7	260,18	189	3.315
26,1	260,87	789	6.629	68,7	261,85	244	4.278
46,5	261,12	1.250	10.501	106,0	263,52	315	5.521
134,2	261,62	3.137	26.351	218,1	266,85	525	9.194
354,4	262,12	7.872	66.122	404,8	270,18	875	15.311
906,9	262,62	19.752	165.920	715,8	273,52	1.457	25.498
2.293,2	263,12	49.564	416.341	1.233,5	276,85	2.426	42.461
5.771,9	263,62	124.372	1.044.721	2.095,8	280,18	4.041	70.710
14.501,1	264,12	312.084	2.621.509	3.531,7	283,52	6.729	117.752

APPENDICE V DELTA INTÉRIEUR (NIVEAU D'EAU, ZONE D'INONDATION), DÉBIT FLUVIAL ET L'UTILISATION DE L'EAU

Cette annexe présente les principales données relatives au niveau d'inondation maximal et à la superficie des zones inondables du Delta intérieur, au débit fluvial du Niger et du Bani, ainsi qu'à l'utilisation de l'eau par Sélingué et l'Office du Niger.

V.1. Tendances historiques

Les colonnes du Tableau V.1 ont trait aux points ci-après:

- **Colonne A:** l'année. Si dans une autre colonne il est fait état de l'année hydrologique (1^{er} mai-30 avril), 1956 correspond à 1956-57, etc.
- **Colonne B:** la date à laquelle le niveau d'eau maximal a été atteint à Mopti; lorsque ce même niveau maximum a été atteint à plusieurs dates différentes, la première a été choisie.
- **Colonne C:** le niveau d'eau maximal sur la jauge de Mopti (260,92 m IGN).
- **Colonne D:** comme à la colonne B, sauf pour Akka.
- **Colonne E:** comme à la colonne C, sauf pour Akka (258,38 m IGN).
- **Colonnes F-K:** le pourcentage de l'inondation pendant l'année hydrologique calculé pour tous les relévés de niveau d'eau journalières à Akka de 1976 à 2004. Quelques données manquantes ont été estimées à partir des relévés d'eau au niveau de la station proche de Niafunké trois jours après.
- **Colonne L:** la superficie inondée maximale, à partir du niveau d'eau maximal à Akka (colonne E), en utilisant la fonction suivante:

$$\text{km}^2 = 0,000075 \cdot \text{cm}^3 - 0,01145 \cdot \text{cm}^2 + 14,9106 \cdot \text{cm} + 993,6$$
où:
 km^2 = superficie de la zone inondée,
 cm = niveau d'eau à Akka
- **Colonne M:** la hauteur moyenne des pluies au niveau de 11 stations situées à l'intérieur et autour du Delta intérieur (voir Fig. 2.5).
- **Colonnes N-P:** le débit mensuel du fleuve (m³/s) à Ké-Macina en août, septembre et octobre. Les données pour les deux dernières années n'étaient pas encore disponibles et ont été estimées sur la base du débit fluvial mesuré à Koulikoro moins le volume d'eau prélevé à Markala par l'ON, en utilisant la fonction suivante:

$$\text{Ké-Macina} = 0,9222 \cdot (\text{Koulikoro} - \text{ON}) + 15,714$$

- **Colonnes Q-S:** Débit fluvial mensuel (m³/s) à Douna en août, septembre et octobre.
- **Colonnes T-V:** le volume d'eau prélevé du fleuve par l'Office du Niger (voir également Annexe III). Aucune donnée n'était disponible avant 1987; pour ces années, une valeur moyenne a été utilisée. Les informations non disponibles sont indiquées en rouge.
- **Colonnes W-Y:** la différence entre courant de déversement et courant de débordement au niveau du réservoir de Sélingué (voir également Annexe II). Etant donné que les données relatives à l'année précédente n'étaient pas disponibles, la valeur moyenne pour les cinq années antérieures a été utilisée à titre d'estimation.

V.2. Scénarios

Le Tableau V.2 présente le niveau d'inondation maximal prévu et la superficie inondée à l'heure actuelle (scénario 2), ainsi que le scénario 0 («sans l'ON & Sél»), le scénario 1 («sans l'ON et avec Sél»), et le scénario 3 («situation actuelle + Fomi»). Les colonnes ont trait aux points ci-après:

- **Colonne A:** l'année.
- **Colonnes B-D:** le débit fluvial mensuel (m³/s) à Douna + Ké-Macina en août, septembre et octobre.
- **Colonnes E-H:** le niveau d'eau maximal à Akka. Les niveaux pour les scénarios «sans l'ON & Sél», «sans l'ON & avec Sél» et «situation actuelle + Fomi» ont été calculés en utilisant une série d'équations de régression liées (voir explication ci-dessous). Le niveau indiqué pour la «situation actuelle» découle de mesures exactes.
- **Colonnes I-L:** la superficie inondée maximale, calculée à partir du niveau d'eau indiqué aux colonnes B à E, en utilisant l'équation suivante:

$$\text{km}^2 = 0,00007 \cdot \text{cm}^3 - 0,0032 \cdot \text{cm}^2 + 13,408 \cdot \text{cm} + 1044,2$$
où:
 km^2 = superficie inondée,
 cm = niveau d'eau à Akka, indiqué aux colonnes E à H.

V.3. Impact de la réduction du débit fluvial sur la zone inondable à Akka

Les données fournies au Tableau V.1 de la présente annexe servent à calculer le niveau d'eau moyen à Akka en octobre, en faisant la somme des débits fluviaux à Ké-Macina et à Douna en septembre. La fonction utilisée est la suivante:

$$cm = \exp(\ln(\text{débit fluvial}) * 0,341 + 3,182),$$

où:

$$cm = \text{niveau d'eau à Akka en octobre},$$

débit fluvial = somme des débits à Ké-Macina et Douna en septembre.

Pour la situation actuelle, la somme des débits fluviaux à Ké-Macina + Douna a été calculée. Le niveau d'eau prévu au titre du scénario «sans l'ON & avec Sél» correspond à cette somme (colonnes N à S du Tableau V.1) moins le volume d'eau utilisé par l'ON (colonnes T à V du Tableau V.1), tandis que pour le scénario «sans l'ON & Sél», il correspond à la somme (colonnes N à S) moins le volume total d'eau utilisé par l'ON et Sélingué (colonnes N à Y). Le niveau d'eau prévu au titre du scénario avec Fomi («situation actuelle + Fomi») correspond au débit fluvial actuel plus la différence entre le courant de déversement et le courant de débordement à Sélingué (colonnes W à Y) multiplié par 2,9.

De la même manière, le niveau d'eau à Akka en novembre est calculé à partir de la somme des débits fluviaux à Ké-Macina et Douna, en utilisant plutôt l'équation suivante:

$$cm = \exp(2,775 + 0,164 * \ln(\text{débit-oct.}) + 0,173 * \ln(\text{débit-sept.}) + 0,066 * \ln(\text{débit-août})),$$

où:

$$cm = \text{niveau d'eau à Akka en novembre},$$

débit-oct. = la somme des débits mensuels à Ké-Macina et Douna en octobre,

débit-sept. = même débit-oct. pour septembre et débit-août = même

débit-oct. pour août.

Le niveau d'eau en novembre est multiplié par le pourcentage de la superficie prévue dans un scénario donné et de la superficie prévue dans la superficie actuelle pour calculer la superficie inondée maximale (colonnes E, F et H, Tableau V.2). Dans la mesure où le niveau d'eau maximal est atteint en octobre ou novembre (colonne G), la différence entre la moyenne prévue en novembre et le maximum qui en est déduit est peu significative.

Afin de vérifier les calculs, le niveau d'eau maximal

est également calculé pour le niveau d'eau prévu en octobre. L'écart entre le niveau maximum déduit des séries de novembre est infime et pour la plupart des années, il ne diffère que de quelques centimètres. Le niveau prévu pour novembre a été utilisé pour calculer le niveau d'eau maximal, dans la mesure où le niveau d'eau à Akka est plus souvent à son maximum en novembre qu'en octobre.

Tableau V.1. Niveau d'inondation maximal et superficie inondable, débit fluvial du Niger et du Bani, et consommation d'eau de Sélingué et de l'Office du Niger.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L M	
											DELTA INTERIEUR DU NIGER	pluvio-métrie annuelle
MOPTI			AKKA								DELTA INTERIEUR DU NIGER	
niveau d'eau maximum			durée d'inondation (%) aux différents niveaux d'eau								inondation maximum	pluvio-métrie annuelle
year	date	cm	date	cm	500cm	400cm	300cm	200cm	100cm	0cm	km ²	mm
1956	29-oct	686	2-déc	553	21,0	40,4	53,6	64,5	78,7	100,0	18421	523
1957	18-nov	730	16-déc	625	36,6	54,6	66,1	75,7	81,4	100,0	24151	601
1958	1-nov	707	11-déc	575	28,4	49,2	65,0	75,7	92,9	100,0	20040	530
1959	31-oct	691	10-déc	570	23,8	42,9	55,2	65,0	74,6	100,0	19662	547
1960	1-nov	691	3-déc	580	25,7	44,3	57,1	67,5	77,0	89,9	20423	474
1961	1-nov	694	26-nov	550	19,9	36,9	48,6	59,3	68,9	80,1	18209	524
1962	4-nov	702	12-déc	590	28,4	47,0	60,1	70,2	79,5	88,3	21209	474
1963	16-nov	680	8-déc	558	20,5	40,2	52,7	63,4	70,8	98,6	18779	513
1964	3-nov	717	1-déc	587	25,1	39,9	51,4	64,5	81,4	87,7	20970	544
1965	1-nov	684	30-nov	564	21,0	41,5	53,0	63,1	76,2	93,7	19216	548
1966	9-nov	686	30-nov	543	17,2	35,5	47,8	59,0	74,3	82,5	17722	403
1967	11-nov	720	4-déc	602	28,1	45,6	57,7	67,5	76,0	83,9	22183	488
1968	25-oct	651	29-nov	521	10,1	35,8	49,7	63,4	74,9	93,2	16261	443
1969	1-nov	684	12-déc	586	27,3	46,2	57,4	66,1	74,3	83,3	20892	438
1970	22-oct	666	29-nov	510	4,1	30,9	43,4	52,2	62,0	81,1	15569	406
1971	20-oct	651	19-nov	510	7,7	29,8	43,4	53,6	62,0	71,3	15569	432
1972	7-oct	565	8-nov	445	0,0	18,6	37,4	53,6	64,5	77,9	11971	368
1973	3-oct	568	27-oct	425	0,0	13,9	31,4	41,0	48,4	68,3	11020	337
1974	18-oct	650	19-nov	519	7,9	30,9	47,0	54,1	59,8	67,2	16133	385
1975	26-oct	663	23-nov	529	12,6	33,6	46,7	56,8	66,1	79,8	16780	470
1976	21-nov	623	16-déc	504	3,3	33,6	48,9	60,1	70,8	86,6	15202	452
1977	10-oct	566	7-nov	421	0,0	10,7	29,0	42,1	53,0	71,3	10838	458
1978	22-oct	620	18-nov	486	0,0	28,4	43,4	55,5	66,1	78,1	14145	452
1979	6-oct	638	12-nov	507	5,7	31,1	44,0	53,8	65,0	76,8	15384	449
1980	9-oct	592	30-oct	442	0,0	13,9	32,8	43,2	53,8	69,7	11823	460
1981	15-oct	628	2-nov	468	0,0	24,0	38,3	48,4	61,7	81,4	13152	369
1982	29-sep	551	23-oct	406	0,0	6,0	29,8	43,4	56,0	77,9	10179	296
1983	14-oct	507	27-oct	380	0,0	0,0	22,7	39,9	51,4	70,5	9122	339
1984	19-oct	440	30-oct	336	0,0	0,0	14,2	32,2	45,4	70,2	7556	295
1985	13-oct	571	3-nov	433	0,0	11,7	29,5	40,4	50,3	71,9	11392	375
1986	8-oct	534	29-oct	388	0,0	0,0	23,0	34,4	47,3	80,3	9436	420
1987	17-oct	481	9-nov	359	0,0	0,0	20,8	35,5	46,4	85,8	8341	312
1988	8-oct	571	23-oct	429	0,0	12,0	28,1	39,6	49,7	74,0	11204	453
1989	5-oct	517	2-nov	388	0,0	0,0	22,7	35,8	45,6	77,3	9436	408
1990	9-oct	510	1-nov	374	0,0	0,0	24,9	39,1	49,7	80,1	8892	373
1991	5-oct	530	31-oct	397	0,0	0,0	29,0	41,5	52,5	86,3	9801	465
1992	7-oct	538	26-oct	387	0,0	0,0	23,8	39,6	51,9	88,5	9396	333
1993	6-oct	498	31-oct	376	0,0	0,0	25,1	39,1	51,9	93,4	8968	373
1994	28-oct	655	1-déc	534	16,1	34,4	48,4	59,8	70,5	87,4	17111	558
1995	24-oct	614	19-nov	485	0,0	23,5	38,8	48,9	60,7	100,0	14088	346
1996	17-oct	595	11-nov	443	0,0	16,4	35,2	45,9	55,5	94,5	11872	432
1997	13-oct	580	10-nov	436	0,0	14,8	34,7	47,0	58,7	90,7	11534	274
1998	25-oct	639	19-nov	486	0,0	24,9	38,3	50,0	61,2	100,0	14145	422
1999	26-oct	662	23-nov	511	8,7	32,0	44,5	53,8	62,0	89,3	15631	522
2000	23-oct	608	22-nov	465	0,0	22,1	39,9	52,5	62,6	98,9	12992	412
2001	19-oct	621	15-nov	470	0,0	23,0	39,6	51,4	62,8	100,0	13259	
2002	8-oct	538	1-nov	411	0,0	8,5	30,3	41,8	53,0	90,7	10395	
2003	16-oct	649	13-nov	496	0,0	29,5	46,2	55,7	65,6	90,7	14709	

APPENDICE VI PRODUCTION HALIEUTIQUE

Cette annexe présente des données de base sur la production halieutique comprenant le poisson frais et le poisson transformé (séché + fumé), la part destinée à l'autoconsommation, au commerce informel local dans le Delta intérieur et au commerce à Mopti (voir Tableau VI.2). Le Tableau VI.1 indique la production totale moyenne de poisson transformé et de poisson frais (kg/an) par pêcheur (actif ou non actif). La production totale représente la somme de la quantité vendue sur le marché (sous la rubrique «commerce»), l'autoconsommation et le commerce local. L'autoconsommation de poisson transformé est estimée à 7,20 kg/an/pêcheur et la part réservée au commerce

local à 12,96 kg/an/pêcheur. L'autoconsommation de poisson frais est estimée à 27,92 kg/an et le commerce local à 34,56 kg/an/pêcheur. Ces estimations sont obtenues en divisant la production totale (Tableau 5.3) par le nombre de pêcheurs, tel que réévalué dans le rapport (voir le texte du Chapitre 5). Le tableau indique également la quantité vendue en tant que pourcentage de la production totale. La dernière colonne indique le niveau maximum d'eau à Akka (cm) au titre de l'année précédente. Pour convertir les données en production par pêcheur actif ou par famille (généralement l'unité économique), tous les chiffres relatifs à la production doivent être multipliés par 3,57 ou par 10.

Tableau VI.1 Production totale moyenne (kg/an) de poisson transformé et de poisson frais par pêcheur (actif ou non actif). Source: OPM- rapports annuels.

An	poisson sec		poisson frais		TOTAL	% commerce		Akka	
	commerce	total	commerce	total		sec	frais	total	cm
1977	67,32	87,48	4,03	66,51	350,84	76,96	6,45	63,52	504
1978	50,68	70,84	2,81	65,29	295,54	71,54	4,50	56,69	421
1979	61,30	81,46	1,95	64,43	329,18	75,25	3,12	61,12	486
1980	66,01	86,17	2,25	64,73	344,80	76,61	3,61	62,88	507
1981	47,02	67,18	1,54	64,02	282,34	69,99	2,46	54,66	442
1982	43,52	63,68	2,02	64,50	271,47	68,34	3,24	52,85	468
1983	25,78	45,94	2,24	64,72	214,04	56,12	3,59	40,20	406
1984	16,25	36,41	2,63	65,11	183,46	44,64	4,21	30,23	380
1985	15,35	35,51	1,07	63,55	178,96	43,23	1,71	28,48	336
1986	24,62	44,78	1,40	63,88	209,43	54,98	2,24	38,88	433
1987	17,14	37,30	0,98	63,46	184,67	45,95	1,56	30,69	388
1988	17,18	37,34	0,84	63,32	184,68	46,01	1,34	30,69	359
1989	21,76	41,92	0,79	63,27	199,52	51,91	1,27	35,85	429
1990	19,83	39,99	0,74	63,22	193,18	49,58	1,18	33,74	388
1991	17,29	37,45	0,94	63,42	185,15	46,18	1,51	30,87	374
1992	15,27	35,43	1,37	63,85	179,00	43,10	2,19	28,49	397
1993	11,64	31,80	2,87	65,35	168,71	36,61	4,60	24,13	387
1994	9,23	29,39	4,65	67,13	162,64	31,40	7,44	21,30	376
1995	60,65	80,81	13,22	75,70	338,34	75,05	21,16	62,17	534
1996	46,13	66,29	18,51	80,99	296,42	69,59	29,63	56,82	485
1997	35,50	55,66	11,11	73,59	254,49	63,78	17,79	49,70	443
1998	31,33	51,49	8,69	71,17	234,38	60,84	13,91	46,08	436
1999	27,39	47,55	9,62	72,10	222,84	57,60	15,39	43,28	486
2000	35,46	55,62	12,18	74,66	250,97	63,75	19,50	49,64	511
2001	29,46	49,62	9,21	71,69	229,00	59,37	14,75	44,81	465
2002	32,41	52,57	6,75	69,23	235,86	61,65	10,80	46,41	470
2003	19,95	40,11	1,94	64,42	191,56	49,74	3,10	34,02	411

Tableau VI.2. Production annuelle (tonnes) de poisson transformé et de poisson frais, indiquée séparément pour le commerce (enregistrée et totale) et la consommation locale par les populations du Delta intérieur (autoconsommation des pêcheurs et commerce avec les autres populations locales du Delta). La production totale (dernière colonne) est exprimée en poids frais, en utilisant le multiplicateur de 3,25 (ou 3,17 pour les dernières années) pour convertir le poids du poisson transformé en poids frais. Source: OPM- rapports annuels.

An	poisson sec (fumé + séché)					poisson frais					sec + frais		
	commerce		consommation locale			total	commerce		consommation locale			total	
	enregistré	total	pêcheurs	non-pêch.	total		total	actifs	non-actifs	non-pêch.			
1977	7706,141	13713,386	1466,565	2639,816	4106,381	17819,767	820,867	3030,900	2656,112	7039,511	12726,523	13547,390	71461,634
1978	5859,436	10427,101	1481,230	2666,215	4147,445	14574,546	578,995	3061,209	2682,673	7109,906	12853,788	13432,783	60800,057
1979	7157,681	12737,380	1496,043	2692,877	4188,920	16926,299	404,659	3091,822	2709,500	7181,005	12982,326	13386,985	68397,458
1980	7784,976	13853,676	1511,003	2719,806	4230,809	18084,485	472,727	3122,740	2736,595	7252,815	13112,149	13584,876	72359,453
1981	5600,084	9965,573	1526,113	2747,004	4273,117	14238,690	326,116	3153,967	2763,961	7325,343	13243,271	13569,387	59845,131
1982	5235,650	9317,049	1541,374	2774,474	4315,848	13632,897	432,959	3185,507	2791,600	7398,597	13375,704	13808,663	58115,577
1983	3132,824	5574,986	1556,788	2802,219	4359,007	9933,992	484,357	3217,362	2819,516	7472,583	13509,461	13993,818	46279,293
1984	1994,652	3549,563	1572,356	2830,241	4402,597	7952,160	574,534	3249,536	2847,711	7547,309	13644,556	14219,090	40063,609
1985	1894,389	3386,258	1588,080	2858,543	4446,623	7832,881	235,808	3282,031	2876,189	7622,782	13781,002	14016,810	39473,673
1986	3318,427	5485,758	1603,960	2887,129	4491,089	9976,847	312,439	3314,851	2904,950	7699,010	13918,812	14231,251	46656,004
1987	2431,169	3855,640	1620,000	2916,000	4536,000	8391,640	219,986	3348,000	2934,000	7776,000	14058,000	14277,986	41550,815
1988	2462,157	3904,784	1636,200	2945,160	4581,360	8486,144	190,141	3381,480	2963,340	7853,760	14198,580	14388,721	41968,689
1989	3149,454	4994,782	1652,562	2974,612	4627,174	9621,956	182,145	3415,295	2992,973	7932,298	14340,566	14522,711	45794,067
1990	2898,226	4596,355	1669,088	3004,358	4673,445	9269,800	171,246	3449,448	3022,903	8011,621	14483,971	14655,217	44782,067
1991	2553,293	4049,318	1685,778	3034,401	4720,180	8769,498	220,608	3483,942	3053,132	8091,737	14628,811	14849,419	43350,288
1992	2277,465	3611,877	1702,636	3064,745	4767,382	8379,259	322,885	3518,782	3083,663	8172,654	14775,099	15097,984	42330,576
1993	1753,232	2780,486	1719,663	3095,393	4815,055	7595,541	686,204	3553,969	3114,500	8254,381	14922,850	15609,054	40294,563
1994	1403,911	2226,491	1736,859	3126,347	4863,206	7089,696	1121,067	3589,509	3145,645	8336,924	15072,079	16193,146	39234,659
1995	9317,716	14777,152	1754,228	3157,610	4911,838	19688,990	3221,304	3625,404	3177,102	8420,294	15222,800	18444,104	82433,322
1996	7157,308	11350,918	1771,770	3189,186	4960,956	16311,874	4554,949	3661,658	3208,873	8504,497	15375,028	19929,977	72943,568
1997	5563,526	8823,307	1789,488	3221,078	5010,566	13833,873	2761,965	3698,275	3240,961	8589,542	15528,778	18290,743	63250,830
1998	4958,277	7863,431	1807,383	3253,289	5060,672	12924,102	2181,522	3735,258	3273,371	8675,437	15684,066	17865,588	58834,992
1999	4379,073	6944,859	1825,457	3285,822	5111,278	12056,138	2437,752	3772,610	3306,105	8762,191	15840,906	18278,658	56496,615
2000	5724,962	9079,332	1843,711	3318,680	5162,391	14241,723	3119,958	3810,336	3339,166	8849,813	15999,315	19119,273	64265,535
2001	4805,029	7620,392	1862,148	3351,867	5214,015	12834,407	2383,222	3848,440	3372,557	8938,311	16159,308	18542,530	59227,599
2002	5337,462	8464,788	1880,770	3385,385	5266,155	13730,943	1762,560	3886,924	3406,283	9027,695	16320,902	18083,462	61610,551
2003	3318,633	5263,086	1899,577	3419,239	5318,817	10581,903	511,591	3925,793	3440,346	9117,972	16484,111	16995,702	50540,335

APPENDICE VII LE CHEPTEL DANS LES RÉGIONS DE SÉGOU, MOPTI ET TOMBOUCTOU

L'analyse au Chapitre 7 repose sur les recensements annuels des bovins, ovins et caprins dans les régions de Mopti et Tombouctou. Les données originales pour ces régions, ainsi que pour la région de Ségou, sont indi-

quées dans le présent Appendice. Le Chapitre 7 (Section 7.3 – Disponibilité de données) décrit la manière dont les séries ont été compilées.

Tableau VII.1. Nombre d'animaux au fil du temps (en millions).

An	Mopti		Ségou		Tombouctou	
	Bovins	Moutons & chèvres	Bovins	Moutons & chèvres	Bovins	Moutons & chèvres
1982	1,86	2,63	0,74	0,00	0,96	3,40
1983	1,56	3,07	0,72	0,00	0,77	2,46
1984	1,76	3,09	0,60	1,30	0,63	2,28
1985	0,00		0,56	1,31	0,51	2,01
1986	0,82		0,58	1,27	0,38	2,21
1987	0,85	2,51	0,55	1,15	0,31	1,84
1988	0,90	2,60	0,65	1,30	0,32	1,93
1989	0,93	2,94	0,67	1,34	0,33	1,98
1990	0,95	2,98	0,67	1,42	0,33	2,10
1991	1,01	3,27	0,74	1,59	0,47	2,51
1992	1,14	2,59	0,77	1,67	0,48	2,64
1993			0,79	1,75	0,49	2,73
1994	1,24	2,89	0,81	1,84	0,51	2,87
1995			0,84	1,93	0,52	3,01
1996			0,86	2,03	0,54	3,16
1997	1,28	3,03	0,89	2,13	0,47	2,51
1998	0,00		0,91	2,24	0,57	3,49
1999	1,34	3,27	0,94	2,35	0,59	3,66
2000	1,38	3,44				
2001	1,38	3,44				

Source: Direction Générale de l'Élevage/Bamako, DRAMR/Mopti, Ségou et Tombouctou

APPENDICE VIII ESTIMATION DE LA DENSITÉ ET DE LA POPULATION TOTALE DES OISEAUX D'EAU DANS LE DELTA INTÉRIEUR DU NIGER

Introduction

A partir d'un avion volant à basse altitude et dito vitesse, il est facile d'observer les concentrations d'oiseaux dans le Delta Intérieur du Niger. Ceci permet à un ornithologue avisé d'évaluer le nombre des oiseaux. Par avion, il faut environ 2 à 3 jours pour couvrir la totalité du Delta Intérieur du Niger et obtenir une approximation du nombre total des espèces d'oiseaux d'eau de taille substantielle et bien visible, notamment les *Anatidae* (oies et canards) et les *Ardeidae* (hérons et aigrettes). Cette méthode n'est pas adaptée pour les espèces de petite taille (Girard & Thal 1999, 2000, 2001, van der Kamp et al. 2002).

Une méthode alternative de recensement pour les vastes zones humides telles que le Delta Intérieur comprend les recensements au sol menés dans une sélection de zones représentatives. En ce qui concerne le Delta Intérieur du Niger, les données des recensements systématiques d'oiseaux effectués au cours des 13 dernières années sont à présent disponibles, pour les lacs du Centre (Lac Debo-Walado, Korientzé; voir notamment van der Kamp et al. 2002; Chapitre 9), d'une superficie de 460 km². Cette zone ne constitue, cependant, pas un échantillon représentatif des plaines inondables du Delta Intérieur du Niger. Toutefois, bien qu'elle ne couvre qu'environ 2 % de la superficie totale des plaines inondables, elle recèle 70 % de toutes les eaux du Delta Intérieur du Niger, lorsque le niveau d'eau est de 0 cm à Akka. Tant que le niveau d'eau est inférieur à 300 cm, la zone de recensement couvre encore près de 20 % des plans d'eau du Delta Intérieur du Niger (Fig. VIII.1). La zone de dépression des lacs Debo-Walodo-Korientzé constitue celle où la plupart des oiseaux aquatiques y sont concentrés lorsqu'il n'existe plus d'eau ailleurs dans le Delta Intérieur du Niger (hormis l'eau stagnante dans certains lacs permanents). Même pendant une décrue de moins de 200 cm à Akka, les effectifs d'oiseaux d'eau dans le Delta Intérieur du Niger demeurent stables, en raison de la concentration accrue dans les lacs du Centre. Ainsi, bien que la zone de recensement ne soit pas représentative de l'ensemble du Delta Intérieur du Niger, les recensements effectués aux niveaux moins élevés de décrue peuvent encore être utilisés afin d'assurer de façon relativement simple un suivi fiable des oiseaux aquatiques.

Il faut 5 à 7 jours pour effectuer un recensement systématique de la soixantaine d'espèces d'oiseaux que compte la zone des lacs du Centre. Aucun effort n'a été

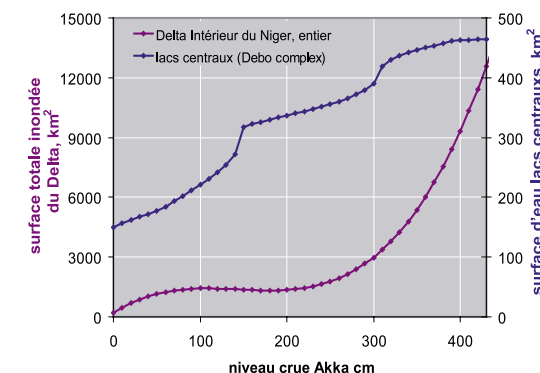


Fig. VIII.1. Superficie inondée de l'ensemble du Delta Intérieur du Niger et au niveau des lacs du Centre (notamment la zone de recensement; voir Fig. VIII.6) en fonction du niveau d'eau à Akka (cm).

déployé afin de corriger la sous-estimation des espèces qui vivent dissimulées ou qui peuvent être facilement omises. Par ailleurs, les espèces de petite taille telles que la Bergeronnette printanière et autres passereaux n'ont jamais été recensées. Afin de couvrir également ces espèces, une autre méthode de recensement a été adoptée, à savoir le recensement complet au niveau de petites parcelles de taille connue. L'importante variation de la densité aviaire, la possibilité que de nombreux échantillons ne comportent aucun oiseau d'eau et les problèmes d'ordre logistique ont milité contre l'échantillonnage randomisé pour un grand nombre de parcelles. En revanche, l'échantillonnage stratifié a été retenu en tant que méthode de recensement appropriée dans le Delta Intérieur du Niger. Le recensement des oiseaux d'eau a été effectué dans des types de végétation spécifiques, à différentes profondeurs d'eau. La carte de la végétation (Chapitre 6) a été utilisée afin de déterminer la superficie des principaux types d'habitat, notamment le bourgou et les rizières. Pour chaque niveau de crue, le modèle d'inondation numérisé (Chapitre 3) a permis de calculer la superficie totale de la zone inondée. En combinaison avec la carte de végétation, la superficie des pâturages de bourgou, des rizières et des autres habitats situés dans les zones sèches et à des niveaux d'eau de 10, 20, ... 500 cm ont pu être déterminées par la suite. L'échantillonnage stratifié dans chacun de ces habitats et les niveaux d'eau permet de calculer une densité aviaire

moyenne par habitat. Ces chiffres ont permis de faire une approximation du nombre total d'oiseaux d'eau dans l'ensemble du Delta Intérieur du Niger.

Méthodes

Les méthodes de recensement sont amplement décrites par van der Kamp *et al.* (2005). En ce qui concerne le présent chapitre, il s'agit tout simplement d'analyser un échantillonnage de parcelles, car celui-ci constitue la base du calcul du nombre total d'oiseaux dans le Delta Intérieur du Niger.

Afin que l'échantillonnage stratifié des parcelles soit une réussite, la taille précise des parcelles doit être connue et tous les oiseaux d'eau présents doivent être répertoriés. La longueur et la largeur des parcelles ont été mesurées à l'aide d'un "range finder" (jumelles avec lesquelles on peut mesurer des distances), ou calculées à partir des marquages GPS aux angles des parcelles (cette dernière méthode a été vérifiée par la mesure et les étapes de recensement sur le terrain). Ceci a permis de calculer la superficie des parcelles. Le type d'habitat, la hauteur de la végétation, la densité de la végétation et la profondeur de l'eau ont été enregistrés pour chaque parcelle sur des formulaires imprimés à l'avance.

La méthode de recensement reposait sur l'hypothèse selon laquelle tous les oiseaux d'eau dans les parcelles devaient être enregistrés. Afin de répondre à ce critère, plusieurs techniques ont été adoptées. Aux cas relevantes celles-ci ont été accompagnées de cris, de battements des mains et de jets de mottes de terre dans la végétation afin de s'assurer que tous les oiseaux s'étaient envolés et avaient été enregistrés. Pour ce faire a) 2 ou 3 personnes parcourent des transects parallèles avec un intervalle de 20 à 50 m (selon la densité/hauteur de la végétation) afin d'assurer la couverture totale; b) un observateur traverse les parcelles en croisillon, tandis qu'un autre se tenait sur le côté, observait et prenait note sur les oiseaux; c) les observateurs ont encerclé de petites parcelles et poussé les oiseaux à s'envoler en faisant du bruit et en jetant des mottes de terre et d) des transects ont été parcourus en pirogue dans les eaux dont la profondeur dépassait 1 m, en utilisant des bandes d'observation de largeur variable (20->100 m) pour les différentes espèces d'oiseaux d'eau (de toute évidence, une Grande Aigrette peut encore être identifiée à plus de 100 m, mais pour une bécassine, il est nécessaire de s'en approcher davantage).

Pendant l'échantillonnage des parcelles, l'on a gardé



Fig. VIII.2. Répartition de 613 sites où les recensements de la densité des oiseaux sur différentes parcelles ont été effectués.

un œil sur les champs voisins, car il n'était pas rare que les oiseaux que l'on faisait sortir se limitent à la parcelle adjacente. Afin d'assurer la fiabilité du recensement des oiseaux du même voisinage, il s'est avéré nécessaire de procéder au suivi des oiseaux que l'on venait de faire sortir. Ceci était plutôt facile, dans la mesure où le Delta Intérieur du Niger est une surface plane où l'on peut voir sur une longue distance. Une fois qu'une zone donnée avait été passée au peigne fin par l'équipe (ou les

équipes) de recensement, celle(s)-ci se déplaça(en)t en silence des centaines de mètres plus loin, sans recenser, afin de reprendre l'échantillonnage des parcelles dans une zone où tous les oiseaux étaient encore présents.

Pour chaque parcelle, une évaluation subjective a été faite pour savoir si tous les oiseaux d'eau présents avaient été recensés ou non. Les derniers chiffres n'ont pas été utilisés pour le calcul des densités aviaires par habitat.

Tous les recensements fondés sur la densité ont été effectués entre le 1^{er} novembre et le 15 mars 2001-02 et 2002-03. Au total, 612 recensements ont été effectués, dont la plupart près des lacs du Centre. Les autres sites visités étaient situés à Mopti et dans ses environs, à Pora au Sud et dans la zone du lac Télé – dans l'extrême Nord (Fig. VIII.2).

Le nombre total des oiseaux d'eau dans le Delta Intérieur du Niger peut être estimé en multipliant la densité moyenne d'oiseaux (nombres par km²) par la superficie totale de la zone. La superficie de la zone d'inondation du Delta Intérieur du Niger varie entre 8 000 et 25 000 km² (Chapitre 3.7). Afin d'améliorer l'estimation, la zone d'inondation a été répartie en 14 types de végétation (Chapitre 6), où les oiseaux sont recensés grâce à l'échantillonnage stratifié de parcelles. Dans l'analyse finale, les 14 types de végétation ont été ramenés à 6 principaux types. Le bourgou, le didéré, le poro (tous des noms locaux) et le nénuphar ont été regroupés sous le nom «bourgoutière». Trois types de terres herbeuses ont été regroupés également, tandis que 5 autres types de végétation (dénomination locale) que l'on rencontre uniquement dans les eaux stagnantes (kouma, loubou, horia, garsa, daroun) ont été désignés «stagnants». La plupart des recensements par parcelle ont été effectués dans la bourgoutière, les champs de riz sauvage, les rizières cultivées et sur les zones herbeuses.

Etant donné que la densité des oiseaux d'eau variait non seulement selon le type de végétation, mais également en fonction de la profondeur des eaux, celle-ci a été enregistrée régulièrement pour chaque parcelle. La combinaison du modèle d'élévation numérisé (Chapitre 3.5) et la carte de végétation (Chapitre 6) ont permis de calculer la superficie par catégorie de profondeur d'eau, séparément pour chaque type de végétation. Malheureusement, sur la base du modèle d'inondation, aucune distinction n'a pu être établie entre la catégorie «terres humides» et la catégorie «zones sèches». A sup-

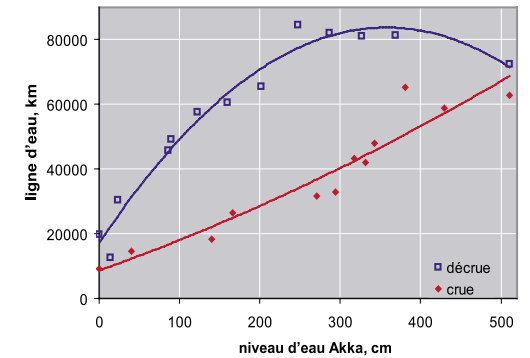


Fig. VIII.3. Longueur de la ligne des eaux en fonction du niveau d'eau à Akka (cm) pendant la crue et la décrue. La longueur de la ligne des eaux est tirée des modèles inclusifs (voir Chapitre 3.5).

poser que la largeur de la zone humide le long de la ligne des eaux soit de 5 m, en moyenne, la superficie totale peut être calculée, étant donné que la longueur totale des rives peut être obtenue à partir du modèle d'élévation numérisé (Fig. VIII.3). Plus le niveau des crues est élevé, plus le total des rives et berges est long. Mais, pendant la décrue, la longueur totale de la ligne des eaux est encore plus longue, en raison de la présence de lacs isolés. Les nombreux lacs temporaires qui existent lorsque le niveau d'eau à Akka se situe entre 200 et 300 cm expliquent pourquoi la relation entre la longueur de la ligne des eaux et le niveau d'eau à Akka n'est pas directe, mais curviligne. En utilisant la corrélation indiquée à la Fig. VIII.3, la superficie de la «profondeur d'eau humide = 0 cm» peut ensuite être calculée.

Le riz est cultivé à des niveaux relativement élevés dans la zone d'inondation (Fig. VIII.4). C'est la raison pour laquelle la quasi-totalité du riz cultivé est déjà sec à une profondeur d'eau de 250 cm, tandis qu'à ce même niveau, on observe la présence du riz sauvage, essentiellement dans des eaux peu profondes. Une partie du bourgou et la quasi-totalité des zones herbeuses se rencontrent dans des eaux encore plus profondes. En outre, la catégorie «riz sauvage + nénuphar» a été fusionnée avec le riz sauvage, tandis que la catégorie «bourgou + nénuphar» l'a été avec le bourgou.

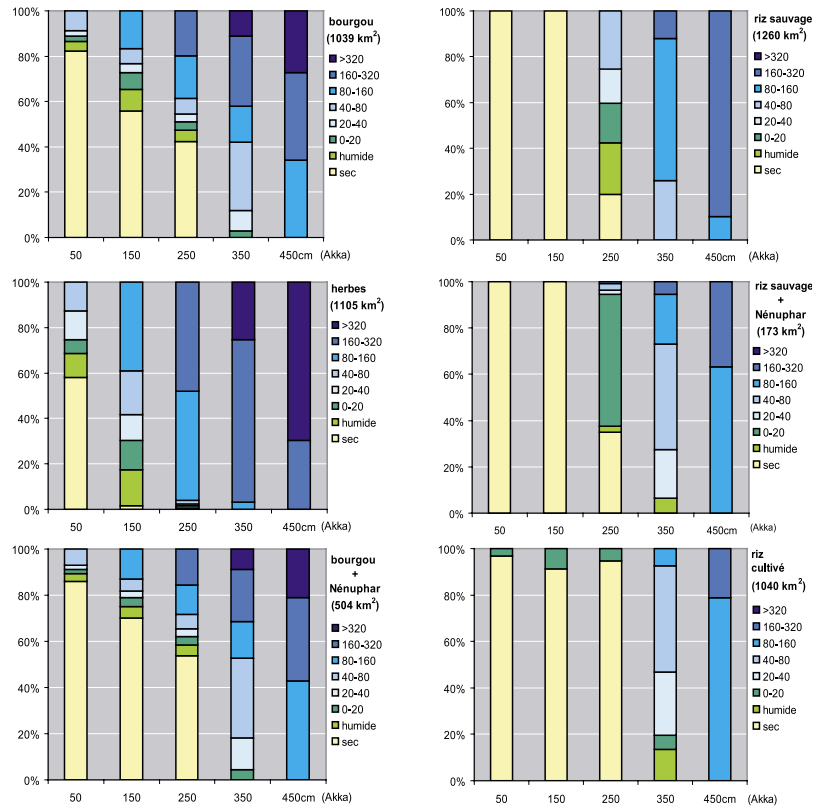


Fig. VIII.4. Superficie (%) de six types de végétation à différentes profondeurs d'eau. Ces dernières ont été calculées séparément pour cinq niveaux de crue différents (cm à Akka)

Densité des oiseaux d'eau par type de végétation

Le Tableau VIII.1 présente la densité des oiseaux d'eau moyenne pour sept types d'habitat. Seules les espèces d'oiseaux d'eau pour lesquelles la densité moyenne dépasse un individu par centaine d'hectares ont été retenues. La composition des espèces diffère considérablement d'un habitat à un autre. De même, la densité des oiseaux d'eau semble être élevée dans les marécages, et relativement faible dans les végétations de riz sauvage.

Densité des oiseaux d'eau par végétation et profondeur d'eau

La densité des oiseaux d'eau varie considérablement selon le type de végétation. Ceci s'explique, pour l'essentiel, par la profondeur d'eau, telle qu'illustrée

pour les pâturages de bourgou à la Fig VIII.5. Un véritable oiseau d'eau tel que le Cormoran africain n'a été observé que là où la profondeur d'eau dépassait 40 cm. En revanche, des oiseaux terrestres typiques tels que le Cochevis huppé, Cisticole des joncs et Prinia spec., bien que présents dans la plupart des habitats étaient observés surtout dans les moindres profondeurs et sur terre.

Le Tableau AVIII.2 montre que la densité des oiseaux d'eau par habitat baisse considérablement lorsque le sol est sec. Les densités élevées des oiseaux d'eau ont été enregistrées lorsque le sol était encore humide ou recouvert d'une couche d'eau peu profonde. Une caractéristique du bourgou est que de nombreux oiseaux peuvent déjà se nourrir dans l'eau profonde où il se développe. Ceci s'explique par le pouvoir de flottaison

Tableau VIII.1. Densité moyenne des oiseaux d'eau par millier d'hectares dans six types d'habitat. Les nombres totaux sont également indiqués pour les espèces regroupées ci-après: Hérons/aigrettes, Rallidae + Jacanas, Limicoles/échassiers et Passereaux.

Espèce d'oiseau	riz cultivé	bourgou	herbe	riz sauvage	mimosa	stagnant	moyen
Cormoran africain	0	1596	13	6	0	330	855
Anhinga d'Afrique	0	60	0	0	0	0	30
Héron cendré	55	272	7	426	0	77	214
Héron pourpré	41	450	22	6	185	297	293
Grande aigrette	0	148	0	0	0	121	96
Héron blanc	0	212	41	0	0	719	218
Aigrette garzette blanche	82	231	249	40	926	342	226
Aigrette garzette noire	0	20	12	0	0	0	12
Héron garde-boeufs	3715	658	247	1309	0	871	1041
Crabier chevalu	129	1292	45	15	295	2385	1025
Butor étoilé	0	56	0	0	0	0	30
Ibis falcinelle	0	86	0	0	0	363	98
Gallinule africain	0	3	0	0	556	0	18
Talève sultane	0	124	0	0	0	567	145
Jacana à poitrine dorée	377	642	0	1	0	151	389
Jacana nain	34	205	0	42	0	1029	260
Echasse blanche	898	727	434	0	0	1459	706
Glaréole à collier	5589	1606	2219	349	0	115	1711
Rhynchée peinte	0	37	0	0	0	6	20
Vanneau à éperons	543	253	366	155	0	28	246
Pluvier grand-gravelot	23	292	1403	3	0	6	267
Pluvier petit-gravelot	4	140	0	0	0	593	152
Pluvier pâtre	298	384	1702	0	0	0	369
Chevalier arlequin	120	4	10	0	0	0	17
Chevalier stagnatille	0	16	47	0	0	0	12
Chevalier aboyeur	122	6	76	0	0	0	24
Chevalier sylvain	844	3301	3332	379	869	7896	3187
Bécassine des marais	94	59	0	28	0	72	52
Bécassine double	27	14	188	0	201	0	32
Bécasseau minute	1152	1554	6836	37	0	1962	1754
Bécasseau cocorli	0	57	2698	0	0	51	258
Combattant varié	9150	4844	8992	106	0	21251	7152
Bergeronnette printanière	1957	5266	4339	1217	6491	17206	5919
Phragmite des joncs	0	1620	0	17	7599	33897	5807
Gorgebleue à miroir	0	141	0	0	2451	0	146
Cochevis huppé	1653	1095	867	433	936	74	879
Cisticole des joncs	0	179	66	131	0	25	117
Prinia spec.	0	65	0	6	2377	0	104
TOTAL	26981	27778	34263	4718	22940	91958	33938
hérons / aigrettes	4054	3445	625	1796	1406	5175	16502
rallidae / jacanas	412	973	0	43	611	1747	3786
limicoles	18905	13334	28338	1059	1069	33503	96208
passereaux	3610	8368	5272	1804	19854	51202	90110

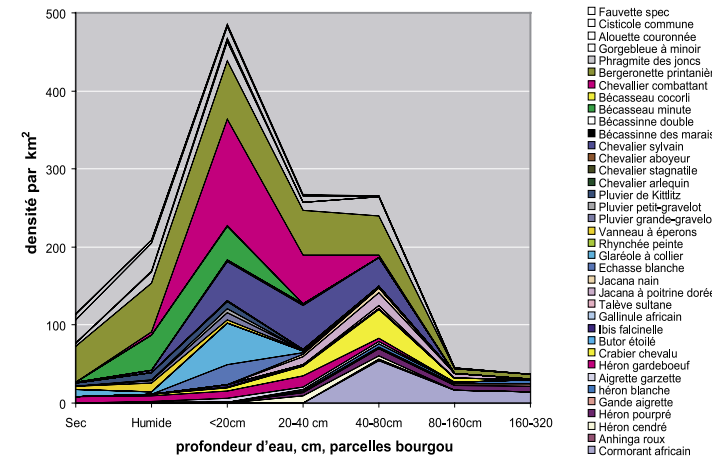


Fig. VIII.5. Densité moyenne des oiseaux d'eau au km² dans le bourgou sur les zones sèches et humides, ainsi que dans cinq catégories de profondeur d'eau.

Tableau VIII.2. Densité aviaire moyenne au km² dans cinq types d'habitat sur les terres sèches et humides, ainsi que dans cinq catégories de profondeur d'eau.

habitat	espèce	sec	humide	<20cm	20-40cm	40-80cm	80-160cm	160-320cm	total
stagnant	hérons, aigrettes	8,4		8,2	6,0	8,9	0,1	6,7	5,2
	rallidae, jacanas	0,0		0,5	5,4	3,9	0,0	0,0	1,7
	limicoles	0,0		150,6	11,6	13,6	0,1	0,0	33,5
	passereaux	1,4		19,8	25,5	39,0	84,3	0,0	51,2
herbes	hérons, aigrettes	0,0	0,2	1,6					0,6
	rallidae, jacanas	0,0	0,0	0,0					0,0
	limicoles	0,0	10,5	73,8					28,3
	passereaux	0,0	5,1	3,0					5,3
bourgou	hérons, aigrettes	0,8	1,1	2,3	4,9	6,5	1,6	1,6	3,5
	rallidae, jacanas	0,0	0,0	0,0	1,3	2,7	0,6	0,0	1,0
	limicoles	1,8	8,0	34,0	12,8	4,2	0,1	0,0	13,4
	passereaux	8,8	11,7	12,3	7,8	7,6	0,7	0,6	8,4
riz sauvage	hérons, aigrettes	0,1	4,3	2,3	0,0	0,6	0,1		1,8
	rallidae, jacanas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0		0,0
	limicoles	0,0	0,8	1,8	0,7	1,8	0,0		1,1
	passereaux	0,3	1,4	3,1	0,7	2,7	0,0		1,8
riz cultivé	hérons, aigrettes	0,8	14,7	2,2	7,5	0,5	1,5	0,0	4,1
	rallidae, jacanas	0,0	0,0	0,1	0,0	3,7	0,0	0,0	0,4
	limicoles	0,9	36,2	36,4	0,0	0,3	1,0	0,0	18,9
	passereaux	0,3	4,0	12,8	0,4	0,4	0,0	0,0	3,6
stagnant		1		14	7	21	30	1	74
herbes		10	21	14					45
bourgou	nombre de comptages-densité	22	23	78	51	90	38	25	326
riz sauvage		16	16	25	7	8	2		74
riz cultivé		9	13	10	2	19	9	2	64

beaucoup plus important de cette plante par rapport aux autres espèces végétales. La flottabilité de sa tige augmente à mesure que la profondeur de l'eau diminue, formant des mâts de plus en plus denses à la surface. Ce changement de flottabilité permet au Crabier chevelu-héron de petite taille- de commencer déjà à se nourrir dans le bourgou, lorsque la profondeur des eaux est encore grande, tandis que la Grande Aigrette – qui est plus lourde – n'apparaît dans le bourgou que lorsque la profondeur des eaux est moindre. Ce phénomène est aussi lié à la densité de la végétation; même la Grande Aigrette peut apparaître à un stade précoce de la décrue au cas d'une végétation très dense.

Estimation du nombre total d'oiseaux d'eau

Les données présentées jusqu'ici permettent de faire une estimation du nombre total d'oiseaux dans le Delta Intérieur du Niger entre novembre et mars (Tableau VIII.3). Les densités sont multipliées par les superficies

respectives des habitats. La superficie totale des habitats spécifiés (Fig.VIII.2) est de 5 121 km², ce qui représente la zone couverte par l'eau pour un niveau de crue de 360 cm. Ainsi, nous ne prenons toujours pas en compte 20 000 km² de plaines inondables situées à une altitude plus élevée. La densité des oiseaux d'eau est extrêmement faible, cependant, dans la zone située à une altitude plus élevée, à moins que le niveau de l'eau ne dépasse 360 cm. Le Tableau VIII.3 montre que le Delta Intérieur du Niger abrite 3 à 4 millions d'oiseaux d'eau vivant essentiellement dans les zones plus humides. Cette estimation serait nettement inférieure si le niveau des crues s'élevait à 450 cm. A ce niveau d'eau, la zone d'eau peu profonde se situe en dehors des 5 121 km² utilisés aux fins de nos calculs.

Le nombre estimatif peut être comparé à celui découlant du recensement par avion, le plus grand nombre ayant été recensé dans les lacs du Centre, et/ou avec le recensement effectué dans les aires de repos. En général,

Tableau VIII.3. Nombre d'oiseaux d'eau présents dans le Delta Intérieur du Niger, tel que calculé -aux densités constantes- à partir de la superficie des habitats et des catégories des profondeurs (Fig. VIII.4), et densité moyenne des oiseaux d'eau pour les habitats et niveaux de profondeur (Fig. VIII.5; Tableau VIII.2).

Niveau crue (Akka, cm)	50 cm	150 cm	250 cm	350 cm	450 cm
Cormoran africain	68.599	91.049	139.067	366.015	172.957
Anhinga d'Afrique	2.857	2.283	3.802	13.198	3.012
Héron cendré	8.499	11.615	40.163	47.150	15.558
Héron mélanocéphale	191	361	445	10.072	290
Héron pourpré	14.247	25.661	47.153	105.906	70.567
Grande aigrette	3.751	10.791	20.464	33.636	35.089
Héron blanc	6.932	10.721	22.713	47.572	35.001
Aigrette garzette blanche	11.971	20.253	12.251	32.595	11.092
Aigrette garzette noire	1.238	1.180	803	3.612	0
Héron garde-bœufs	241.543	212.359	334.723	463.642	106.591
Crabier chevalu	55.113	63.877	67.864	233.536	31.600
Butor étoilé	1.320	1.979	1.604	4.584	0
Ibis falcinelle	1.362	3.444	2.273	3.332	0
Talève sultane	6.014	4.887	5.571	24.021	1.365
Jacana à poitrine dorée	23.597	34.719	36.941	244.827	32.655
Jacana nain	8.492	7.463	20.243	61.773	0
Echasse blanche	19.896	44.864	17.628	145.396	0
Glaréole à collier	207.002	231.127	148.570	65.343	0
Rhynchée peinte	1.819	1.393	1.491	7.023	0
Vanneau à éperons	169.718	158.824	153.786	46.033	37.500
Vanneau à tête blanche	8.029	8.029	8.029	0	0
Pluvier grand-gravelot	47.844	77.235	16.649	6.828	0
Pluvier petit-gravelot	2.020	5.373	3.318	3.628	0
Pluvier pâtre	151.912	125.882	47.767	32.146	0
Chevalier arlequin	370	805	244	15.535	9.065
Chevalier aboyeur	1.714	3.688	389	15.712	9.065
Chevalier sylvain	170.535	276.996	162.742	420.146	30.132
Bécassinne des marais	884	2.151	9.864	17.515	327
Bécassinne double	5.125	7.704	1.064	4.376	0
Bécasseau minute	197.276	405.050	86.834	147.216	0
Bécasseau cocorli	61.171	122.069	10.544	1.033	0
Combattant varié	306.965	578.624	157.129	994.282	0
Bergeronnette printanière	1.258.554	801.676	698.954	773.523	66.132
Phragmite des joncs	109.830	113.685	89.780	146.474	2.113
Gorgebleue à miroir	2.705	6.946	4.248	2.482	293
Cochevis huppé	586.618	425.674	336.904	146.065	8.895
Cisticole des joncs	121.199	80.088	71.462	3.325	1.077
Prinia spec.	9.099	8.176	8.015	5.353	585
TOTAL	3.899.659	3.996.319	2.795.200	4.703.010	682.404

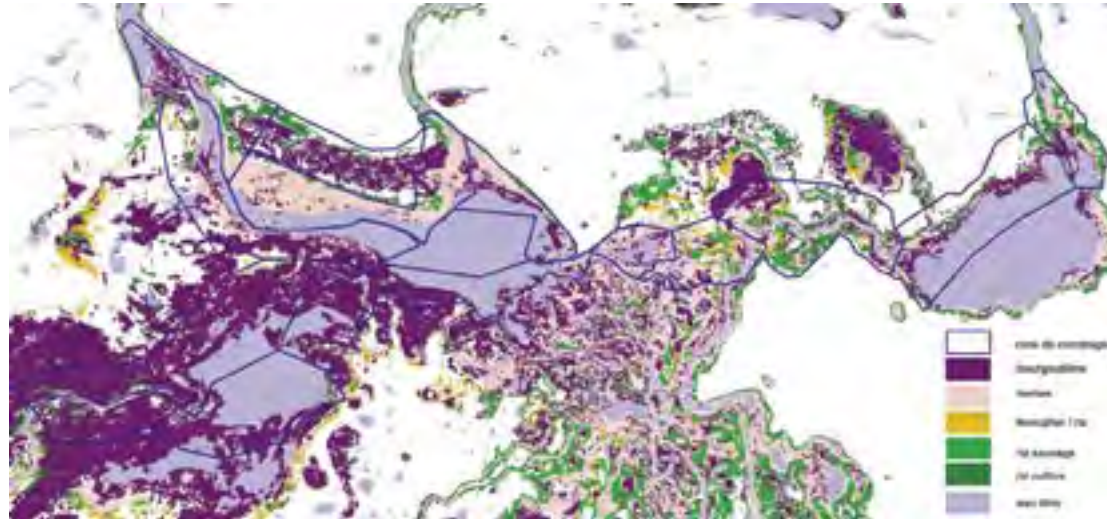


Fig. VIII.6. Les 16 zones de recensement au niveau des lacs Debo, Walado et Korientzé (les lignes bleues représentent les limites). La distribution du bourgou, de l'herbe et du riz sauvage (qui est tirée de la Fig. 6.3) est indiquée.

les nombres estimatifs sont plus élevés que ceux que laissent supposer les données recueillies à ce jour. Dans certains cas, par exemple, pour les cormorans, les estimations sont, de toute évidence, beaucoup trop élevées. Il y a lieu de s'attendre à des écarts par rapport à la réalité, étant donné que les écarts types sont importants et que le nombre d'échantillons est encore limité.

Le Tableau VIII.3 repose sur les densités moyennes des oiseaux d'eau dans les 28 catégories (quatre types d'habitat et sept catégories de profondeur d'eau). Nous savons, cependant, que pendant la décrue la superficie des habitats secs est appelée à augmenter (voir les barres jaunes à la Fig. VIII.3). Dans le même temps, la zone d'habitat approprié pour la quasi-totalité des oiseaux d'eau diminuera parallèlement à la décrue. Par conséquent, à moins que les oiseaux ne disparaissent du Delta Intérieur du Niger, leur densité est appelée à augmenter. En d'autres termes, nous nous attendons à ce que les nombres totaux indiqués au Tableau VIII.3 soient sous-estimés à des niveaux de crue faibles et surestimés lorsque les niveaux de crues sont élevés. A titre d'exemple, à supposer que la densité des oiseaux d'eau soit constante, le nombre de Hérons pourprés pendant la décrue diminuerait, passant de 106 000 à 14 000. La mesure dans laquelle cette baisse apparente

se produit réellement dépend du point de savoir si les densités de Hérons pourprés se concentrent lorsque leur habitat favori se rétrécit. Malheureusement, les jeux de données sont encore trop limités afin de répartir les 28 catégories en cinq niveaux de crue supplémentaires. La section suivante présente une autre méthode permettant de vérifier si la densité des oiseaux d'eau demeure constante ou non, à mesure que la profondeur de l'eau évolue.

Densité des oiseaux d'eau par types de végétation, profondeur d'eau et niveau de crue

Dans la présente section, nous analysons le point de savoir si les effectifs d'oiseaux évoluent vers des densités plus élevées lorsque les zones humides restantes diminuent davantage pendant la décrue. Aux fins de cette analyse, nous avons utilisé les recensements des oiseaux effectués dans la zone des lacs du Centre (Walado, Debo, Korientzé) ces dernières années (van der Kamp et al. 2002). Le Tableau VIII.4 présente le nombre moyen d'oiseaux présents dans cette zone en novembre et mars, séparément pour cinq niveaux de crues différents. Il va sans dire que les chiffres pour la quasi-totalité des espèces augmentent parallèlement à la baisse des niveaux de crue. Etant donné que chaque

Tableau VIII.4. Nombre d'oiseaux d'eau recensés au niveau des lacs Debo, Walado et Korientzé entre novembre et mars, pendant quatre années (de 1998-99 à 2001-02), répartis entre cinq niveaux de crue (Akka cm). Le nombre moyen pour tous les niveaux d'eau est également indiqué, ainsi que le nombre maximum jamais compté. Ces chiffres peuvent être comparés au nombre prévu par niveau de crue, tel que tiré des chiffres du recensement fondé sur la densité (pour l'explication, voir texte). Les espèces, marquées en gras dans la dernière colonne, sont souvent omises dans le décompte intégral.

niveau d'eau	effectif moyen dénombré 1998 - 2001					effectifs prévus, à base de comptages-densité					Selon le recensement		moyenne estimative
	50cm	150cm	250cm	350cm	450cm	50cm	150cm	250cm	350cm	450cm	max	moyenne	moyenne
Cormoran africain	617	5067	7600	7000	2767	5989	15143	20149	33558	15818	12412	4610	18131
Anhinga d'Afrique	19	32	69	65	28	249	452	369	1194	367	153	43	526
Héron cendré	5350	4750	2633	517	29	871	2310	1278	2180	332	6959	2656	1394
Héron mélanocéphale	1	0	0	0	0	25	93	43	77	33	4	0	54
Héron pourpré	2600	2733	2033	1233	188	1281	4122	7092	10706	6804	4804	1758	6001
Grande aigrette	1583	1933	1267	1767	336	385	1991	3394	4389	3412	5539	1377	2714
Héron blanc	107	455	793	680	367	613	1764	3086	6157	3936	1648	480	3111
Aigrette garzette	7167	3267	1767	583	107	924	3482	747	1503	228	11270	2578	1377
Héron garde-bœufs	767	900	892	933	617	15129	12260	5450	2428	167	1755	822	7087
Crabier cheval	350	533	933	542	166	5074	13442	7098	14491	2130	2001	505	8447
Butor étoilé	0	2	2	0	0	142	629	115	253	0	29	1	228
Ibis falcinelle	3833	4917	2717	567	3	176	1340	168	120	0	11377	2407	361
Talève sultane	135	85	31	5	1	525	961	470	1682	127	176	51	753
Jacana à poitrine dorée	3	0	0	0	0	784	1600	542	2129	0	3	1	1011
Jacana nain	150	223	180	85	26	2216	6065	5471	6911	1964	356	133	4525
Rhynchée peinte	0	0	0	0	0	159	281	104	469	0	2	0	203
Echasse blanche	1500	2027	967	217	17	1712	11588	1306	672	0	3167	945	3056
Glaréole à collier	1167	1133	1533	933	70	18808	29045	6666	925	0	18310	967	11089
Vanneau à éperons	417	360	217	113	45	7943	8461	2670	160	74	674	230	3862
Pluvier grand-gravelot	3467	2567	1033	145	1	3125	7883	1104	155	0	4743	1443	2453
Pluvier petit-gravelot	10	10	8	3	0	261	2215	245	107	0	33	6	566
Pluvier pâle	1267	433	183	17	0	12025	12668	2984	182	0	2225	380	5572
Chevalier arlequin	650	2067	933	202	0	29	172	18	1	0	4557	770	44
Chevalier stagnatile	190	102	30	3	0	73	363	40	11	0	202	65	97
Chevalier aboyeur	1600	1433	867	210	2	85	301	34	3	0	2525	822	85
Chevalier cul-blanc	1	0	0	0	0	27	203	100	43	37	2	0	82
Chevalier sylvain	243	107	50	13	1	13462	45998	8767	16984	175	431	83	17077
Bécassine des marais	52	11	3	0	0	260	176	54	120	0	135	13	122
Bécassine double	5	1	1	0	0	115	737	146	117	19	3	1	227
Bécasseau minute	15000	10000	4033	667	2	12533	58360	6229	645	0	16823	5940	15553
Bécasseau cocorli	2593	1333	267	32	3	2874	7160	842	28	0	3791	846	2181
Combattant varié	28333	25833	13733	3600	3	20703	90668	11377	7127	0	48921	14301	25975

Tableau VIII.5. Données du Tableau A-VIII.4 résumées pour les hérons/aigrettes et les limicoles/échassiers. Le ratio nombre réel/nombre estimatif tiré des échantillons est également indiqué.

niveau crue (cm)	50	150	250	350	450	moyenne
Hérons, aigrettes						
compté effectivement	22177	19673	13136	6858	1821	12733
basé sur échantillons	24749	41673	28574	42619	17054	30934
Limicoles						
compté effectivement	56803	47757	24092	6265	192	27022
basé sur échantillons	97831	285366	49312	38579	2433	94704
hérons: ratio	0,90	0,47	0,46	0,16	0,11	0,41
limicoles: ratio	0,58	0,17	0,49	0,16	0,08	0,29

recensement concerne la même zone de 460 km², indépendamment du niveau de crue, ceci signifie que la densité générale des oiseaux augmente lorsque le niveau de crue diminue. Les données résumées ci-dessous permettent de savoir la mesure dans laquelle cette tendance est due aux variations de la superficie des 28 sous-habitats pendant la décrue.

La Fig.VIII.6 présente les sites où les recensements des oiseaux dans la zone des lacs du Centre ont été effectués, ainsi que la répartition des types de végétation (Fig. 6.3). Dans la zone de recensement, la bourgoutière est l'habitat le plus répandu (143 km² de bourgoutière et 25 km² de bourgoutière mélangée aux nénuphars). De vastes zones herbeuses se découvrent lorsque les grandes plaines inondables s'assèchent, notamment au Nord du lac Debo (54 km²). La zone non prise en compte (188 km²) est constituée essentiellement d'eau libre. Nous avons utilisé le modèle d'inondation numérisé pour la zone des lacs du Centre qui couvre 460 km² afin de calculer la superficie des habitats selon les différentes catégories de profondeur d'eau à différents niveaux de crue. A supposer qu'il n'y ait aucun oiseau dans l'eau libre et les quelques rizières, et également que les densités des oiseaux d'eau dans les 28 sous-habitats ne varient pas selon le niveau de crue, il est possible de calculer les chiffres estimatifs pour la zone de recensement. Les chiffres découlant du recensement peuvent ensuite être comparés aux chiffres estimatifs (Tableau VIII.4).

Tel qu'il ressort du Tableau VIII.4, les chiffres estimatifs sont (beaucoup plus) élevés, en moyenne, que les chiffres réels. L'écart type est important en ce qui concerne les espèces qui vivent cachées ou qui sont très

dispersées, notamment le Héron pourpré, le Crabier chevelu ou le Chevalier sylvain. Ces espèces, indiquées en gras dans la dernière colonne, sont apparemment régulièrement omises dans les recensements intégraux. En revanche, les espèces qui vivent en groupe sont très difficiles à prendre en compte dans le recensement fondé sur la densité. Par conséquent, une espèce telle que la Barge à queue noire, pour laquelle jusqu'à 30 000 individus peuvent être présents dans la zone des lacs du Centre, n'a jamais été rencontrée dans les parcelles où s'effectuait le recensement-densité. Pour les mêmes raisons, le nombre estimatif des Ibis falcinelles est, naturellement, trop faible.

Lorsque les nombres réels et estimatifs sont comparés selon les niveaux de crue (beaucoup) plus d'oiseaux semblent être présents dans la zone des lacs du Centre à des niveaux de crue inférieurs. Cette augmentation est beaucoup plus importante pour les chiffres du recensement que pour ceux de l'échantillonnage. Il convient de souligner que dans ce dernier cas, nous avons supposé, pour l'heure, que la densité des oiseaux d'eau était demeurée la même pour tous les niveaux de crue. Ceci nous permet de conclure que la densité des oiseaux d'eau augmente, en effet, à mesure que la superficie des terres humides/inondées diminue.

Conclusions

Bien que le Chapitre 9 soit censé fournir une interprétation plus détaillée de ces données, l'on peut tirer les principales conclusions suivantes du présent Appendice:

- La densité des oiseaux d'eau est optimale dans les pâturages de bourgou et faible dans les végétations de riz sauvage. De même, la végétation dans l'eau stagnante attire de nombreux oiseaux. Ce type d'habitat -rare dans le Delta Intérieur du Niger- a été couvert surtout au Nord où le régime d'eau est 'hors phase' par rapport au reste du Delta. A l'approche du mois de mars, période du début des migrations des oiseaux paléarctiques vers le Nord et de l'assèchement très avancé du Delta marécageux au Sud, il pourrait s'agir d'une accumulation aussi septentrionale que possible d'oiseaux prêts à migrer.
- Selon le niveau d'eau, seule une partie du Delta Intérieur du Niger est utilisée de façon intensive par les oiseaux d'eau. La zone où l'eau est peu profonde attire la plupart des oiseaux. Les pâturages de bourgou dans les eaux plus profondes sont également exploités par les oiseaux d'eau, en raison de la robustesse des tiges de cette plante. Seuls quelques oiseaux -afrotropicaux et paléarctiques- se nourrissent dans les plaines inondables, une fois que celles-ci se sont asséchées.
- Pendant la décrue, la superficie des zones humides se rétrécit. Par conséquent, la densité des oiseaux d'eau augmente dans les quelques zones humides restantes.
- Le recensement fondé sur la densité indique que le Delta Intérieur du Niger est beaucoup plus important que prévu jusqu'ici pour certaines espèces. Ceci concerne essentiellement les espèces qui vivent cachées ou très dispersées.

APPENDICE IX ANALYSE COÛTS-AVANTAGES DES BARRAGES AFRICAINS

Plusieurs études d'ACA élargies ont été exécutées par le passé. La Commission mondiale sur les barrages (WCD 2001) a étudié huit projets de barrages de façon très minutieuse. Deux de ceux-ci sont implantés en Afrique: 1) le Projet d'aménagement du fleuve Orange en Afrique du Sud; et 2) le barrage du lac Kariba en Zambie et au Zimbabwe. Une troisième étude digne d'intérêt en Afrique, qui a été commanditée par l'UICN, a porté essentiellement sur les impacts du barrage de Maga sur la zone de la plaine inondable du Waza-Logone au Cameroun (Loth 2004).

IX.1 Projet d'aménagement du fleuve Orange (Afrique du Sud)

L'étude pilote effectuée par la WCD est une évaluation détaillée du Projet d'aménagement du fleuve Orange (ORDP) commanditée par le Gouvernement Sud-africain en 1963. L'ORDP comprend deux barrages dans le bassin du fleuve Orange. Il s'agissait fondamentalement d'un projet à motivation politique au profit des agriculteurs blancs d'Afrique du Sud. Au nombre des principaux objectifs du projet figuraient la fourniture de services d'irrigation pour l'agriculture, l'approvisionnement en eau à des fins industrielles et la production d'hydroélectricité. Les coûts estimatifs étaient de 571 millions de dollars EU (prix 1998). Les dépassements de coût, qui s'élevaient à 438%, étaient dus essentiellement à l'omission des provisions pour hausse de prix dans le coût initial et aux retards d'exécution importants.

Avec le déplacement de 1260 agriculteurs de couleur et de leurs familles, les impacts sociaux étaient nombreux. Compte tenu du régime de l'apartheid en place, les travailleurs noirs et de couleur n'ont pas été indemnisés, tandis que les fermiers blancs l'ont été plutôt grassement. Bien que les impacts environnementaux n'aient pas été pris en considération dans la planification initiale, leurs conséquences ont été enregistrées. Il convient de souligner en particulier que la prolifération des pucerons noirs a coûté au secteur de l'élevage 330 000 dollars EU par an.

En ce qui concerne les avantages, bien que seul la moitié du périmètre prévu ait été irriguée, la production végétale est nettement plus importante que prévu. Le taux d'accroissement de la production se situe entre 166% pour les légumes et 457% pour diverses céréales. La production effective d'hydroélectricité représente 106% du volume prévu, tandis que la valeur de l'énergie

produite est de 9% plus élevée que le niveau prévu. Le contrôle des inondations constitue un autre avantage du projet, les crêtes d'inondation ayant été réduites à plus de la moitié. Le dernier avantage du projet qui a été mesuré concerne son impact sur le tourisme, pour lequel environ 200 emplois ont été créés.

Bien que des recherches aient été menées dans le cadre de cette étude de cas pilote et une masse d'informations sur les impacts les coûts et les avantages réels réunie, il n'existe pas suffisamment de données pour évaluer la faisabilité économique du projet a posteriori, notamment les informations relatives à tous les coûts et avantages supplémentaires.

IX.2 Zone du lac Kariba (Zambie et Zimbabwe)

Le barrage de Kariba est situé sur le Zambèze à la frontière des deux pays. Il visait essentiellement à produire de l'hydroélectricité pour la Zambie et le Zimbabwe. La centrale hydroélectrique a une capacité totale de 1320 MW et assure l'approvisionnement en énergie de ces deux pays. La construction du barrage a commencé en 1955 et a été exécutée en 2 phases. La première phase a été achevée plus tôt que prévu en 1962, tandis que la deuxième phase a accusé un retard de 5 ans, s'achevant en 1976, en raison de conditions géologiques imprévues et d'un conflit politique entre les deux pays.

Les coûts estimatifs étaient de 79 millions £ pour la première phase et de 52,9 millions £ pour la deuxième. Les coûts réels étaient de 77 millions de £ pour la première phase et de 147,3 millions £ pour la deuxième. Le taux de rentabilité, qui était estimé à 16%, s'est établi, en définitive, à 14,5% pour le projet, une fois achevé.

Les coûts sociaux étaient liés essentiellement au déplacement des populations. Selon les estimations, le projet devait affecter quelque 29 000 personnes. Mais, en réalité, 57 000 personnes ont été déplacées. Le budget au titre des programmes de réinstallation, qui était de 4 millions £ au départ, n'a pas augmenté lorsque le nombre des personnes affectées s'est avéré plus élevé que prévu. De même, aucune option de moyens de subsistance ni consultation n'ont été prévues. Un impact connexe du déplacement des populations sur l'environnement a été la réinstallation dans les habitats fauniques. Au nombre des autres impacts environnementaux importants figurent la modification de l'hydrologie en aval; l'inondation du Delta, qui a entraîné la disparition des mangroves et réduit la production de crevettes;

la pollution du lac autour des établissements urbains et le changement du stock ichtyologique au profit des espèces plus lacustres.

Outre les avantages liés à l'hydroélectricité, le projet a généré d'autres avantages imprévus. La faiblesse du coût de l'énergie hydroélectrique produite s'est traduite par une baisse des prix de l'électricité de l'ordre de 30%, tandis que les prix généraux ont crû de plus de 75%. Le principal avantage imprévu concerne le tourisme. Une industrie prospère s'est développée autour du lac, avec plus de 1000 lits d'hôtel. Bien qu'aucun avantage lié à l'irrigation n'ait été prévu, près de 2700 ha de terres autour du lac sont irrigués, à l'heure actuelle. Le dernier avantage qui mérite d'être mentionné a trait à l'industrie piscicole qui s'est développée sur le lac, bien qu'une part substantielle de celle-ci ne profite pas aux populations riveraines, mais aux sociétés à fort coefficient de capital venant de l'extérieur de la zone.

Tout comme dans le cas du fleuve Orange, il n'existe pas suffisamment d'informations sur la valeur monétaire des coûts et avantages indirects du projet permettant d'évaluer avec précision sa performance économique.

IX.3 Plaine alluviale du Waza-Logone (Cameroun)

La troisième étude est celle effectuée par l'UICN sur la plaine inondable du Waza-Logone au Cameroun (Loth 2004). Sur les trois cas examinés dans le présent document, celui-ci revêt le plus d'intérêt par rapport au cas du Mali. A l'instar du Mali, le Cameroun est un pays d'Afrique subsaharienne qui présente plusieurs caractéristiques similaires. Tout comme la plupart des barrages Maliens, le projet de barrage de Maga est un barrage bas dont le réservoir est peu profond. Il a été construit sur le fleuve Logone en 1979. Il mesure 30 km de long et a permis de créer un réservoir de 400 km². Il a vocation à servir de barrage à usages multiples, la production d'hydroélectricité et l'irrigation de 10 000 ha de terres étant ses principaux objectifs. Le barrage et les digues ont privé la plaine inondable de ses crues naturelles, entraînant de graves conséquences environnementales et sociales. Les populations dépendant des activités dans les zones humides situées en aval pour leur subsistance, notamment la pêche, la production de riz et de sorgho, ont été durement touchées par le changement soudain du régime hydrologique. Les conséquences socioéconomiques ont été estimées à plus de 2 millions par an. Les propriétaires de bétail ont été les plus durement

touchés, le préjudice étant estimé à environ 1,5 million € par an.

Par conséquent, un programme a été mis en place en vue de réhabiliter la zone de la plaine inondable du Waza-Logone en tant qu'écosystème humide. Dans le cadre du projet, les installations d'irrigation continuent de jouer un rôle majeur, mais ont dû être intégrées dans une approche plus intégrée de l'écosystème. Une analyse approfondie a été effectuée sur le programme au cours de laquelle une ACA élargie a été exécutée. Trois choix ont été étudiés pour la re-inondation de la plaine alluviale, tous s'étant avérés économiquement réalisables et souhaitables par rapport à la situation actuelle. Dans une situation d'inondation totale, la zone assurait des avantages qui se chiffrent à environ 11 millions € par an, soit 90 € par habitant. Après la construction du barrage, les pertes économiques se sont élevées, au total, à environ 2,5 millions € par an, et ont été supportées par un tiers de la population. Les pertes par habitant ont été estimées à 60 €. Les mesures visant à libérer les crues coûteraient 3 à 12 millions € sur une période de 5 ans, tandis que les avantages générés oscilleraient entre 1,4 et 2,7 millions € par an. La valeur actualisée nette se situerait entre 6 et 8,4 millions €. Enfin, les avantages économiques supplémentaires sont estimés à 53 € par personne.

APPENDICE X VALEUR ACTUALISÉE NETTE

La plupart des projets et scénarios génèrent des avantages, du moins de façon intermittente, pendant leur durée de vie, et comportent en général des coûts. Etant donné que la distribution de ces coûts et avantages peut varier au fil du temps selon les scénarii, ils doivent être convertis en valeur actualisée nette (VAN) en actualisant les deux catégories de valeurs. L'actualisation est la pratique qui consiste à affecter des valeurs inférieures aux avantages et coûts futurs par rapport aux avantages et coûts actuels, reflétant les préférences des populations pour la situation actuelle, au détriment de la situation future. Habituellement, la méthode utilisée pour prendre en compte les impacts provisoires dans l'analyse consiste à appliquer un taux d'actualisation aux impacts futurs. En supposant qu'un préjudice annuel d'une valeur X se produira au cours d'une période de T années, et un taux d'actualisation de r pour cent est appliqué, la valeur actualisée du préjudice total au fil du temps serait:

$$\sum_{t=0}^T X / (1+r)^t$$

La valeur actualisée du préjudice X au cours d'une année donnée avec $t > 0$, $X / (1+r)^t$, est inférieure à la valeur X au cours de l'année $t=0$. De l'équation, il ressort que plus le taux d'actualisation (r) est élevé plus le nombre d'années (t) est élevé et plus la valeur actualisée du préjudice futur au cours d'une année donnée est faible.

Le choix du taux d'actualisation approprié demeure une question controversée, car il peut avoir un impact significatif sur le résultat de l'analyse. La méthode utilisée habituellement pour surmonter cette difficulté consiste à appliquer différents taux d'actualisation de façon à permettre aux décideurs de choisir le taux le plus approprié. Aux fins de la présente étude, nous avons adopté cette pratique et présenté les valeurs pour plusieurs taux d'actualisation en ce qui concerne les principaux impacts, dans la mesure du possible.

Si tous les impacts sont mesurés en termes monétaires, le calcul est simple: il s'agit de faire tout simplement la somme actualisée des avantages nets annuels. Ceci donne la VET exprimée en termes de valeur actualisée nette (VAN) comme suit:

$$VAN = \sum_t (Bt - Ct) \cdot (1+r)^{-t}$$

où B représente tous les avantages au fil du temps et C tous les coûts au fil du temps. Le scénario avec la VAN la plus élevée est le scénario préféré du point de vue économique. Par exemple, si le scénario «avec les 3 barrages» génère des avantages nets actualisés plus élevés que le scénario «avec 2 barrages», la condition suivante sera valable:

$$VAN_{3 \text{ barrages}} > VAN_{2 \text{ barrages}}$$

APPENDICE XI CONTEXTE DE L'ÉVALUATION DES ZONES HUMIDES

Il existe une littérature abondante sur l'évaluation des terres humides, notamment dans le Delta Intérieur du Niger. Selon une méta-analyse récente des études d'évaluation des zones humides, il existe plus de 190 études à cet égard, qui fournissent 215 observations de valeur (Brander *et al.* 2004). Les études d'évaluation des zones humides portent souvent essentiellement sur une valeur particulière (notamment la biodiversité et les loisirs). Cependant, la gamme des rôles économiques joués par les valeurs de l'écosystème des zones humides varie considérablement. Il pourrait s'agir de la production de biens agricoles, de la fourniture de services d'assimilation des déchets ou de valeurs d'agrément. En outre, chacun de ces biens ou services peut être commercialisé ou non. Ceci signifie que les liens économiques diffèrent.

Par conséquent, des méthodes d'évaluation de rechange ont été proposées (Freeman 1993). Bien que les approches de la fonction production des ménages (Mäler 1992) reposent sur l'approche de la préférence révélée, les approches de préférence affichées ont également donné lieu à une littérature abondante en ce qui concerne les biens et services non commercialisés. Hanneman (1992, 2001) a mis au point une approche appelée dans la littérature «méthode d'évaluation des contingences». Voir Freeman (1993) concernant les liens entre les approches de rechange de l'évaluation et de la théorie du consommateur.

Les avantages économiques tirés des zones humides ont également été évalués à l'aide des approches de rechange (voir Söderqvist, Mitsch & Turner, 2000). Tel qu'expliqué par Acharya (2000), l'approche de la fonction production permet de mesurer l'évolution du bien-être pour le ménage comme étant la somme de l'excédent du producteur et du consommateur profitant au ménage et découlant de l'utilisation d'un bien environnemental ou d'un service d'écosystème dans la production ou la consommation. Cette approche sera la méthode la plus adoptée dans l'étude du Delta Intérieur du Niger. En revanche, les études d'évaluation des contingences peuvent être utilisées pour estimer les valeurs d'agrément des zones humides (Turner *et al.*, 2000).

Chacune de ces approches s'intègre dans la théorie de l'utilité de différentes manières et constitue une extension de la méthodologie de l'analyse coûts-avantages. Celle-ci a été utilisée dans de nombreuses études préliminaires comme équivalent empirique de l'évaluation du développement de Fisher, Krutilla & Cicchetti's (1972)

par rapport à l'argument de la conservation. Ceux-ci ont affirmé que si le choix de développement implique une transformation irréversible dans une certaine mesure, d'une zone, il est toujours optimal de développer une partie infime de la zone. Hanley & Craig (1991) ont utilisé le même cadre pour déterminer la valeur relative de la préservation et du reboisement d'une tourbière dans le «flow country», Nord de l'Écosse.

D'autres études ignorent les avantages écologiques. Kosz (1996) affirme, par exemple, que dans le cadre d'une étendue de zones humides le long du Danube, «il serait très efficace pour l'économie Autrichienne de construire une station hydroélectrique, s'il n'existait pas d'avantages écologiques du tout». L'hypothèse qui sous-tend cette affirmation, «s'il n'existait aucun avantage écologique», ne serait plus défendable à présent. Bref, nous avons parcouru beaucoup de chemins depuis que ces études et processus écologiques sont étudiés afin de déterminer les liens avec la valeur économique.

En revanche, l'approche de la fonction production peut être intégrée dans les modèles intertemporels de l'utilisation des ressources renouvelables (Acharya & Barbier 2000). Dans de tels exercices d'intégration, la fonction écologique affecte le taux auquel une ressource renouvelable augmente et, partant a un impact sur l'exploitation de celle-ci. Ce modèle décrit l'équilibre à long terme des ressources en termes de valeurs constantes pour l'effort investi dans l'extraction et les stocks de ressources. Cependant, dans la plupart des modèles mis au point aux fins de l'évaluation, les zones humides sont considérées comme une variable subrogative des stocks. Cette variable est ensuite considérée comme ayant un impact similaire sur les taux de récoltes, tout comme le volume des efforts investis dans l'extraction de la ressource (Ellis & Fisher 1987; Barbier & Strand 1998).

APPENDICE XII. LISTE DES ABBRÉVIATIONS

A&W	Altenburg & Wymenga conseillers écologiques (Pays-Bas)
CPS	Cellule de Planification et de Statistique du Ministère du Développement Rural
DNH	Direction Nationale de l'Hydraulique
DNSI	Direction Nationale de la Statistique et de l'Informatique
DRAMR	Direction Régionale de l'Appui au Monde Rural
EDM	Direction Nationale de l'Energie du Mali
IER	Institut d'Economie Rurale
IRD ex-ORSTOM	Institut français de Recherche pour le Développement
IVM	Institute for Environmental Studies , Free University, Amsterdam
MDR	Ministère du Développement Rural
ODRS	Office de Développement Rural de Sélingué
ON	Office de Niger
OPM	Opération Pêche Mopti
ORM	Opération Riz Mopti
ORS	Opération Riz Ségou
ORSTOM	Institut français de Recherche scientifique pour le développement en coopération
RIZA	Institut de gestion intégrale des eaux douces et de l'assainissement, Pays-Bas
UICN	Union mondiale pour la nature
WI	Wetlands International – Sévaré, Dakar, Wageningen
WMO	World Meteorological Organisation

Les interventions hydrologiques (c'est-à-dire les barrages et les systèmes d'irrigation) visent à renforcer l'indépendance économique et la sécurité alimentaire dans l'environnement instable du Sahel. L'exploitation du débit du Niger n'est, cependant, pas sans conséquences. Il convient d'assurer un équilibre entre les avantages et les inconvénients des ouvrages hydrologiques onéreux existants. Notre analyse, dans la présente étude, prend en compte les intérêts en aval.

Les résultats en aval sont très difficiles à quantifier et, partant souvent omis dans d'autres études similaires. La présente étude vise à mettre au point un outil d'aide à la prise de décision pour une gestion efficace du Haut Niger, au titre duquel les impacts et avantages écologiques et socioéconomiques des barrages et des systèmes d'irrigation pourraient être examinés à la lumière de différents scénarii de gestion de l'eau. Cette étude, qui a un caractère pluridisciplinaire, couvre les domaines de l'hydrologie, de l'écologie et de l'environnement.

