



**HAL**  
open science

# Variabilité climatique et gestion des ressources naturelles dans une zone humide tropicale: une approche intégrée appliquée au cas du delta intérieur du fleuve Niger (Mali)

Aïda Zare

► **To cite this version:**

Aïda Zare. Variabilité climatique et gestion des ressources naturelles dans une zone humide tropicale: une approche intégrée appliquée au cas du delta intérieur du fleuve Niger (Mali). Sciences de l'environnement. UNIVERSITE DE MONTPELLIER; INSTITUT INTERNATIONAL DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT, 2015. Français. NNT: . tel-01328689

**HAL Id: tel-01328689**

**<https://theses.hal.science/tel-01328689>**

Submitted on 8 Jun 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## THESE EN COTUTELLE

Pour obtenir le grade de

### DOCTEUR DE L'UNIVERSITE MONTPELLIER

En Science de l'Eau dans l'Environnement Continental  
Spécialité : *Eaux continentales et Société*

### DOCTEUR DE L'INSTITUT INTERNATIONAL DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT

En Science et Technologie de l'Eau, de l'Energie et de l'Environnement  
Spécialité : *Environnement*

Présentée et soutenue publiquement

Par

**ZARE Aïda**

Le 21 décembre 2015

---

## **Variabilité climatique et gestion des ressources naturelles dans une zone humide tropicale: une approche intégrée appliquée au cas du delta intérieur du fleuve Niger (Mali)**

---

### JURY

Mme. DE FRAITURE Charlotte, Professeur (UNESCO-IHE, Pays-Bas)	Rapporteur
M. KANE Alioune, Professeur titulaire (Université Cheikh Anta Diop, Sénégal)	Rapporteur
M. DA Dapola Evariste Constant professeur titulaire (Université de Ouagadougou, Burkina Faso)	Examineur
M. PERRET Sylvain, HDR (CIRAD, France)	Examineur
M. YACOUBA Hama, Professeur titulaire (2iE, Burkina Faso)	Directeur de thèse
M. MAHE Gil, Directeur de recherche (IRD/Université de Montpellier 2, France)	Directeur de thèse
<u>Membre invité</u> : M. BARBIER Bruno, Docteur (CIRAD, Sénégal)	

**Laboratoire HydroSciences Montpellier (HSM-UM2)**  
**Laboratoire Hydrologie et Ressources en Eau (LEAH-2iE)**

*À mon père*

« Entre, Ce que je pense, Ce que je veux dire, Ce que je crois dire, Ce que je dis, Ce que vous avez envie d'entendre, Ce que vous croyez entendre, Ce que vous entendez, Ce que vous avez envie de comprendre, Ce que vous croyez comprendre, Ce que vous comprenez... il y a dix possibilités qu'on ait des difficultés à communiquer. Mais essayons quand même... ».

Bernard Werber

## **Avant-Propos**

Cette thèse a été menée dans le cadre du projet AFROMAISON qui vise à fournir une boîte à outils et un cadre opérationnel pour la gestion intégrée des ressources naturelles en Afrique. Le projet comporte 5 cas d'études qui sont : le delta intérieur du fleuve Niger au Mali, le bassin versant de Oum Zessar en Tunisie, le cours supérieur du Nil bleu en Ethiopie, les monts Rwenzori et l'Albertine Rift en Ouganda puis les prairies du Drakensberg en Afrique du Sud.

Ce travail s'est focalisé sur le cas d'étude du delta intérieur du fleuve Niger et a été réalisé au sein du Laboratoire LEAH<sup>1</sup> de 2iE et des UMRs HSM<sup>2</sup> et GEAU<sup>3</sup> à Montpellier.

Je remercie vivement Gil MAHE pour la co-direction de ces travaux, le partage de son expérience sur l'hydrologie du delta intérieur du fleuve Niger, les remarques, suggestions et les encouragements. Je remercie également Hamma YACOUBA Directeur de la recherche à 2iE pour la codirection de cette thèse et sa disponibilité.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à Bruno BARBIER pour l'encadrement, le suivi, les divers moyens mis à disposition pour mener à bien ces travaux ainsi que les encouragements. Je lui renouvelle ma profonde gratitude pour le partage de sa grande expérience en agroéconomie et ce, depuis mon Master 1.

Je tiens également à remercier fortement Jean-Emmanuel PATUREL pour le co-encadrement, pour l'aide apportée lors de l'acquisition et du traitement des données hydrologiques. Ses remarques et recommandations ont été d'un apport appréciable pour ce travail.

Ma gratitude va également envers Abdoulaye DIARRA et Maïmouna BOLOGO/TRAORE pour le suivi, les encouragements ainsi que les divers apports pour l'amélioration et l'aboutissement de ce travail.

Je remercie également Harouna KARAMBIRI directeur de l'école doctorale de 2ie pour sa disponibilité à résoudre les divers problèmes ainsi que tout le personnel du 2ie pour les multiples services rendus.

J'exprime une profonde reconnaissance envers les partenaires du projet AFROMAISON pour l'expérience enrichissante durant le projet. Merci à l'équipe ISRTEA notamment Géraldine ABRAMI, Nils FERRAND et surtout Sylvie MORARDET pour les conseils et les divers services rendus lors de mes séjours à Montpellier. Merci également à WETLANDS International pour le soutien multiforme et particulièrement à Mori DIALLO et Frank VAN WEERT.

Je remercie Charlotte DE FRAITURE et Alioune KANE qui m'ont fait l'honneur d'accepter d'être les rapporteurs de ce présent document.

---

<sup>1</sup> Laboratoire Hydrologie et Ressources en Eau

<sup>2</sup> Hydrosociences Montpellier

<sup>3</sup> Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages

Il me tient tout particulièrement à remercier les parties prenantes du delta intérieur du fleuve Niger et les différents acteurs rencontrés sur le terrain pour le partage de connaissance, la bonne ambiance de travail et surtout l'hospitalité.

Ces travaux ont également été menés avec le concours financier du CIRAD qui a financé certains séjours à Montpellier, à travers l'AI, et de l'UEMOA pour l'octroi d'une bourse de fin de thèse à travers le programme de soutien aux femmes scientifiques. Merci à ces deux institutions pour cette aide financière qui ont contribué à mener à bien cette thèse.

Je remercie aussi Luc FERRY de L'IRD et Navon CISSE de la Direction Nationale de l'Hydraulique du Mali pour la mise à disposition des séries chronologiques de débit.

Je remercie mes amis doctorants / postdoctorants de 2iE et Montpellier pour la bonne ambiance, le soutien, les conseils, et les divers services rendus. Mention spéciale à Awa<sup>1</sup>, Noellie, Tadjouwa, Fowe, Bétéo, David, Eric, Awa<sup>2</sup>, Aziz, Emeline, et Paul.

Grand merci également à ma famille 'complice' (Césaire, Nasser au carré, Kader, Ismaël, Stan, Issaka, Atteib, Taoffick et Hervé), et à mes partenaires des 1500 coups (ma petite Alexandra, Alyx, Elsa et Valérie) pour avoir simplement toujours été présents.

Ma profonde gratitude et remerciement envers toute ma famille pour les bénédictions, les encouragements et le soutien moral.

Enfin, je voudrai remercier mon père à qui je dois tout, pour l'appui et le soutien qu'il a toujours été pour moi.

## Table de matière

<b>Avant-Propos</b> .....	i
<b>Résumé</b> .....	vi
<b>Abstract</b> .....	vii
<b>Liste des principaux sigles et acronymes</b> .....	viii
<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I. Problématique de gestion des zones humides en Afrique subsaharienne</b> .....	5
Introduction .....	5
I. Les zones humides : un écosystème menacé.....	6
1. La dynamique hydrologique ‘moteur’ de productivité des écosystèmes humides .....	6
2. Impacts des changements climatiques et de la régulation des cours d’eau sur les zones humides .....	8
II. La problématique de gestion des zones humides en Afrique subsaharienne .....	10
III- Conservation des zones humides: évolution des concepts de gestion .....	11
1. De la préservation à la conservation des zones humides .....	11
2. Conservation des zones humides et moyens de subsistances : une approche centrée sur les personnes .....	12
IV. Les incitations ou instruments économiques .....	13
1. Les instruments basés sur les droits de propriété .....	14
2. Instruments basés sur les prix .....	14
3. Les instruments juridiques, volontaires ou basés sur l’information .....	18
Conclusion partielle .....	20
<b>Chapitre II. Le milieu d’étude : le delta intérieur du fleuve Niger</b> .....	21
I. Le milieu naturel .....	21
1. Le réseau hydrographique du bassin amont du delta intérieur du fleuve Niger .....	21
2. Le réseau hydrographique du Delta Intérieur du fleuve Niger .....	23
3. Le régime climatique .....	25
4. Le fonctionnement hydrologique du delta intérieur du fleuve Niger .....	26
II. Le milieu humain .....	32
1. Population et activité .....	32
2. Dynamique spatio-temporelle et activités .....	34
3. Gestion des ressources naturelles dans le delta intérieur du fleuve Niger.....	36
4. Concurrence foncière, conflits et dégradations des ressources naturelles.....	47
Conclusion partielle .....	49
<b>Chapitre III. Données et Méthodologie générale</b> .....	51
Introduction .....	51
I. Données et Méthodologie.....	51
1. Analyse des données hydrologiques .....	51

2.	Elaboration des stratégies de gestion efficace des ressources naturelles du delta intérieur du Niger.....	52
3.	Perceptions de la prévision climatique dans le delta intérieur du Niger.....	54
4.	Modélisation hydroéconomique .....	55
II.	Aspect pluridisciplinaire de la thèse.....	56
1.	Les approches scientifiques mobilisées .....	56
2.	L'équipe encadrante .....	57
III.	Les difficultés rencontrées.....	57
1.	Les difficultés liées au rapprochement disciplinaire .....	58
2.	Les difficultés liées au terrain de recherche .....	59
	Conclusion partielle.....	60
<b>Chapitre IV. Etude de l'influence du Bani sur la variabilité saisonnière et interannuelle de la crue du fleuve Niger dans le Delta Intérieur du fleuve Niger .....</b>		
	Introduction .....	61
I-	Méthode d'analyse des données hydrologiques .....	62
1.	Données hydrologiques .....	62
II-	Méthodes d'analyse.....	63
III-	Résultats d'analyse .....	64
1.	Evolution des maximums de crue.....	64
2.	Analyse des dates de passage des maximums .....	67
3.	Délais de transfert des maximums de crue .....	73
IV.	Discussions .....	76
	Conclusion partielle.....	79
<b>Chapitre V. Stratégies de gestion durable des ressources naturelles du Delta Intérieur du fleuve Niger.....</b>		
	Introduction .....	81
I.	Méthode de développement des stratégies de gestion durable et de sélection des instruments économiques .....	82
1.	Elaboration des stratégies de gestion durable.....	82
2.	Processus de sélection des instruments économiques pour la gestion durable des ressources du delta .....	84
II.	Résultats de l'élaboration des stratégies de gestion durable des ressources du delta intérieur du fleuve Niger.....	85
1.	Les stratégies d'adaptation locales dans le delta intérieur du fleuve Niger.....	85
2.	Les stratégies de gestion durable des ressources du delta intérieur du fleuve Niger.	90
III.	Résultats de l'identification des instruments économiques applicables dans le delta intérieur du fleuve Niger.....	94
1.	Identification des comportements nécessitant une incitation économique.....	94
2.	Résultat de l'identification des instruments avec le DST et discussions avec les parties prenantes.....	94
c-	Critères de gouvernance .....	95
3.	Les résultats de la DeMax .....	100



IV- Discussion.....	104
1. Les stratégies de gestion durables des ressources naturelles.....	104
2. Les incitations économiques.....	107
Conclusion partielle.....	114
<b>Chapitre VI. Perception des prévisions climatiques et besoins en information climatique dans le delta intérieur du fleuve Niger .....</b>	<b>116</b>
Introduction .....	116
I- Collecte et analyse des données .....	117
II- Types de prévision climatique et dissémination de l'information au Mali .....	117
III- Analyse des perceptions de la prévision climatique et les besoins spécifiques des populations du delta intérieur du fleuve Niger .....	120
1. Description de l'échantillon enquêté .....	120
2. Information climatique : perception et besoin spécifique .....	121
3- Analyse des sources de la prévision climatique .....	124
IV- Prévisions climatiques et stratégie d'adaptation .....	126
1. Adaptation des pratiques culturelles.....	126
2. Adaptation des pratiques pastorales .....	127
3. Adaptation des pratiques de pêche .....	128
V- Discussions.....	128
Conclusion partielle.....	132
<b>Chapitre VII. Evaluation <i>ex ante</i> de l'impact de la prévision saisonnière et de la crue sur un système de riziculture traditionnel dans le delta intérieur du fleuve Niger.....</b>	<b>133</b>
Introduction .....	133
I- Méthode.....	134
1- Le site d'étude .....	134
2- Les paramètres d'entrée et le modèle .....	135
II- Résultats .....	141
1- Le scénario myope.....	141
2- Scénarios avec prévisions.....	145
4. Valeurs marginales des contraintes .....	150
5. Impacts des différents éléments de production : le crédit, le PIV et la cuvette.....	151
III- Discussions .....	153
Conclusion partielle.....	155
<b>Conclusions et perspectives .....</b>	<b>157</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>163</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>175</b>
<b>Glossaire.....</b>	<b>195</b>
Liste des tableaux .....	195
Liste des figures.....	197
<b>Valorisation.....</b>	<b>200</b>

## Résumé

Les sécheresses des années 1970 accentuées dans les années 1980 et les aménagements hydroagricoles ont eu pour conséquence une certaine dégradation des ressources naturelles du delta intérieur du fleuve Niger (DIN). Cette dégradation des ressources naturelles associées à la pression croissante de la population sur le milieu a conduit à une gestion conflictuelle de ces ressources. De plus, le système d'exploitation actuel des ressources et le fonctionnement hydrologique font du DIN un écosystème complexe à gérer.

Dans ces travaux, nous adoptons une approche intégrée et pluridisciplinaire pour aborder la problématique de gestion des ressources du DIN. L'approche mobilise l'hydrologie, la sociologie, l'agronomie et l'économie.

L'analyse des données hydrologiques a permis de mettre en évidence une différence significative entre les dates de passage des maximums des fleuves Niger et Bani qui alimentent le DIN. Cette différence impacte les calendriers des principaux systèmes de production contribuant ainsi à exacerber les conflits. Les stratégies de gestion élaborées avec les parties prenantes, allient des pratiques de sécurisation et de maîtrise de l'eau, d'intensification, de régénération des ressources, de renforcement des capacités et des incitations économiques.

Par ailleurs, dans un contexte de variabilité climatique accrue, nous avons analysé les perceptions d'un échantillon de pêcheurs, d'éleveurs et de cultivateurs sur la prévision du climat et sur l'intérêt des prévisions climatiques et des crues. Il apparaît que les besoins en information climatique des usagers d'une plaine inondable comme le DIN se rapportent surtout aux dates de début de saison, de passage des maximums de crue, de la date d'arrivée des crues et des hauteurs maximales de crue. L'intérêt économique simulé de l'information climatique pour un système agricole de riziculture inondée présente un gain moyen de 10%. Par contre, le coût des éventuelles erreurs de prévision serait particulièrement élevé pour les producteurs avec un déficit moyen sur le revenu de 24%.

**Mots clefs :** delta intérieur du fleuve Niger, variabilité climatique, stratégie de gestion, incitation économique, prévision climatique

## **Abstract**

The droughts of the 1970s intensified in the 1980s and the development of irrigation schemes upstream of the Inner Niger Delta in Mali (IND) have resulted in the degradation of natural resources. This degradation of natural resources associated with the increasing population pressure on the environment has led to a more conflictive management of these resources. In addition, the current operating system of resources and the hydrological functioning of the IND make the management of the ecosystem more complex.

In this work, we adopt an integrated and multidisciplinary approach to address the IND resource management issues. The approach mobilizes hydrology, sociology, agronomy and economy.

The analysis of hydrological data has highlighted a significant difference between the maximum passing dates of the two rivers that supply the IND. This difference impacts the schedules of the main production systems thus contributing to exacerbate conflict. The management strategies developed with stakeholders combine the practices of security and water control, intensification, resource regeneration, capacity building and economic incentives.

Moreover, in a context of increased climate variability, we analyzed the perceptions of a sample of fishermen, herders and farmers on climate prediction and their interest of climate and flood forecasts. It appears that the need for climate information of floodplain users as IND relate mainly to the onset date of rainy season, flood maximum passaging date, the arrival of floods and flood peak heights.

The simulated economic value of climate information for an agrarian system of flooded rice obtains an average gain of 10%. As against the cost of possible prediction errors is particularly high for producers with an average deficit on income of 24%.

**Keywords:** inland delta of the Niger River, climate variability, management strategy, economic incentives, climate forecasting

## Liste des principaux sigles et acronymes

<b>ABFN</b>	Agence du Bassin du fleuve Niger
<b>ABN</b>	Autorité du Bassin du Niger
<b>ACMAD</b>	African Center for Meteorological Application for Development
<b>ARM</b>	Assemblée Régionale de Mopti
<b>ASS</b>	Afrique Sub-Saharienne
<b>AVHRR</b>	Advanced Very High Resolution Radiometer
<b>CILSS</b>	Comité Inter-État de Lutte contre la Sécheresse au Sahel
<b>CNU</b>	Coordination Nationale des usagers (ères) des ressources naturelles
<b>DIN</b>	Delta Intérieur du fleuve Niger
<b>DMax</b>	Design Matrix
<b>DNCT</b>	Direction Nationale des Collectivités Territoriales
<b>DNEF</b>	Direction Nationale des Eaux et Forêts
<b>DNM</b>	Direction Nationale de la Météorologie
<b>DRA</b>	Direction Régionale de l'Agriculture
<b>DREF</b>	Direction Régionale des Eaux et Forêts
<b>DRH</b>	Direction Régionale de l'Hydraulique
<b>DRP</b>	Direction Régionale de la Pêche
<b>DRPIA</b>	Direction Régionale des Productions et Industries Animales
<b>DRPSIAP</b>	Direction Régionale de la Planification, de la Statistique et de l'Informatique, de l'Aménagement du Territoire et de la Population
<b>DST</b>	Decision Support Tool
<b>GAMS</b>	General Algebraic Modeling System
<b>GDRN5</b>	Réseau Gestion Décentralisée des Ressources Naturelles en 5ème Région
<b>GIEC</b>	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
<b>GIRE</b>	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
<b>ICRISAT</b>	International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics
<b>IE</b>	Instrument Economique
<b>IRN</b>	Institut des Ressources Naturelles
<b>LAO</b>	Loi d'Orientation Agricole
<b>PAZU</b>	Plan d'Action National des Zones Humides du Mali
<b>PDD-DIN</b>	Programme de Développement Durable du Delta Intérieur du Niger

<b>PNDE</b>	Politique Nationale de Développement de l'Élevage
<b>PNE</b>	Politique Nationale de l'Eau
<b>PRESAO</b>	Prévisions Saisonnières en Afrique de l'Ouest
<b>PSE</b>	Paiements des Services Ecosystémiques
<b>ODEM</b>	Opération pour le Développement de l'Élevage dans la région de Mopti
<b>OPIDIN</b>	Outil de Prédiction des Inondations dans le Delta Intérieur du Niger
<b>ORM</b>	Office Riz Mopti
<b>SED</b>	Stratégie Energie Domestique
<b>SFN/ABN</b>	Structure Focale Nationale de l'Autorité du Bassin du Niger
<b>SIEREM</b>	Système d'Informations Environnementales sur les Ressources en Eau et leur Modélisation
<b>SNDI</b>	Stratégie Nationale de Développement de l'Irrigation
<b>SNSA</b>	Stratégie Nationale de Sécurité Alimentaire
<b>Tp</b>	Temps de transfert
<b>UICN</b>	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
<b>USAID</b>	United State Agency for International Development
<b>VRES</b>	Valorisation des Ressources en Eaux de Surface en 5e région
<b>VSF</b>	Vétérinaire Sans Frontière
<b>WI</b>	Wetland International
<b>WOCAT</b>	World Overview of Conservation Approaches and Technologies
<b>ZH</b>	Zone Humide
<b>HSM</b>	Unité Mixte de Recherche « HydroSciences Montpellier »
<b>GEAU</b>	Unité Mixte de Recherche « Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages »

## Introduction générale

Les zones humides de la planète sont confrontées à des changements drastiques de leur environnement naturel et humain. Elles sont sous pression de la part des sociétés qui y vivent, qui les entourent et des sociétés plus lointaines dont les demandes diverses augmentent rapidement. Les Etats aussi interviennent sur les zones humides car ils les considèrent souvent comme des puits de productivité sous-utilisés. Certaines estimations ont montré que le monde aurait perdu 50 % des zones humides qui existaient au début du siècle (Galbraith *et al.* 2005, Maltby 2013). D'autres segments de la société s'inquiètent des bouleversements opérés sur les zones humides en termes de réduction de leur nombre et des services environnementaux fournis. Dans les années 1970, l'appel à la protection des zones humides a reçu une attention considérable à l'échelle mondiale. Ainsi, en 1971 naquit à l'issue de la Conférence Internationale à Ramsar en Iran la Convention RAMSAR sur les zones humides. Entrée en vigueur en 1975, la Convention RAMSAR est un traité intergouvernemental pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides d'importance internationale. La Convention définit les zones humides comme étant des '*étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres*'. Les zones humides représentent ainsi le seul groupe d'écosystème doté d'une convention internationale (Turner *et al.* 2000) et font partie des milieux les plus productifs au monde. Elles sont décrites comme étant '*les reins du paysage*' en raison des fonctions qu'elles exercent dans les cycles hydrologiques et chimiques, et comme '*supermarchés biologiques*' en raison du vaste réseau trophique et de la riche biodiversité qu'elles soutiennent (Ellison 2004). En effet, elles fournissent un large éventail de services écosystémiques<sup>4</sup> tels que l'apport en eau, la production d'aliment, de bois et de matériaux de construction, et constituent le berceau d'une remarquable diversité biologique. Elles participent à la recharge des nappes, à l'atténuation des effets d'inondations et du changement climatique, à la purification de l'eau, et à la rétention de sédiments.

Le nombre de zones humides à travers le monde a été estimé à 90 000 (Shamir and Verhoeven 2013). Matthews et Fung (1987) évaluent les superficies des zones humides entre 5,3 et 12,8 millions de km<sup>2</sup> et Mitsch et Gosselink (2000) à environ 7 à 9 millions de km<sup>2</sup> soit 4 à 6% des superficies terrestres. Les zones humides sont d'une grande importance économique. Par

---

<sup>4</sup> Ce sont les bénéfices que les hommes retirent des écosystèmes

exemple, services fournis par les plaines inondables qui recouvrent 1,4% de la terre et qui représentent 15% des superficies totales des zones humides, sont estimés à 19 580 \$/ha/an (Costanza *et al.* 1998) soit 25% de plus que tous les autres services écosystémiques terrestres (Tockner *et al.* 2008). En plus de leur importance économique elles présentent des milieux stratégiques, en particulier pour les populations africaines qui figurent parmi les plus pauvres et les plus vulnérables au monde. En Afrique, les zones humides couvrent une superficie de 220 000 à 1 250 000 km<sup>2</sup> (Bullock *et al.* 1998) soit 3 à 14% des superficies mondiales des zones humides et 1 à 16% de la superficie totale du continent (Koohafkan *et al.* 1998). Elles fournissent les moyens de subsistance de nombreuses populations et constituent la base de l'économie locale. Le delta de l'Okavango offre des moyens de subsistance pour environ 130 000 personnes pour un revenu global annuel de 250 millions de dollars (Rothert 1999). 9 millions de personnes dépendent des ressources du lac Tchad et 1,5 million du système Komadugu-Yobé (Silvius *et al.* 2000). Les zones humides constituent également des grandes pêcheries en Afrique et 5% de la population africaine, soit 35 millions de personnes, dépendent totalement ou partiellement de ce secteur (Bugenyi 1993). Les plaines inondables au Sud le long du Nil au Soudan fournissent 25% de la consommation de viande de la population locale (Drijver and Marchand 1985).

Environ 65% des zones humides de l'Afrique subsaharienne sont situées dans les 4 plus grands bassins versants que sont : le lac Tchad, le fleuve Niger, le fleuve Congo et le fleuve Nil (Rebelo *et al.* 2010). Suite à la péjoration climatique observée en 1970 et accentuée dans les années 1980, les baisses de précipitations se sont traduites par une baisse globale des écoulements. Aussi, l'accroissement des besoins alimentaires et énergétiques lié à la forte croissance démographique et économique des pays africains a conduit les Etats à développer massivement des barrages hydro-électriques. Ces barrages construits sur le cours des grands fleuves ou de leurs affluents ont également contribué à diminuer les débits. Principalement alimenté par les cours d'eau, on assiste à une baisse drastique des superficies des zones humides. De plus, la pression démographique qui s'y fait ressentir conduit à l'amenuisement des ressources de ces zones humides souvent décrites comme une artère vitale pour les milieux sahéliens. Classées parmi les milieux les plus productifs, les bouleversements d'ordres climatique et anthropique font des zones humides les écosystèmes les plus menacés. Pour protéger ces zones, la Convention RAMSAR préconise une utilisation rationnelle des ressources. L'utilisation rationnelle des zones humides '*est une exploitation durable, une utilisation au profit des générations futures d'une manière compatible avec le maintien des*

*propriétés naturelles de l'écosystème*' (Smart 1996). Ainsi, pour maintenir l'économie dans les zones humides et assurer la préservation des écosystèmes, surtout des milieux sahéliens, une des préoccupations scientifiques actuelles est de contribuer à mettre en place des stratégies de gestion durables de ces écosystèmes fragiles.

Cette étude menée sur le delta intérieur du fleuve Niger au Mali (DIN) s'inscrit dans cette logique. Le DIN est la plus vaste zone humide continentale d'Afrique de l'Ouest, et la seconde en Afrique après le delta de l'Okavango au Botswana. Espace original au cœur du Sahel, pêcheurs, éleveurs et agriculteurs exploitent tour à tour eau et terre pour consommer et exporter les ressources du DIN (De Noray 2003). La productivité du milieu est liée à la dynamique de la ressource en eau qui fluctue selon l'hydraulicité de l'année. Les sécheresses consécutives débutées en 1970 et les aménagements hydroagricoles effectués sur les cours d'eau tributaires ont entraîné une diminution des apports fluviaux résultant ainsi à une réduction des superficies inondées. Ceci a eu pour conséquence une baisse de la richesse du milieu car la productivité du milieu est associée à l'étendue annuelle et à la durée des inondations (Quensière 1994, Kuper *et al.* 2002, Orange *et al.* 2002). L'amenuisement des ressources associé à la croissance exponentielle de la population entraînent l'adoption de pratiques de production dégradantes et une surexploitation pour pallier les besoins croissants des populations. La population du DIN est passée de 266 000 habitants en 1954 à 1 730 223 habitants en 2009 (Bouaré 2012) pour des superficies inondées ne représentant que 50% de celles inondées avant les sécheresses.

Dans un tel contexte de déficit hydrologique et de pression démographique, comment gérer efficacement les ressources du DIN ?

L'objectif de cette thèse porte sur la gestion intégrée et durable des ressources naturelles d'une zone humide comme le DIN. Les questions de recherche auxquelles nous avons tenté de répondre sont les suivantes :

- 1) Quel est le fonctionnement hydrologique du DIN ?
- 2) Quelles stratégies de gestion durable pour les ressources du DIN ?
- 3) Quelle incitation économique pour la gestion rationnelle du DIN ?
- 4) Quelles perceptions des prévisions climatiques et quels besoins en information climatique pour les usagers du DIN ?
- 5) Quel est l'intérêt économique de la prévision climatique ?

Pour répondre à ces différentes interrogations, ces travaux ont nécessité la mobilisation et la mise en cohérence de différentes approches issues des sciences « *dures* » et des sciences



sociales permettant de mieux comprendre la problématique de développement d'un delta en relation avec les ressources naturelles, et de formuler *in fine* des stratégies de gestion durable du DIN.

Le plan de cette étude s'articule autour de 7 chapitres.

Un premier chapitre présente, succinctement l'importance des zones humides, leur mode de fonctionnement ainsi que leur problématique de gestion. Le chapitre 2 fait état d'une présentation du DIN, son fonctionnement hydrologique, les modes d'exploitation de ses ressources et les systèmes de gestion. Le chapitre 3 présente la méthodologie générale, les disciplines mobilisées ainsi que les difficultés rencontrées. Le chapitre 4 est une synthèse des résultats du traitement des données hydrologiques ayant contribué à une meilleure connaissance de la dynamique hydrologique du DIN. Le chapitre 5 présente les stratégies de gestion durable des ressources du DIN ainsi que les incitations économiques. Les chapitres 6 et 7 traitent des prévisions climatiques. Le chapitre 6 porte sur la perception et les besoins en information climatique, et le chapitre 7 sur l'intérêt économique des prévisions.

# Chapitre I. Problématique de gestion des zones humides en Afrique subsaharienne

## Introduction

Les zones humides (ZH) sont des milieux divers tant sur le point spatial que temporel et également selon leur hydrologie, leur taille, l'écologie et leur géomorphologie. Il existe plusieurs définitions (plus de 50 notés par Dugan (1990)) et plusieurs classifications des ZH (Dugan 1990, Rebelo *et al.* 2009, Sakané *et al.* 2011, Roggeri 2013) mais la plus couramment utilisée est celle de la Convention RAMSAR. La Convention définit les ZH comme étant des 'étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres'. Ainsi, selon la convention, on distingue 5 catégories de ZH qui sont :

- les marines (les zones humides côtières, y compris les lagunes côtières, les côtes rocheuses et des récifs coralliens)
- les estuariennes (y compris les deltas, des marches de marée de mangroves des marais)
- les lacustres (les zones humides associées à des lacs)
- riveraines (les zones humides le long des fleuves, rivières et ruisseaux)
- les palustres ou les marécageuses (les marais, marécages et tourbières)

Les ZH sont des environnements uniques où la combinaison de la terre et l'eau fournit de nombreux services écosystémiques (Tableau I-1).

**Tableau I-1.** Services écosystémiques fournis ou dérivés des zones humides (Wood *et al.* 2013)

Services	Commentaires et exemples
<b>Approvisionnement</b>	
Nourriture	Production de poisson, viande sauvage, fruits et grains
Eau douce	Rétention et stockage de l'eau pour usage agricole, domestique,...
Fibres et combustible	Production de grumes, bois de feu, tourbe et fourrage
Biochimique	Extraction de plantes médicinales ou d'autres matériaux du biotope
Matériel génétique	Gènes de résistance aux agents pathogènes des plantes, espèces ornementales, etc.
<b>Régulation</b>	
Du climat	Influence la température locale et régionale, les précipitations...
Des crues	Recharge/restitutions des eaux souterraines
Purification de l'eau et traitement des déchets	Rétention, reprise et élimination des excès de nutriments et autres polluants
De l'érosion	Rétention de sols et de sédiments

Des risques naturels	Atténuation des inondations et protection contre les tempêtes
Pollinisation	Habitats pour les pollinisateurs
<b><i>Culturel</i></b>	
Spirituel et inspirant	Sources d'inspiration, plusieurs religieux accordant des valeurs spirituelles et religieuses aux écosystèmes des zones humides
Récréatif	Favorable pour des activités récréatives
Esthétique	Beauté esthétique des écosystèmes
Education	Opportunités formelle et informelle pour l'enseignement et l'apprentissage
<b><i>Support</i></b>	
Formation de sol	Rétention de sédiments et accumulation des matières organiques
Cycle des nutriments	Stockage, recyclage, traitement et acquisition de nutriments

En Afrique subsaharienne (ASS) les ZH couvrent approximativement 1 146 222 à 1 448 771 km<sup>2</sup> selon que l'on prenne en compte ou non les lacs, les rivières, les fleuves et les réservoirs ; soit 4,7 à 6% de la superficie continentale (Rebelo *et al.* 2009). Elles constituent un écosystème essentiel pour les populations qui vivent au sein ou à proximité car elles fournissent les moyens de subsistance et constituent souvent la base de l'économie locale.

## **I. Les zones humides : un écosystème menacé**

### **1. La dynamique hydrologique 'moteur' de productivité des écosystèmes humides**

Environ 65% des ZH de l'Afrique subsaharienne sont situées dans les 4 plus grands bassins versants à savoir les bassins du lac Tchad et des fleuves Niger, Congo et du Nil (Rebelo *et al.* 2010) et les plus vastes sont les plaines inondables saisonnières (Drijver and Marchand 1985). Les plaines inondables sont définies comme étant des terres en contrebas (de faible altitude), soumises à l'inondation des eaux par débordement latéral des fleuves/rivières ou des lacs auxquels elles sont associées (Junk and Welcomme 1990). Cette définition inclut les plaines d'inondation frangeantes<sup>5</sup> de lacs et de fleuves/rivières, les deltas intérieurs et les plaines d'inondation deltaïques des estuaires. Les caractéristiques topographiques générales des plaines inondables sont les suivantes (Mitsch and Gosselink 1993, Ward and Stanford 1995) : (i) les versants formants les côtés (ii) les terrasses, des plaines autres fois inondées à des altitudes supérieures (iii) les plaines actives (inondées chaque année) (iv) les digues naturelles qui se forment le long du fleuve par sédimentation (v) des méandres (vi) des canaux de

<sup>5</sup> Qui ceinturent le littoral.

drainage naturels formant des connexions entre la plaine et le lit du cours d'eau, puis (vii) les plans d'eau permanents et temporaires.

Les régimes hydrologiques des cours d'eau déterminent en grande partie les propriétés physiques et par voie de conséquence la productivité biologique de ces plaines (Junk *et al.* 1989, Mitsch and Gosselink 2000, Junk and Wantzen 2004). C'est la notion du 'flood pulse' ou impulsion des crues. Le Tableau I-2 présente quelques exemples de plaines inondables associées aux systèmes fluviaux ainsi que leurs étendues.

**Tableau I-2.** Exemples de plaines inondables fluviales et leur étendue en Afrique subsaharienne

Cours d'eau	Plaines inondables	Superficies (km <sup>2</sup> )	Références
Le système fluvial du Congo	La plaine du Lualaba, du Kamulondo, du Malagarasi (Congo)	70 000	Junk et Welcomme (1990)
Le fleuve Niger et son affluent la Bénoué	Le delta du Niger (Nigéria) et les plaines de la Bénoué (Nigéria)	38 000	
Le Nil	Le Sudd (Soudan)	93 000	
Le fleuve Zambèze et ses affluents	Kafué flats (Zambie), les plaines du Barotsé (Zambie), et de Liuwa (Zambie)	19 000	
La rivière Pongolo (Pongola)	La plaine Pongolo (Mozambique)	100	
La rivière Mareb (Gash)	Le delta intérieur du Soudan (Soudan)	3 000	
La rivière Tana	Le delta du Tana (Kenya)	670	
La rivière Okavango	Le delta de l'Okavango (Botswana)	22 000	McCarthy <i>et al.</i> (1991)

Pendant l'inondation saisonnière, l'impulsion des crues des cours d'eau assure la connectivité entre le fleuve, les plaines, les échanges avec les nappes souterraines et d'autres habitats comme les forêts, les lacs, les mares, ... C'est cette connectivité spatio-temporelle entre les différents biotopes couplés au niveau variable des cours d'eau qui assure le maintien de l'intégrité écologique des plaines inondables.

Ainsi, la durée et l'étendue de l'inondation des plaines inondables dépendent des apports des bassins supérieurs des cours d'eau qui les alimentent avec le plus souvent une faible contribution de la pluviométrie locale. Par exemple l'inondation du delta du Tana dépend à 95% des apports de la rivière Tana (Hamerlynk *et al.* 2012), qui prend sa source à 1 000 km en amont dans les régions montagneuses du Kenya. L'inondation du delta de l'Okavango dépend à 68% des apports de la rivière Okavango qui prend sa source dans les régions montagneuses de l'Angola et apporte un volume de 10,5 km<sup>3</sup>/an (Gumbrecht *et al.* 2004, Kgathi *et al.* 2006). Le Logone-Chari apporte 82% des volumes totaux du lac Tchad

(Sircoulon 1987). Ainsi, une perturbation des régimes des fleuves constitue une menace pour l'intégrité écologique des plaines inondables.

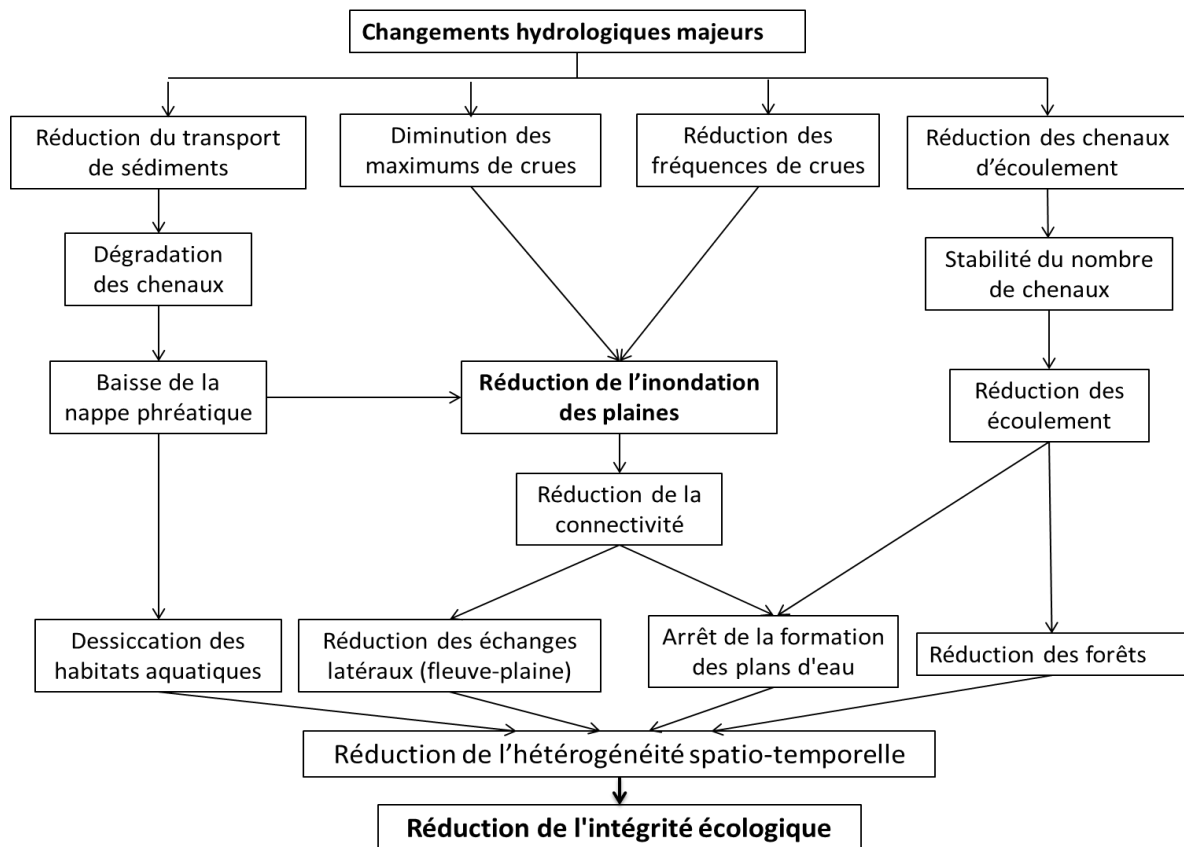
## **2. Impacts des changements climatiques et de la régulation des cours d'eau sur les zones humides**

### ***a. Changements climatiques et régulation des cours d'eau***

La décennie 1970 est marquée par une rupture dans les séries chronologiques hydroclimatiques en ASS se traduisant par un déficit pluviométrique qui atteint son paroxysme pendant la décennie 1980 (Lamb 1982, Carbonnel and Hubert 1985, Hulme 1992, Le Barbé *et al.* 2002). En Afrique de l'ouest et en Afrique centrale on assiste à une diminution généralisée des pluies de l'ordre de 5 à 20% suivant les régions (Mahe *et al.* 2005). Le déficit en eau en Afrique Atlantique humide est de 375 km<sup>3</sup> soit -16% par rapport à la période 1951-1990 et de -27% pour l'Afrique atlantique sèche (Olivry *et al.* 1998). Les longues années de sécheresse ont provoqué le tarissement des eaux souterraines conduisant à des déficits hydrologiques plus accentués que les déficits pluviométriques (Olivry 1987, Mahé *et al.* 2000).

Pour s'adapter aux effets des changements climatiques et contribuer au développement économique des pays d'ASS, de nombreux aménagements, notamment des barrages, ont été construits pour l'alimentation en eau potable, des projets d'irrigation, et pour la production d'hydroélectricité. La régulation du débit par les barrages a perturbé les régimes naturels en aval.

Les perturbations des débits de cours d'eau dues aux changements climatiques et à la régulation par les barrages se sont traduites par la réduction des apports fluviaux, des pointes de crue, de la fréquence, de l'étendue et de la durée de l'inondation des plaines inondables, une réduction des échanges de sédiments (sédimentation au niveau de la retenue). La Figure I-1 résume l'influence des changements hydrologiques sur l'écosystème des plaines inondables.



**Figure I-1.** Quelques implications des changements hydrologiques (réductions des débits) sur les plaines inondables (basé sur Ward & Stanford 1995)

Les études sur les conséquences du déficit hydrologique dû aux changements climatiques et à la régulation des cours d'eau sur les écosystèmes des zones humides sont nombreuses. On peut citer Hollis (1990), Dugan (1992), Tchamba *et al.* (1995), Thompson et Hollis (1995), Coe et Foley (2001), Loth et Acreman (2004), Mumba et Thompson (2005), Schuyt (2005), Murray-Hudson *et al.* (2006) et Odada *et al.* (2006).

### ***b. Explosion démographique et dégradation des ressources naturelles***

La croissance rapide de la population constitue une menace pour les zones humides car elle induit une pression sur ses ressources (Scoones 1991, Kolberg *et al.* 1997, Kairu 2001, Dixon and Wood 2003).

En ASS, l'agriculture dépend fortement des conditions pluviométriques et avec les sécheresses des années 1970 et 1980, les ZH sont devenues un écosystème prisé. Cet intérêt des ZH vient du fait qu'elles restent humides plus longtemps après la fin des saisons de pluies et parfois tout au long de la saison sèche. Les besoins alimentaires des populations à croissance rapide ont contribué au développement des ZH au profit de l'agriculture

(Woodhouse *et al.* 2000, Dixon and Wood 2003). Mais le développement de l'agriculture s'est fait au détriment de la conservation des ressources naturelles avec une augmentation du taux de déforestation et le défrichement des zones de pâturages. Hoekstra *et al.* (2005) estiment que 26,6% des prairies et savanes inondées ont déjà été converties.

Avec les sécheresses, les ZH ont également été prisées par les éleveurs, car elles représentent des points d'abreuvements mais aussi des zones de pâturages plus riches que les zones sèches environnantes (Léauthaud-Harnette 2013).

La pression démographique a également induit une pression sur les pêcheries des ZH par une surexploitation de la ressource et l'usage de pratiques et techniques néfastes (Bootsma and Hecky 1993, Ogutu-Ohwayo and Balirwa 2006).

Ainsi, la croissance démographique a induit une pression sur les ressources qui s'est traduite par une surexploitation au détriment de la conservation des ressources naturelles.

## **II. La problématique de gestion des zones humides en Afrique subsaharienne**

La mise en œuvre effective des 'bonnes pratiques' de gestion des ZH est souvent entravée par trois facteurs principaux (Turner *et al.* 2007, Ostrovskaia *et al.* 2013) :

- ✓ Les faiblesses internes : les ZH sont des ressources communes aux limites et droits de propriété imprécis. Une ressource commune est une ressource à laquelle il est difficile d'exclure les bénéficiaires potentiels de son utilisation. Dans le même temps, les ressources sont 'soustrayable', ce qui signifie que l'utilisation de la ressource diminue la possibilité d'utilisation par des tiers. Cela peut conduire à une 'tragédie des communs'. Lorsque la rationalité individuelle et la rationalité collective divergent dans l'usage des ressources communes, le total des unités de ressources prélevées sur le stock de ressources sera supérieur au niveau économique optimal de prélèvement. Cela conduit à des conflits entre les intérêts individuels et collectifs.

À cela, il faut ajouter les limites des politiques qui manquent souvent de cohérence dans la gestion des ressources naturelles (Schuyt 2005).

- ✓ Les faiblesses externes : les zones humides font partie d'un système plus vaste, l'échelle du bassin. Le développement des bassins impacte sur les ZH (ex. : régulation des cours d'eau), même si le développement réel se produit en dehors de la ZH. Les externalités de ces développements (qui peuvent paraître distante dans le temps et l'espace) sont souvent peu évaluées ou non prises en compte.

- ✓ Le manque d'information : les usagers des ZH ne sont pas suffisamment informés des options d'utilisation et de développement durable. Les parties prenantes manquent d'information sur le fonctionnement des ZH et leurs bénéfices.

En ASS, en plus de ces contraintes, il y a les faibles capacités de gestion (Schuyt 2005), principalement le manque de ressources financières, logistiques et humaines.

### **III- Conservation des zones humides: évolution des concepts de gestion**

Face à la pression anthropique et climatique, les zones humides font partie des écosystèmes les plus menacés au monde. La conservation de cet écosystème nécessite une bonne gestion de ses ressources. Définir ce qui constitue une 'bonne' gestion des zones humides est une chose délicate, car ce qui est considéré comme 'bon' est susceptible de différer entre les utilisateurs / parties prenantes et d'un endroit à l'autre (Ostrovskaya *et al.* 2013). Nonobstant cette définition délicate, des concepts de bonne gestion des zones humides ont été élaborés.

#### **1. De la préservation à la conservation des zones humides**

D'un point de vue de la biologie, la conservation des zones humides est la protection des espèces et de la biodiversité. Les premiers textes de la convention RAMSAR se focalisaient sur une préservation des ZH ou la conservation d'un point de vue biologique. En théorie il y a une nuance entre une approche conservation, qui tend à associer à la gestion des ZH une utilisation durable des ressources, et la préservation qui implique la protection contre toute forme d'utilisation (Pepper 1996). Les premiers textes de la convention RAMSAR qui ont influencé pendant longtemps les politiques de gestion des ZH stipulaient que les ZH et leurs nombreuses fonctions écologiques devraient être protégées contre l'empiétement humain en faveur des oiseaux d'eau (Wood *et al.* 2013). Par la suite, les textes suggèrent que les pays devraient également promouvoir autant que possible leur utilisation rationnelle. Avec l'émergence du concept du développement durable, les politiques de gestion des ZH ont intégré les 3 principes fondamentaux du développement durable, c'est à dire :

- « Environnementalement » durable : qui signifie privilégier les stratégies d'utilisation ou les plans de gestion (qui peuvent inclure l'agriculture) qui ne dégradent pas et assurent le maintien de tous les services écosystémiques pour les générations futures.



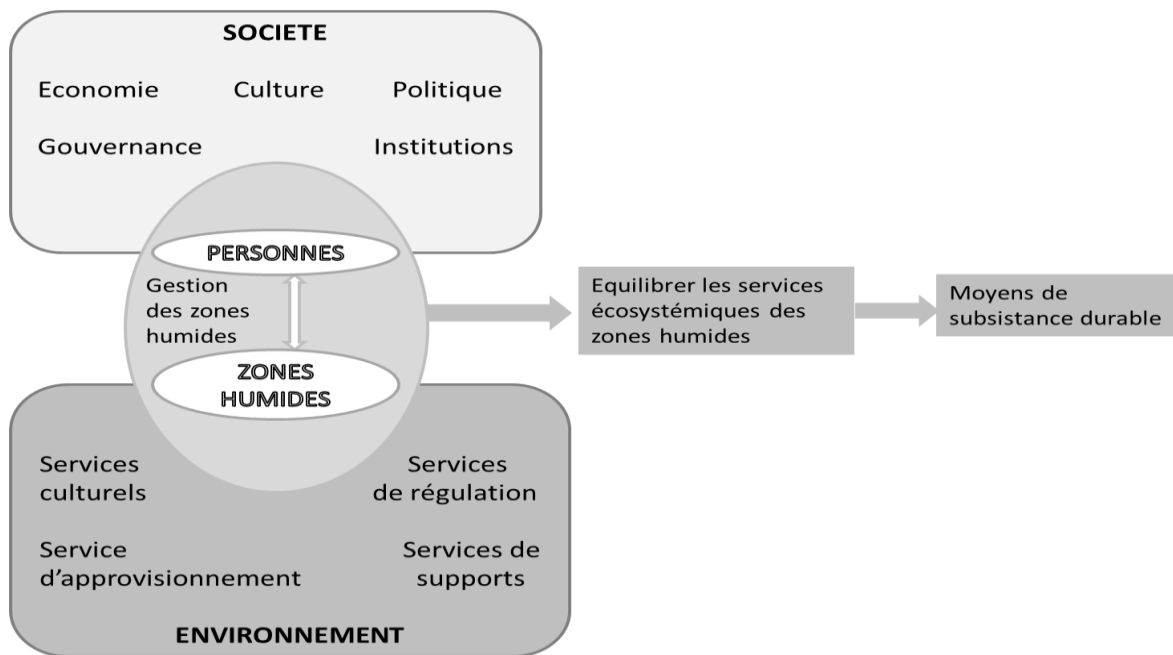
- Economiquement durable : qui signifie favoriser les stratégies d'utilisation qui sont économiquement attractives pour les utilisateurs, mais également avec des avantages de développements économiques à long terme.
- Socialement durable : qui signifie que la gestion et l'utilisation des ZH doivent être développées avec les populations locales et fondées sur la connaissance locale. La gestion des ZH doit être socialement et économique équitable afin d'éviter les conflits qui peuvent entraver l'utilisation durable.

Ainsi, la convention RAMSAR formalise en 1987 le concept d'utilisation rationnelle ou 'wise use' des ZH. L'utilisation rationnelle des zones humides est une utilisation durable pour le bénéfice des hommes d'une manière compatible avec le maintien des propriétés naturelles des écosystèmes. L'utilisation rationnelle est définie comme étant l'utilisation humaine d'une ZH de sorte à couvrir les besoins des générations actuelles tout en maintenant sa capacité à répondre aux besoins et aspirations des générations futures.

## **2. Conservation des zones humides et moyens de subsistance : une approche centrée sur les personnes**

Au cours des 30 dernières années, plusieurs courants ont influencé le processus de gestion des ZH. On distingue notamment l'approche basée sur la communauté qui préconise la prise en compte des savoirs locaux et l'implication des populations dans les processus de gestion des ressources naturelles (Robert 1983, Warren *et al.* 1995, Reij and Waters-Bayer 2001). Il y a également l'approche basée sur la théorie des systèmes socio-écologiques qui recommande le renforcement de la résilience (à la fois sociale et écologique) et la capacité d'adaptation comme un moyen de faciliter le développement durable (Berkes and Folke 1992, Folke *et al.* 2002) ; enfin l'approche basée sur le concept de la gestion intégrée des ressources naturelles qui préconise à la fois la participation de tous les acteurs à toutes les échelles et l'interdisciplinarité dans la gestion des ressources naturelles (Orange 2002).

Wood *et al.* (2013) ont développé une approche qui intègre les principes fondamentaux des autres. C'est l'approche centrée sur les personnes. Ce paradigme soutient que les populations doivent être reconnues en tant que gestionnaires-utilisateurs actifs, et non pas en tant que gestionnaire de la conservation. La figure I-2 fournit une représentation schématique de cette nouvelle approche.



**Figure I-2.** L'approche centrée sur les personnes pour la gestion des zones humides continentales en Afrique (Wood *et al.* 2013).

L'utilisation durable des ZH ne sera possible que lorsque les usagers seront responsabilisés et auront des droits de propriété clairs en tant qu'utilisateurs et gestionnaires. Cela nécessitera un cadre politique favorable qui inclut la garantie des accès aux ZH et des incitations appropriées qui rendent les efforts d'utilisation rationnelle valables.

#### **IV. Les incitations ou instruments économiques**

Les incitations ou instruments économiques (IE) sont des mesures visant à réduire la surexploitation et inciter l'utilisation durable des ressources (McNeely 1988, 1993). Ils fournissent « la carotte et le bâton » pour motiver les comportements qui vont dans le sens de la conservation des ressources naturelles.

Un IE vise donc à influencer la manière dont les usagers utilisent les ressources naturelles et gèrent leur environnement. Il fournit les incitations pour que les utilisateurs des ressources naturelles paient pour les coûts sociaux de cet usage, ou bénéficient de la gestion durable des ressources et de l'environnement. Contrairement à l'approche traditionnelle technique qui tend à supprimer les symptômes du mauvais usage de la ressource, les IE sont destinés à traiter la cause et faciliter la répartition des coûts et des avantages de la conservation des ressources naturelles (Sorensen *et al.* 1984). Les IE fournissent des incitations à la conservation ou/et des mécanismes dissuasifs pour décourager le mauvais usage de la ressource.

Les IE sont classifiés en trois principaux groupes à savoir les instruments basés sur les droits de propriété, les instruments basés sur les prix et les instruments juridiques, volontaires ou basés sur l'information.

### **1. Les instruments basés sur les droits de propriété**

L'approche basée sur les droits de propriété a pour but d'établir ou de consolider le concept de propriété et de renforcer les incitations privées pour la conservation, et soutenir d'autres outils de conservation basés sur le marché. Selon le concept de la tragédie des biens communs de Hardin (1968), la gestion de biens communaux, notamment les ressources renouvelables, conduit inévitablement à une surexploitation de la ressource jusqu'à sa disparition. Les profits issus de l'usage des ressources étant individualisés et les coûts étant partagés, l'intérêt de chacun est d'exploiter au maximum la ressource. Avec le droit de propriété, l'épuisement des ressources concerne uniquement le propriétaire, ce qui devrait induire une gestion rationnelle. Les droits de propriété sont particulièrement applicables à la terre et les sols (droits fonciers), les ressources en eau (droits d'eau), en minéraux (droits miniers) et en d'autres ressources naturelles qui peuvent être morcelées ou délimitées facilement. Les droits de propriété peuvent être déclinés sous différentes formes tels que les titres fonciers, les droits d'eau, les droits d'usage (licences, concession, certificats usufruit) ...

On distingue deux instruments dans ce groupe :

- ✓ Le **renforcement des droits de propriété**
- ✓ La **garantie des droits d'utilisation**

### **2. Instruments basés sur les prix**

Sous ce groupe, on distingue 5 catégories d'instruments.

#### *a. La création de marchés*

C'est un mécanisme basé sur l'échange des droits d'usage, sans qu'il y ait transfert de la propriété de l'objet, ou de la terre qui constitue le support matériel de ces usages (Karsenty and Weber 2004). Cette catégorie d'instruments vise à renforcer le rôle du marché dans l'orientation de l'allocation et l'utilisation des ressources. La création du marché utilise des IE pour nourrir la demande et fournir de nouveaux types de biens et services environnementaux ou créer une nouvelle valeur marchande des biens et services existants. Sous cette catégorie, on distingue les instruments tels que **les permis, quotas et titres échangeables**. Les systèmes de permis commercialisables/négociables permettent à une autorité de délivrer un nombre fixe

de permis ou de ‘droits’ égaux au niveau d’un usage autorisé. Les permis sont ensuite distribués parmi les utilisateurs et un marché de permis est établi avec des permis échangeables entre les utilisateurs. Les utilisateurs qui désirent des niveaux inférieurs à leurs permis peuvent vendre ou louer leurs lots excédentaires à d’autres utilisateurs.

*b. Les instruments fiscaux*

Ils se basent sur la fiscalité pour dissuader les modes de production et les pratiques de consommation néfastes à l’environnement. On distingue sous cette catégorie :

✓ **La différenciation des taxes**

Elle repose sur les taux d’impôts pour faire la différence entre les catégories de biens avec des taux variables ou des allègements fiscaux prévus pour les classes allant dans le sens de la conservation de la ressource. Il peut également s’agir de variations des impôts indirects (ex. : TVA) à des fins environnementales. Les biens et services qui sont associés à un impact environnemental ou de dommages considérables dans la production et la consommation peuvent être taxés plus lourdement.

✓ **Les taxes sur les intrants et les productions**

Ce sont des taxes sur des produits dont la production ou la consommation sont associées à des externalités de pollution, quoiqu’indirectes. Ces taxes induisent la réduction de l’utilisation de ces produits et la production de polluants.

✓ **Les taxes sur la pollution**

Cet instrument est basé sur le principe de pollueur-payeur. C’est une taxe sur les rejets d’effluents pour décourager les pollutions diffuses.

*c. Les systèmes de charges*

Ils sont définis comme étant des frais pour l’usage des ressources, des infrastructures et des services. Ces frais ne sont pas déterminés par le marché, mais sont fixés administrativement par un organisme gouvernemental, un service public, ou d’autres types de monopole de nature réglementée. Cela est un contraste avec les taxes qui ne sont pas des paiements de ‘services’ mais un moyen de générer des recettes fiscales. La seconde différence est que les taxes sont reliées au budget, faisant partie des recettes générales du gouvernement tandis que les frais sont extrabudgétaires, visant à récupérer les coûts pour un investissement public spécifique ou, plus précisément, pour financer le coût marginal à long terme de l’approvisionnement. Comme instrument il y a :

✓ **Les redevances sur les produits ou prélèvements**

Il s'agit d'une marge bénéficiaire sur le prix d'un produit générateur de pollution et le montant est basé sur le taux réel de la pollution.

✓ **Les frais d'amélioration**

Il s'agit d'une redevance perçue des propriétés privées bénéficiant de projets publics. Par exemple, la valeur des propriétés privées peut augmenter à la suite de l'aménagement d'un parc à proximité. Des frais d'amélioration peuvent être perçus pour le recouvrement partiel des coûts. Ceci est une application du principe 'bénéficiaire-payeur'.

✓ **Les frais d'impact**

Ils visent à internaliser les coûts externes des investissements privés sur le paysage ou l'environnement (construction, tourisme ou développement industrie etc.). Par exemple, une charge peut être imposée par m<sup>2</sup> d'endroits construits. Ils peuvent être considérés comme étant l'opposé des frais d'amélioration.

✓ **Les frais d'accès**

Ce sont des frais pour acquérir les droits d'accès à un environnement ou une ressource. Ce sont par exemple, des frais d'accès à la biodiversité tels que les jardins botaniques, les réserves fauniques, les plages ou les honoraires versés par les navires ayant accès aux zones étrangères de pêche.

✓ **Systèmes administratifs**

Ce sont les frais de service pour la mise en œuvre d'une réglementation/surveillance d'une ressource.

**NB**: la différence entre les instruments fiscaux et les systèmes de charge peut être définie ainsi :

(i) les instruments fiscaux sont conçus pour modifier les prix et donc le comportement des producteurs et des consommateurs tout en générant un revenu.

(ii) les systèmes de charges sont conçus pour couvrir partiellement ou totalement les coûts des services et des mesures d'atténuation.

**a- Instruments financiers**

En lieu et place de la taxation des usagers pour une gestion rationnelle des ressources, ils peuvent être subventionnés pour gérer durablement les ressources. Les instruments financiers qui permettent cela sont :

✓ **Les subventions**

Elles sont généralement définies comme des remboursements, des paiements positifs ou des incitations économiques offertes aux particuliers ou aux entreprises pour compenser les dépenses ou les efforts d'une gestion rationnelle des ressources naturelles. Il existe différents types de subventions telles que les subventions financières ou financements directs, ou des subventions sous forme de matériels...

✓ **Les paiements des services écosystémiques (PSE)**

Ils sont définis comme une transaction volontaire où les bénéficiaires (utilisateurs) d'un service environnemental effectuent des paiements ou fournissent d'autres avantages non financiers aux vendeurs (Wunder 2005). C'est 'acheter' un service à un fournisseur de services environnemental si et seulement si le fournisseur assure la qualité et la quantité de ce service.

*d. Les obligations environnementales et les systèmes de consigne*

Ils visent à transférer la responsabilité de contrôle et de surveillance aux usagers d'une ressource en tarifant à l'avance les dommages potentiels de l'exploitation. Une grande partie des dépenses publiques sur l'environnement est consacrée à la restauration des milieux dégradés (ex : nettoyer les déversements de pétrole et des sols contaminés, remise en état des terres abandonnées après l'exploitation minière...). Ces dépenses peuvent être évitées ou payées par les pollueurs ou les bénéficiaires des activités responsables. Le gouvernement peut réduire sa part de la facture en adoptant les instruments suivants.

✓ **Les obligations de remise en état**

Elles sont effectuées avant une activité nuisible à l'environnement et ces paiements sont utilisés pour la réhabilitation post-opératoire.

✓ **Les performances environnementales**

Elles permettent de s'assurer que (i) des mesures adéquates sont prises pour réduire au minimum les potentiels dommages environnementaux causés par une activité; (ii) des ressources financières sont disponibles pour le nettoyage et la restauration des dommages résiduels. Les fonds sont retournés lorsque la performance est jugée acceptable.

✓ **Obligations pour accidents environnementaux**

Elles sont versées au début d'une activité à risque élevé, qui pourrait entraîner des dommages environnementaux ; et permettent d'assurer la disponibilité des ressources pour les opérations de restauration nécessaires.

### **3. Les instruments juridiques, volontaires ou basés sur l'information**

On distingue 3 catégories d'instruments.

#### *a. Les instruments de responsabilité*

Ils visent à induire un comportement socialement responsable en établissant la responsabilité juridique pour (i) des dommages aux ressources naturelles (ii) des dommages environnementaux (iii) des dommages à la santé ou la perte de vie humaine (iv) le non-respect des lois et règlements sur l'environnement et (v) le non-paiement des impôts droits ou redevances dues. Les systèmes de responsabilité des risques environnementaux permettent d'évaluer et couvrir les dommages ex-post mais influencent les comportements ex-ante des partis potentiellement responsables. On distingue comme instrument :

##### ✓ **Responsabilité juridique**

On rend un agent légalement responsable des dommages liés à un accident ou une action qui porte atteinte à l'environnement naturel.

##### ✓ **Charges de non-conformité**

Une redevance est imposée à un agent qui ne se conforme pas aux exigences et réglementations environnementales.

##### ✓ **Responsabilité aux dommages des ressources naturelles**

Elle se rapporte généralement à un préjudice, destruction, perte ou perte d'usage des ressources naturelles qui ne constituent pas une propriété privée. Les ressources doivent plutôt appartenir ou être contrôlées par le gouvernement fédéral, l'état ou les collectivités locales, étrangères ou tribales.

#### *b. Les instruments volontaires*

Ils relèvent d'initiatives personnelles sans contrainte pour la protection ou la gestion rationnelle des ressources naturelles. On distingue :

##### ✓ **Les accords environnementaux volontaires**

Des accords formels négociés entre les groupes ou agents du gouvernement ou utilisateurs d'une même ressource pour limiter l'utilisation excessive ou d'encourager la gestion durable des ressources naturelles.

##### ✓ **Certification environnementale**

C'est une attestation de mise en œuvre de bonnes pratiques de production qui ne compromettent pas la résilience environnementale et l'intégrité dans le processus de production.

*c. Instruments basés sur l'Information*

Ils visent à informer le public sur les processus de production d'un produit ou d'une entreprise.

✓ **La labellisation**

Elle montre aux consommateurs que la production est respectueuse de l'environnement. Les produits sont directement étiquetés comme étant respectueux de l'environnement ou répondant à certains critères (par exemple la faible consommation d'énergie).

✓ **La divulgation publique**

Elle met à la disposition du public des informations sur les pratiques ou le mode de gestion de l'environnement.

L'ensemble des instruments est résumé dans le Tableau I-3.

**Tableau I-3.** Instruments économiques pour la gestion durable des ressources naturelles

<b>Instruments basés sur les droits de propriété</b>	<b>Instruments basés sur les prix</b>	<b>Instruments juridiques, volontaires ou basés sur l'information</b>
<b>Droits de propriété</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Renforcement des droits de propriété</li> <li>• Garantie des droits de propriété</li> </ul>	<b>Création de marchés</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permis, quotas ou titres échangeables</li> </ul> <b>Instruments fiscaux</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Différenciation des taxes</li> <li>• Taxes sur les intrants et la production</li> <li>• Taxes sur la pollution</li> </ul> <b>Système de charge</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Redevance/frais d'utilisation</li> <li>• Redevance de pollution</li> <li>• Redevances sur les produits ou prélèvements</li> <li>• Frais d'amélioration</li> <li>• Frais d'impact</li> <li>• Frais d'accès</li> <li>• Système administratif</li> </ul> <b>Instruments financiers</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Subvention PSE</li> </ul> <b>Obligation environnementale et système de consigne</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Performance environnementale</li> <li>• Obligation de remise en état des terrains</li> <li>• Obligation pour accidents environnementaux</li> </ul>	<b>Instrument de responsabilité</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsabilité juridique</li> <li>• Charges de non-conformité</li> <li>• Responsabilité aux dommages des ressources naturelles</li> </ul> <b>Instruments volontaires</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Accords environnementaux volontaires</li> <li>• Certification environnementale</li> </ul> <b>Instrument basé sur l'information</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Labellisation</li> <li>• Divulgation publique</li> </ul>

Il y a un certain nombre d'autres facteurs qui influence l'efficacité d'un IE (Daly 1992, Bureau 2005) :

- la cohérence avec le contexte social, politique et économique.



- la cohérence avec les défis environnementaux à relever

Dans les pays en développement, en particulier, où les ressources financières sont rares et les capacités institutionnelles limitées, les critères suivants sont à considérer : la faisabilité administrative, la cohérence avec les autres objectifs de développement, l'équité, la souplesse et la transparence.

Une mauvaise adéquation 'contexte – instrument' pourrait se traduire par le choix d'un instrument inefficace qui n'aboutit pas au comportement désiré / gestion du changement par les agents cibles ou des institutions, ou qui peut même agir comme une incitation perverse et entraînant un changement contrairement à la réponse souhaitée. Il est donc important qu'un processus de sélection consciente soit entrepris afin de s'assurer que l'instrument économique ait un bon ajustement au contexte.

### **Conclusion partielle**

Les ZH, en particulier les plaines inondables, représentent un écosystème riche qui offre aux populations de l'Afrique subsaharienne des moyens de subsistance. Dans un contexte de changement climatique et de pression démographique, ces zones sont de plus en plus convoitées et menacées. Cet écosystème est complexe à gérer du fait de l'absence de droits de propriété clairs, de politiques de régulation inadéquates et de l'insuffisance des moyens financiers et humains.

Depuis 4 décennies, les ZH ont reçu une attention particulière et sont associées à une convention, la convention RAMSAR pour la protection et la gestion rationnelle des ressources. Depuis, de nombreux concepts ont émergé afin de contribuer au développement durable de ces écosystèmes. Ces approches préconisent une utilisation économique, socialement et écologiquement durable des ressources naturelles, une implication des populations et de tous les acteurs dans les processus de gestion, et des incitations à la gestion.

Dans le but de contribuer à une gestion rationnelle et durable des ZH, nous adoptons une démarche intégrée et participative pour l'élaboration des stratégies de gestion durable des ressources naturelles d'une zone humide tropicale : le delta intérieur du Niger (DIN).

Dans le chapitre suivant nous présentons les milieux naturel et humain du DIN.

## Chapitre II. Le milieu d'étude : le delta intérieur du fleuve Niger

### I. Le milieu naturel

Le Delta Intérieur du fleuve Niger (DIN) ou delta central ou cuvette lacustre, constitue une singularité hydrologique de par sa situation géographique : une zone inondable au milieu de la zone sahélienne du Mali. Il se situe entre les cercles de Djenné, Mopti, Tenenkou et Youwarou et compte 44 communes et 821 villages (Zwarts *et al.* 2005), pour 1 730 223 habitants. Les superficies inondées varient selon l'hydraulicité de l'année et peuvent atteindre jusqu'à 40 000 km<sup>2</sup>. L'inondation dépend de la pluviométrie des bassins supérieurs du Niger et du Bani, les pluies locales ne contribuant que pour 5 à 10% des débits (Mahé 2009).

#### 1. Le réseau hydrographique du bassin amont du delta intérieur du fleuve Niger

##### a. Le bassin supérieur du fleuve Niger

Troisième fleuve d'Afrique de par sa longueur (4200 km), le fleuve Niger prend sa source en Guinée dans le Fouta Djallon. Il s'écoule de la dorsale guinéenne jusqu'au Sahara suivant un axe Nord-Est en décrivant, dans sa traversée des régions sahéliennes et subdésertiques, une grande boucle où il perd une part importante de ses apports hydriques, en particulier dans le DIN (Brunet-Moret *et al.* 1986). De sa source à la frontière Malienne, le Niger parcourt 600 km et draine un bassin de 100 000 km<sup>2</sup>.

De la Guinée jusqu'au DIN, plusieurs affluents alimentent les eaux du fleuve Niger.

En rive gauche, le principal affluent est le **Tinkisso** qui prend sa source dans le Fouta Djallon en Guinée et coule sur 268 km avant de rejoindre le Niger aux environs de Siguiri.

En rive droite les principaux affluents sont :

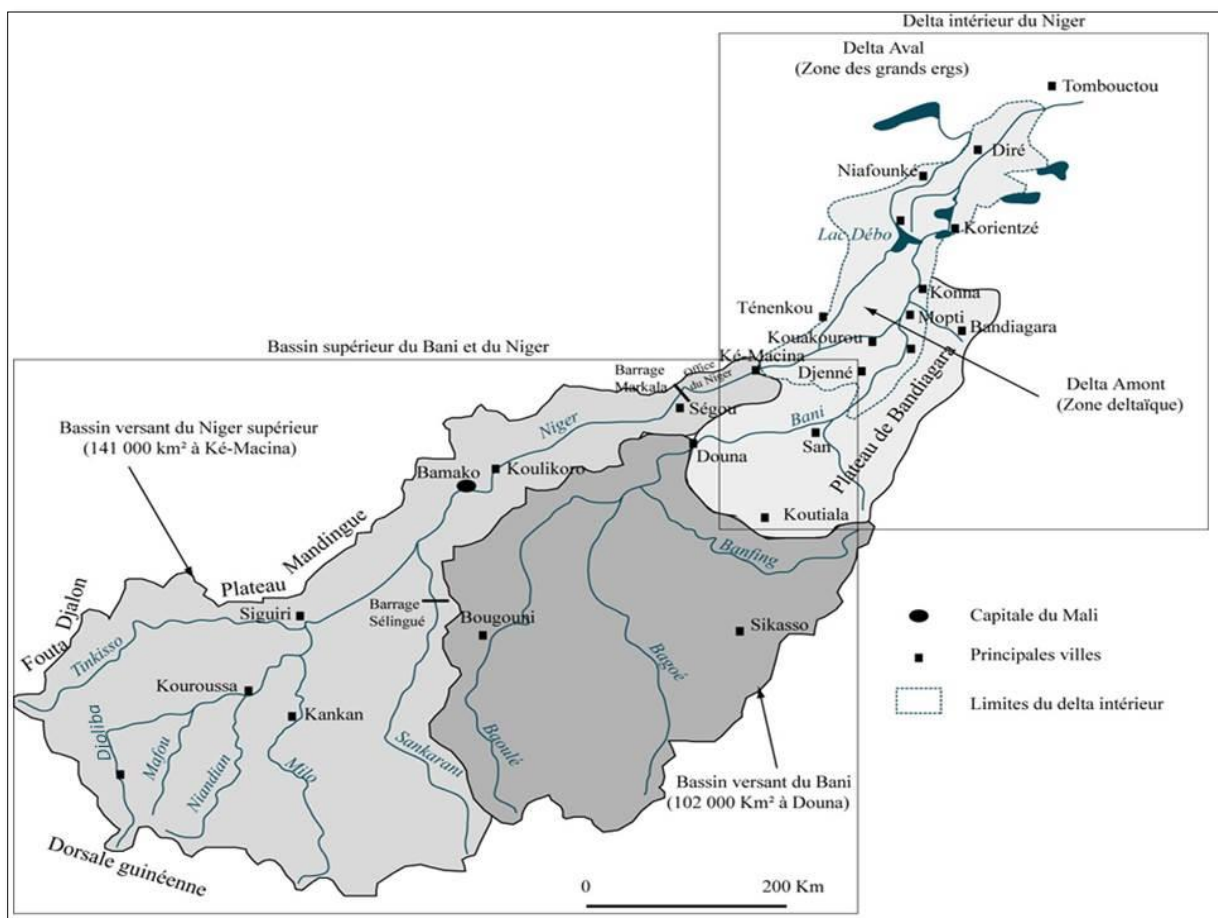
- **Le Milo**, long de 330 km, prend sa source dans le sud de la Guinée et rejoint le fleuve Niger à proximité du village de Niandankoro, une dizaine de kilomètres en amont de Siguiri ;
- **Le Niandan**, long de 190 km, prend sa source en Guinée dans les hauteurs (Fouta Djallon) situées au nord de la frontière avec le Libéria et à l'est de celle de la Sierra Leone. Sa confluence avec le Niger se situe à une quinzaine de kilomètres en aval de la localité de Kouroussa ;

- **Le Sankarani**, long de 400 km, prend sa source dans le Fouta Djalon et traverse la Guinée, la Côte d'Ivoire et rejoint le fleuve Niger au Mali à 70 km à l'amont de Bamako ;
- Le principal tributaire du Niger est le Bani.

**b. Le bassin supérieur du Bani**

Le Bani est formé par la confluence du Baoulé et de la Bagoé qui prennent leur source en Côte d'Ivoire. Il est long de 775 km en considérant le Baoulé comme son cours supérieur. Son principal autre affluent est le Banifing qui prend sa source au Burkina Faso. Le Bani rejoint le fleuve Niger en rive droite à Mopti.

On a l'habitude de limiter le bassin du Niger supérieur à l'aval, par la région de Ségou. Du point de vue hydrologique, la station la plus représentative est celle de Koulikoro. On y rattache également le bassin du Bani limité à l'aval à la station de Douna. A l'aval de cette zone se trouve le DIN (Figure II-1).



**Figure II-1.** Le Niger supérieur et le Delta Intérieur du fleuve Niger (Mariko 2004)

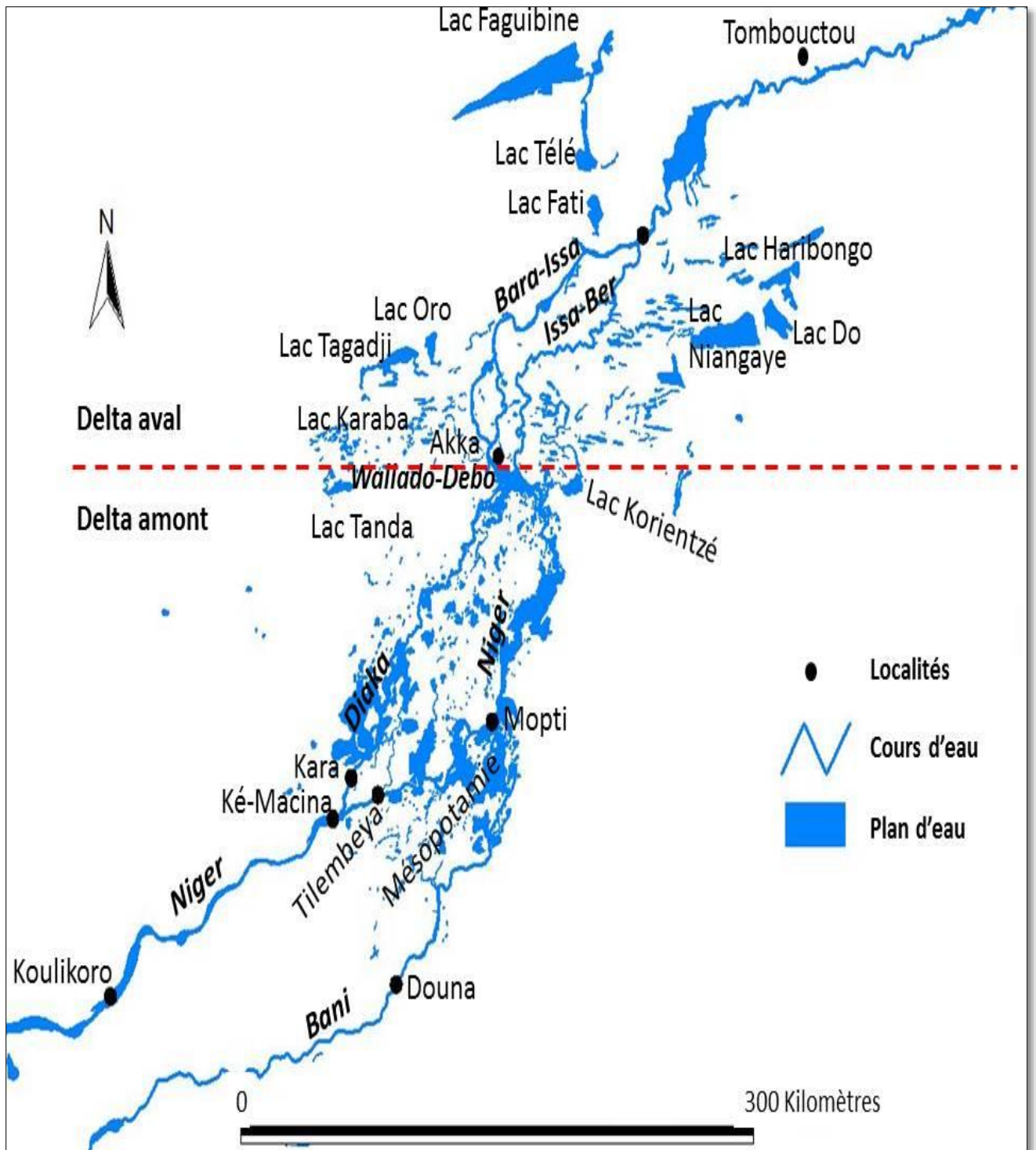
Chaque année, les crues du Niger et du Bani inondent les vastes plaines du DIN. Le réseau hydrographique du DIN est dense et formé d'innombrables ramifications.

## **2. Le réseau hydrographique du Delta Intérieur du fleuve Niger**

La morphologie du DIN est constituée de deux entités principales (Gallais 1967, Picouet *et al.* 2002). On distingue le delta amont ou la cuvette sud et le delta aval ou la cuvette nord (Figures II-1 et II-2).

**Le delta amont** s'étend des entrées du DIN (Ké-Macina sur le Niger et Douana sur le Bani) jusqu'aux lacs centraux (Wallado – Débo - Korientzé). Les principaux axes d'écoulement sont le Niger, le Bani qui forme la Mésopotamie Niger-Bani (axe Tilembeya - Beneny-Kegny - Mopti) et le Diaka. Le Diaka, principal défluent du Niger, prend naissance sur la rive gauche et rejoint les eaux du Niger-Bani dans le système lacustre Walado-Débo. Le delta amont se caractérise par de nombreux défluent et mayos (bras d'eau libre) et par la présence de nombreuses mares et chenaux creusés ou surcreusés de façon artisanale.

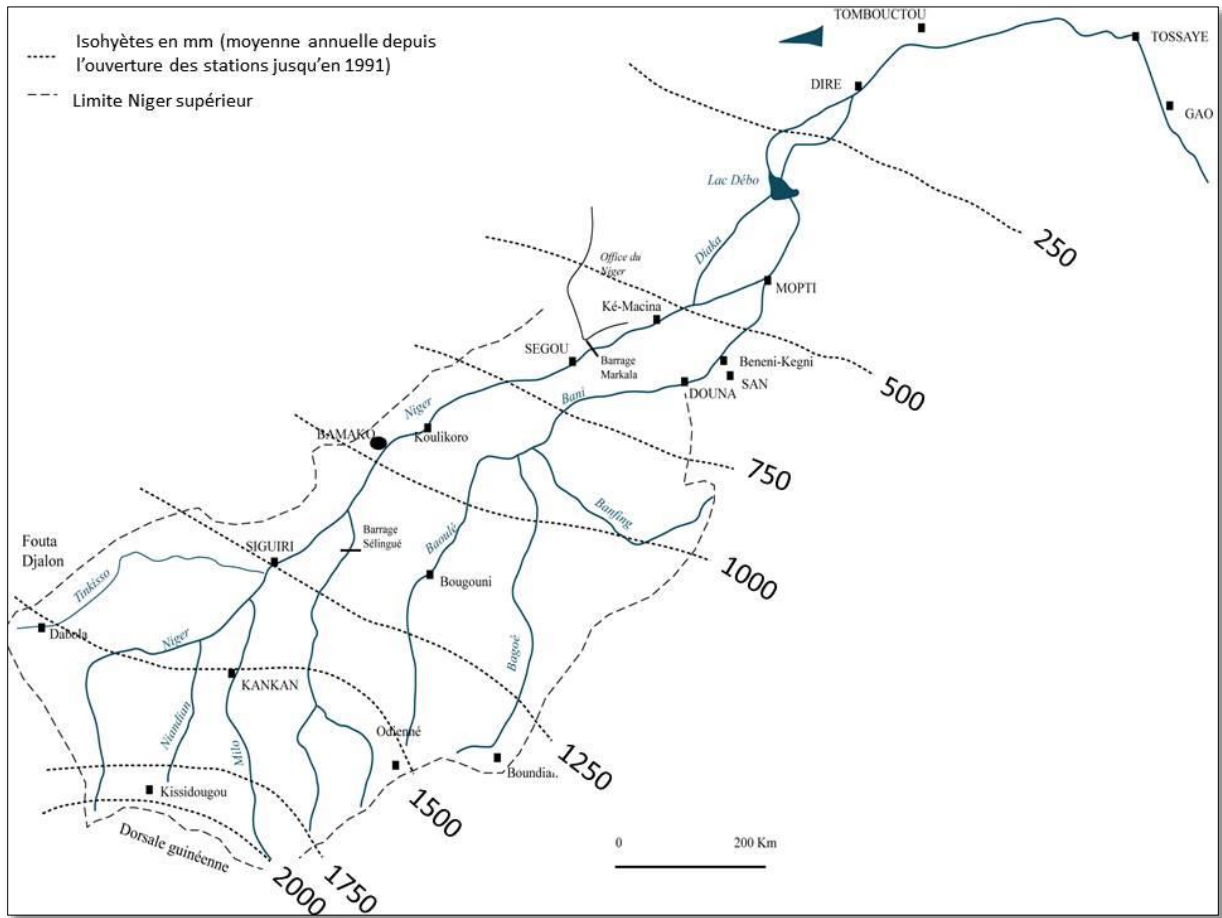
**Le delta aval** se déploie des lacs centraux à la sortie du DIN (Koryoumé). On distingue trois axes drainants à l'aval du lac Débo (Olivry 1995). A l'ouest, le bras principal du Niger, l'Issa Ber ; ensuite le Bara-Issa, bras central qui rejoint l'Issa Ber à 16 km en amont de Diré ; le troisième bras est le Koli-Koli situé à l'est du Débo alimente le lac Korientzé et rejoint le Bara-Issa aux environs de Saraferé. De part et d'autre des deux rives du delta aval, existent de grands lacs périphériques. En rive droite il y a le lac Korientzé, Korarou, Aougoundou, Niangaye, Do, Haribongo et le lac Garou. En rive gauche il y a le lac Tanda, Kabara, Horo, Fati, et le système lac Télé-Faguibine.



**Figure II-2.** Le delta intérieur du fleuve Niger, réseau hydrographique

Les différents éléments de l'hydrosystème du DIN lui confèrent un fonctionnement unique et complexe.

### 3. Le régime climatique



**Figure II-3.** Isohyètes moyennes (depuis l’ouverture des stations jusqu’en 1991) du Niger supérieur et du delta intérieur du fleuve Niger (Bouaré 2012)

Du Niger supérieur à la sortie du DIN, on distingue 4 zones climatiques (Figure II-3).

**Le climat tropical de transition (climat Sud-soudanien)** dont la limite supérieure correspond à l’isohyète 1 300 mm. Il est caractérisé par une saison des pluies relativement longue qui dure au moins 6 mois (de mars-avril à octobre-novembre), avec environ 90 jours de pluie par an. L’amplitude thermique annuelle est faible (5 à 6°C).

**Le climat tropical pur (climat Nord-soudanien)** limité par les isohyètes 1 300 et 700 mm. La saison des pluies dure quatre à six mois avec une concentration de 70 à 80 jours de pluie.

**Le climat tropical semi-aride (climat sahélien)** correspondant à la zone comprise entre les isohyètes 700 et 300 mm et englobe une zone de transition à nuance soudano-sahélienne entre les isohyètes 700 et 500 mm. Il est caractérisé par la longueur de la saison sèche et une courte durée de la saison des pluies qui s’étale sur 3 à 4 mois (juin- juillet à août-septembre),

avec une moyenne de trente jours de pluie par an. L'amplitude thermique annuelle y est forte (environ 12°C) et il couvre le delta amont.

**Le climat semi-aride (climat Sub-saharien)** concerne la zone comprise entre l'isohyète 300 et 150 mm. Il couvre la zone des lacs (delta aval) jusqu'au Nord de la région de Tombouctou. Il se caractérise par des précipitations très irrégulières qui tombent sous forme de tornades en rapport avec la faible épaisseur de la mousson. Le régime thermique ne connaît qu'un seul maximum alors que partout ailleurs au Mali il en possède deux. L'amplitude thermique annuelle moyenne forte (environ 16°C) est très inférieure à l'amplitude thermique journalière moyenne de l'hiver durant cette saison.

#### **4. Le fonctionnement hydrologique du delta intérieur du fleuve Niger**

##### *a- Les éléments du régime*

##### ***Le Niger supérieur et le delta amont***

Les principaux éléments du régime sont issus de la Monographie du fleuve Niger (Auvray 1960, Brunet-Moret *et al.* 1986).

Le Niger à Koulikoro (300 km en amont du DIN) contrôle la totalité des apports du bassin amont du Niger pour une superficie estimée à 120 000 km<sup>2</sup> (Figure II-4). A Ké-Macina commencent les plaines d'inondation du DIN et la station de Ké-Macina mesure les volumes d'eau à l'entrée du DIN sur le Niger. De Koulikoro à Ké-Macina, différents facteurs influencent le régime du Niger : les apports de la pluviométrie locale, les prélèvements de l'office du Niger et l'évaporation.

Nous pouvons distinguer deux sous sections du bief Koulikoro – Ké-Macina : Koulikoro-Kirango (200 km) et Kirango Ké-Macina (200 km). Les apports de la pluviométrie locale se font sur la section Koulikoro-Kirango pour un bassin intermédiaire de 17 000 km<sup>2</sup> où s'effectuent les prélèvements de l'Office du Niger. Ces prélèvements représentent en moyenne 10% des apports en eau du Niger à Koulikoro mais peuvent aller jusqu'à 80% en période d'étiage (Zwarts *et al.* 2005). Sur la section Kirango – Ké-Macina, les apports par ruissellement sont nuls à cause de l'étroitesse du bassin versant et des contrepentes perpendiculaires aux rives. De Kirango à Ké-Macina, le fleuve s'élargit, occasionnant des débordements latéraux pendant les hautes-eaux et induisant une augmentation du facteur évaporation. Aussi, pendant l'étiage, il y a un renforcement des débits par drainage et restitution naturelle des zones inondées et de la nappe quand le débit à Kirango devient inférieur à 1 800 m<sup>3</sup>/s. Ceci peut doubler ou même tripler les débits d'étiage à Ké-Macina. Le

débit moyen transitant à Ké-Macina entre 1952-1990 est de 1 207 m<sup>3</sup>/s (Olivry *et al.* 1995) soit un volume de 38 km<sup>3</sup> par an.

A 45 km de Ké-Macina, le défluent Diaka dont la station de référence est Kara reçoit 1/3 du volume d'eau écoulé à Ké-Macina. Les 2/3 restants transitent par Tilembeya, station située sur le Niger après la confluence du Diaka. Tout comme à Ké-Macina, les débits d'étiage peuvent être triplés à Tilembeya par effet de drainage des zones inondées et de la restitution de la nappe au fleuve. A Ké-Macina, Kara et Tilembeya, Auvray (1960) et Brunet-Moret *et al.* (1986) observent un laminage des crues à partir d'une certaine valeur. Ce laminage des crues serait dû aux déversements latéraux sur les plaines d'inondation dont les superficies croissent avec les côtes atteintes, ce qui limitent les maximums de crue. En plus des débordements latéraux, le laminage des crues s'explique par la proximité de la confluence du Diaka à Ké-Macina et par la présence de marigot jouant le rôle de seuil déversant qui absorbe la quasi-totalité des surplus à Tilembeya. Cette caractéristique importante est qualifiée d'*effet de seuil*. La valeur-seuil oscille autour de 5 300 m<sup>3</sup>/s à Ké-Macina, 3 300 m<sup>3</sup>/s à Tilembeya et 1 700 m<sup>3</sup>/s à Kara (Auvray 1960, Brunet-Moret *et al.* 1986).

Par ailleurs, les apports en eau du Bani au DIN sont contrôlés par la station de Douna pour un bassin collecteur de 102 000 km<sup>2</sup>. Sur la période 1953-1990 Olivry *et al.* (1995) estiment les apports moyens du Bani à 419 m<sup>3</sup>/s soit un volume moyen de 13,2 km<sup>3</sup> par an. Ce volume représente environ le tiers des volumes transitant à Ké-Macina. La station de Mopti mesure la combinaison des apports du Bani et du Niger. Dès le mois de septembre, on observe un écoulement du Bani vers le Niger jusqu'au retour du Bani dans son lit mineur. La Mésopotamie dont la superficie avoisine 7 000 km<sup>2</sup> serait principalement alimentée par les eaux du Bani. En période de hautes-eaux, vers la côte de 4,3 m, le débit d'apport du Niger devient constant (influence amont des zones d'inondation et des débordements) et les apports du Bani constituent le sommet de la crue à Mopti. Pendant l'étiage, il y a un apport de la nappe au débit du fleuve.

Les eaux du Diaka et du Niger-Bani se rejoignent dans le système lacustre Wallado-Débo qui constitue le point de passage des écoulements provenant du bassin supérieur du Niger.



### ***Delta aval***

À l'aval du lac Débo, le bras principal du Niger, l'Issa Ber, achemine 80 à 87% des eaux du lac Débo, le Bara-Issa 10 à 12% et le Koli-Koli 3 à 10% des sorties du lac. Ces différents bras participent à l'alimentation des lacs périphériques.

Le Koli-Koli alimente le lac Korientzé. Le Bara-Issa alimente les lacs Niangaye et Aougoundou. Le lac Aougoundou alimente Kobarou en plus des apports locaux. Le lac Niangaye alimente le lac Do quand il atteint une capacité de 800 millions de m<sup>3</sup>. A partir de 600 millions de m<sup>3</sup>, le lac Do se déverse dans le Garou, qui se déverse à son tour dans le Titolaouen et le Gakoré. Le Gakoré alimente le Tinguéré et le Titolaouen se déverse dans le lac Haribongo et Kabongo.

L'Issa Ber alimente le système lacustre de rive droite.

Le lac Faguibine est alimenté par le marigot de Goudam et par le lac Télé qui est alimenté par deux canaux, le Kondi et le Tassakane. Les volumes dérivés pour le remplissage des lacs périphériques ne sont pas restitués au système deltaïque et sont lentement évaporés. Du fait de la présence des lacs périphériques et des températures élevées, le delta aval prélève au réseau hydrographique 5 fois plus d'eau par unité de surface que le delta amont (Mahé *et al.* 2002).

Les écoulements des 3 axes transitant les volumes du Débo sont réunis à Diré après la confluence de l'Issa Ber et du Bara Issa. A Diré, les principaux facteurs intervenant dans la composition du maximum de crue sont les apports du Niger et du Bani à Mopti, les pertes en eau au niveau de la cuvette. Il y a également l'état de remplissage résiduel de la cuvette à la fin de la crue précédente (retard ou avance de la crue par rapport au degré de tarissement de la réserve).

Nous résumons les principaux facteurs du régime des différents biefs de la cuvette sur la Figure II-4 et le système de remplissage des lacs périphériques sur la Figure II-5.

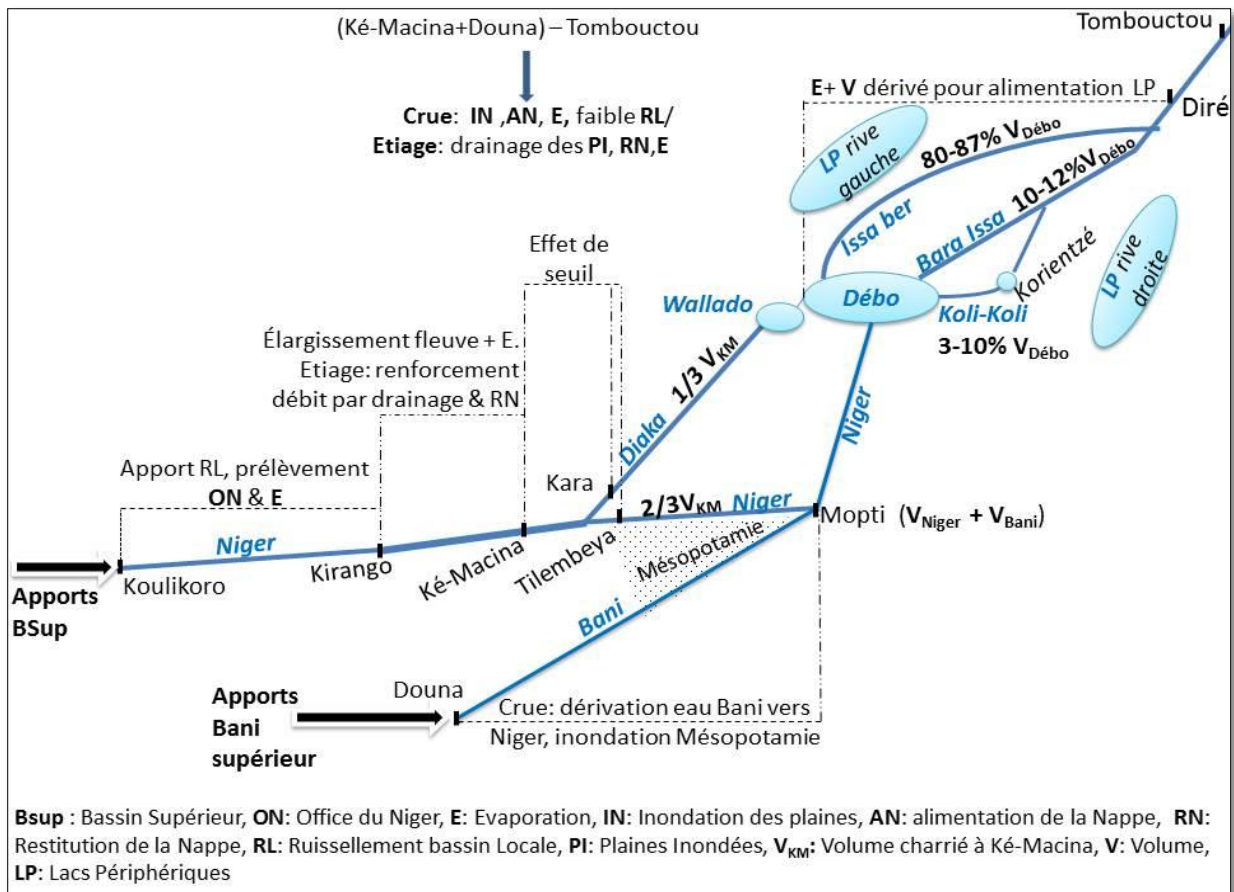


Figure II-4. Schéma du fonctionnement hydrologique du delta intérieur du fleuve Niger

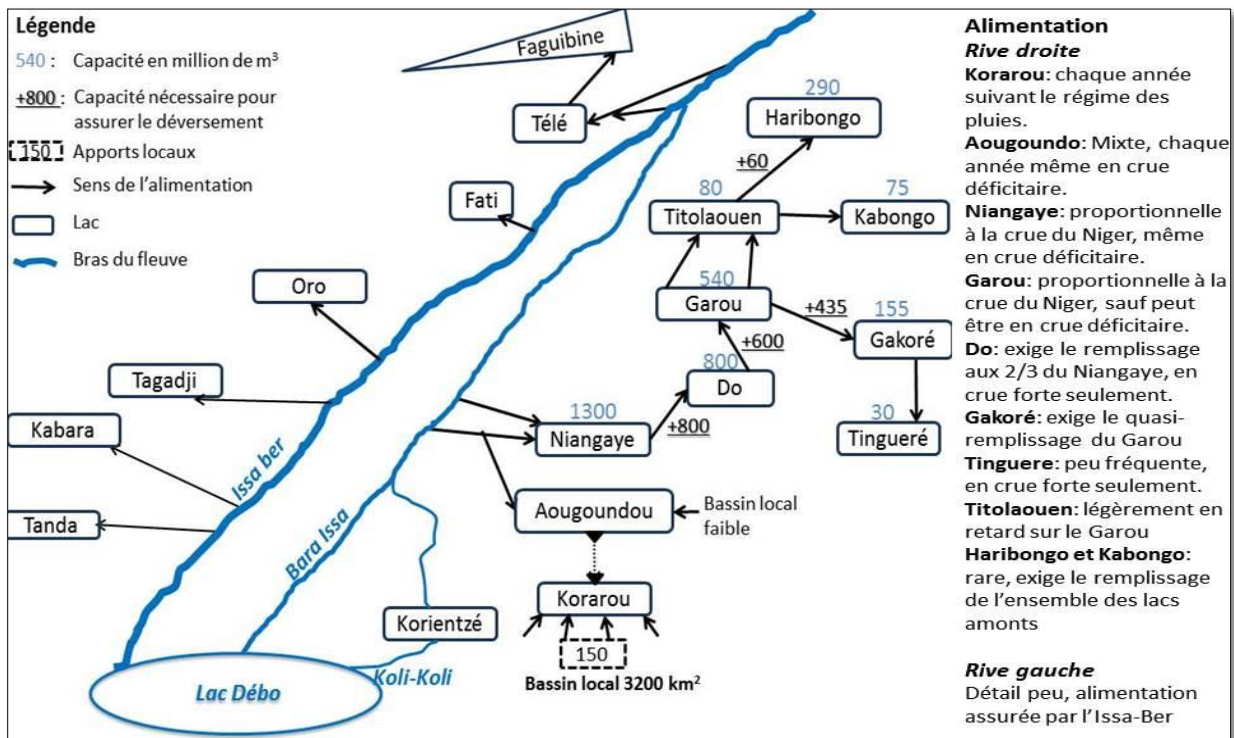


Figure II-5. Schéma du système d'alimentation des lacs périphériques du Delta Intérieur du fleuve Niger

Olivry (1995) synthétise les éléments du régime hydrologique annuel du DIN en deux périodes : une période de progression de l'inondation des plaines avec un piégeage des volumes débordés puis une période de restitution des volumes. Le piégeage des volumes correspond à des pertes comme l'infiltration, l'évaporation et surtout un stockage de volumes importants dans les plaines d'inondation. Correspondant à la période de crue du fleuve Niger et de son tributaire le Bani, le stockage des volumes atteint son maximum entre septembre et octobre puis diminue rapidement entre octobre et novembre. La seconde période correspond à une restitution ou un déstockage partiel des volumes piégés, avec un volume résiduel constitué par le bilan évaporatoire de la région et le stockage dans les lacs périphériques : c'est la vidange des plaines d'inondation encore appelée décrue. Les mois de très forte restitution vont de décembre à février. Le déstockage ne concerne que les zones d'inondation en liaison avec le réseau hydrographique ; il y a progressivement coupure entre certaines zones basses ou mares et le fleuve.

Pour la suite de l'étude, on distinguera 4 périodes principales pour le régime hydrologique du DIN : (1) la période de montée de la crue qui dure de juillet à août, (2) la période des hautes-eaux de septembre à octobre, (3) la période de décrue de novembre à février puis (4) la période d'étiage de mars à juin.

***b- La variabilité climatique et dynamique hydrologique du Delta Intérieur du fleuve Niger***

L'hydrologie du DIN a subi des modifications suite aux sécheresses qui ont débuté dans les années 1970.

**Tableau II-1.** Déficit d'écoulement après la sécheresse de 1970 (Mahé *et al.* 2011b)

<b>Station</b>	<b>Koulikoro</b>	<b>Douna</b>	<b>Diré</b>
Période étudiée	1907 - 2000	1922 - 2000	1924 - 2000
Moyenne débit avant 1970	1 552 m <sup>3</sup> /s	639 m <sup>3</sup> /s	2 244 m <sup>3</sup> /s
Moyenne débit 1970-2000	1 039 m <sup>3</sup> /s	235 m <sup>3</sup> /s	1 346 m <sup>3</sup> /s
Déficit d'écoulement	33%	69%	40%

Les apports fluviaux ont baissé suite aux sécheresses surtout pour le Bani avec un déficit des apports à l'entrée du DIN de 69% (Tableau II-1). Cette diminution des apports fluviaux a eu

un impact sur l'extension de l'inondation dans le DIN. Sur ces périodes et en appliquant différentes méthodes, des auteurs ont estimé les superficies maximales inondées (Tableau II-2).

**Tableau II-2.** Principales caractéristiques des superficies inondées dans le delta intérieur du fleuve Niger d'après différents travaux.

<b>Références</b>	<b>Méthodes d'obtention</b>	<b>Périodes d'étude</b>	<b>Maximum</b>	<b>Moyenne</b>	<b>Minimum</b>
Olivry (1995)	Bilan hydrologique	1953-1992	43 900 km <sup>2</sup> (1957)	26 300 km <sup>2</sup>	9 500 km <sup>2</sup> (1984)
Poncet (1994)	Cartes topographiques et thématiques, photographies aériennes	1955-1990	36 100 km <sup>2</sup> (1955, 1965)	19 000 km <sup>2</sup>	8 000 à 10 000 km <sup>2</sup> (1986 à 1992)
Orange <i>et al.</i> (2002)	Modèle agro-écologique	1955-1996	25 000 km <sup>2</sup> (1955)	17 000 km <sup>2</sup>	6 000 km <sup>2</sup> (1984)
Mariko <i>et al.</i> (2003), Mahé <i>et al.</i> (2011a)	Imagerie satellitaire de type NOAA / AVHRR	1990-2000	23 000 km <sup>2</sup> (1999)	15 000 km <sup>2</sup>	8 000 km <sup>2</sup> (1991)
Ogilvie <i>et al.</i> (2015)	Imagerie satellitaire de type MODIS	2000-2011	20 000 km <sup>2</sup> (2008)	16 000 km <sup>2</sup>	10 300 km <sup>2</sup> (2011)

Les périodes d'observations de ces travaux étant différentes, il est difficile de comparer les caractéristiques des superficies maximales inondées dans le DIN. Toutefois, le modèle d'Olivry (1995), utilisant la méthode du bilan hydrologique, tend à donner les valeurs les plus fortes alors que le modèle agro-écologique de Orange *et al.* (2002) donne les valeurs les plus faibles. Ces derniers expliquent que les valeurs fortes obtenues par Olivry sont dues à la prise en compte dans la méthode d'estimation des pertes en eau liées au remplissage des lacs périphériques alors qu'elles ne devraient pas être considérées. Des travaux plus récents sur l'extension de l'inondation (Mahé *et al.* 2011a, Ogilvie *et al.* 2015), ne prenant pas en compte les années de forte hydraulicité, antérieures à 1970, donnent des superficies maximales inondées bien inférieures mais des valeurs caractéristiques plus semblables.

Il y a un décalage temporel entre l'inondation maximale du delta amont et l'inondation maximale du delta aval qui s'observe en moyenne 2 décades plus tard.

## **II. Le milieu humain**

Outre la dynamique hydrologique, une des particularités du DIN concerne l'exploitation de ses ressources. Le DIN compte 1 730 223 habitants (Zwarts *et al.* 2005).

### **1. Population et activité**

Les bozos sont les occupants les plus anciens du DIN avec pour spécialité la pêche (Gallais 1962). Avec la venue d'autres groupes exploitant l'écosystème deltaïque, les bozos sont considérés comme une entité ethnique et comme une entité socio-professionnelle pratiquant la pêche. Du temps de l'empire du Mali (1250-1450) marqué par une organisation spatiale basée sur le commerce le long du fleuve Niger, on assiste à l'émergence du groupe Marka et Somono (Gallais 1984). Les Marka ou 'mali-ka' (qui signifie '*homme du Mali*'), représentent une communauté marchande et comportent des agriculteurs. Selon Gallais (1962), les Marka créateurs et maîtres de la riziculture deltaïque, cultivent la partie profonde de la strate rizicole, terrains submergés sous une nappe de deux à trois mètres d'eau et détiennent la maîtrise des terres rizicoles. Dans leur propre langue, les Marka s'appellent 'Noron' et les bozo les appellent 'Nonon' (Bouaré 2012). Cependant les somono issus des populations bozo locales, effectuaient les transports le long des fleuves et pêchaient dans les zones peu profondes. L'empire du Mali a également favorisé l'installation des dogons et des bobos (Fay 1995), qui se tiennent le plus souvent à l'écart de la zone inondée et cultivent les sables des terrasses sèches (Gallais 1962).

Pendant la période 1450-1590, l'empire du Mali est détruit et remplacé par le royaume Songhaï. Durant cette période, les songhaïs s'installent dans le DIN et cultivent les rives du fleuve (Gallais 1962). En 1591, les Marocains mettent fin au royaume Songhaï et se forment localement les Arma issus du métissage des marocains et des songhaïs. A partir du XIVème siècle, les peuls venant du Fouta Toro, dans la vallée du fleuve Sénégal envahissent le DIN (Bâ and Daget 1984). Les Peuls guerriers ou *Ardo*, à la recherche de pâturages pour les troupeaux, soumièrent vite les groupes locaux. Ils ont asservi les agriculteurs (Barrière and Barrière 1995), donnant ainsi naissance à un groupe ethnique esclave, les rimaïbés. Les rimaïbés cultivaient des céréales pour le compte des peuls, afin que ces derniers puissent se consacrer à leur mobilité saisonnière.

Parallèlement à l'installation des peuls, le royaume Bambara de Ségou avait mis sous sa tutelle entre 1710 et 1750 l'ensemble de la zone centrale du Delta et de ses régions voisines. Les bambaras sont des agriculteurs des terres sableuses exondées des bordures du DIN.

Les maures et les touaregs sont des éleveurs et étrangers à toute référence historique mandingue (Gallais 1962). Les bellas, captifs des maures et des touaregs sont agriculteurs. Il y a aussi les toucouleurs, qui en 1862 mirent fin au règne des Peuls.

Au cours de l'histoire de l'occupation du DIN, chaque groupe exploitait une partie de son écosystème, d'où un certain lien entre les groupes ethniques et l'exploitation de certaines ressources. De façon historique, les peuls sont des éleveurs ; les marka, songhaïs, bambara, rimaïbé, Dogon, et bella sont agriculteurs ; les bozos et les somonos des pêcheurs (Gallais 1962, Crane *et al.* 2011).

Ainsi, les agriculteurs, les pêcheurs et les éleveurs sont les trois principaux groupes socioprofessionnels qui tirent leurs moyens de subsistance de l'écosystème du DIN. Ils exploitent le même espace mais à des échelles d'espace et de temps différentes.

L'agriculture du DIN se divise entre les cultures sèches sur les parties non inondables et la riziculture, culture prédominante, sur les parties inondables. Parmi les systèmes rizicoles, on distingue 4 types:

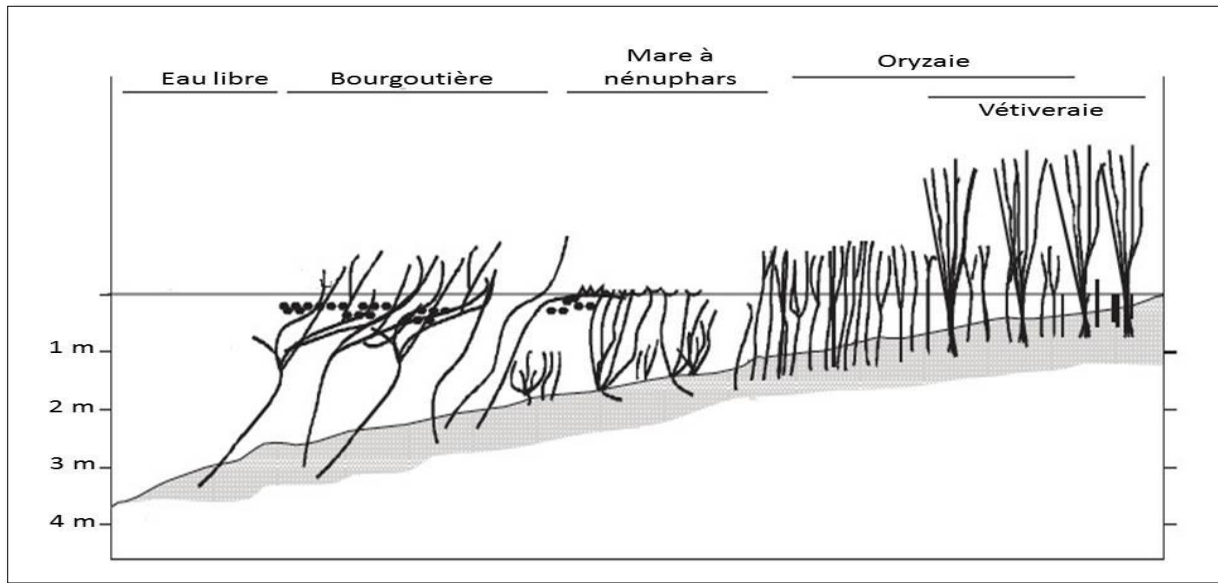
- la riziculture irriguée en maîtrise totale de l'eau par pompage,
- la riziculture en submersion contrôlée avec maîtrise partielle de l'eau aux moyens de digues et prises d'eau,
- la riziculture pluvio-fluviale à submersion libre ou traditionnelle ; c'est le système rizicole le plus ancien dans le DIN qui occupe le plus d'espace.
- la riziculture dite pluviale, qui est plutôt une riziculture de bas-fonds qui s'est développée récemment dans les parties dites exondées du delta mais où il est possible de cultiver du riz avec l'eau de pluie et le ruissellement des versants des bas-fonds.

Dès le retrait progressif des eaux des superficies inondées, le DIN offre aussi la possibilité de pratiquer la culture de décrue, essentiellement du sorgho, surtout développée dans la région des lacs et dans la partie aval.

L'activité de pêche dans le DIN fournit 80% de la production halieutique du Mali. On trouve deux types de pêcheurs, les migrants et les sédentaires. La pêche collective existe également à l'échelle du village. Elle est toujours précédée d'une mise en défens et se pratique à pied et à l'aide de filet à deux mains dans le fleuve et les mares (Durand 1994).

En plus d'être le domaine de l'eau, le DIN est le domaine de l'herbe et, de par la richesse de ses pâturages, il est le domaine de l'élevage par excellence. En plus, les pâturages du DIN ont l'avantage d'un calendrier de production décalé par rapport aux prairies semi-arides

environnantes. Elles sont donc des pâturages de contre-saison, et aident à la survie du bétail. Les pâturages inondables sont constitués de bourgoutières (*Echinochloa Stagnina*), de vétiveraies et d'oryzaies (Figure II-6). La principale source d'alimentation du bétail est le bourgou qui pousse dans les zones profondes et qui a une capacité de charge potentielle 4 fois supérieure aux autres types de végétation. Le DIN est fréquenté chaque année par environ 2 millions de têtes de bovins et autant d'ovins et de caprins (MDRE 1992). Les pâturages sont exploités lors de la transhumance des troupeaux qui représente 20% du cheptel national.



**Figure II-6.** Répartition schématique des végétaux dans une plaine inondée lors de la crue (Wuillot 1994)

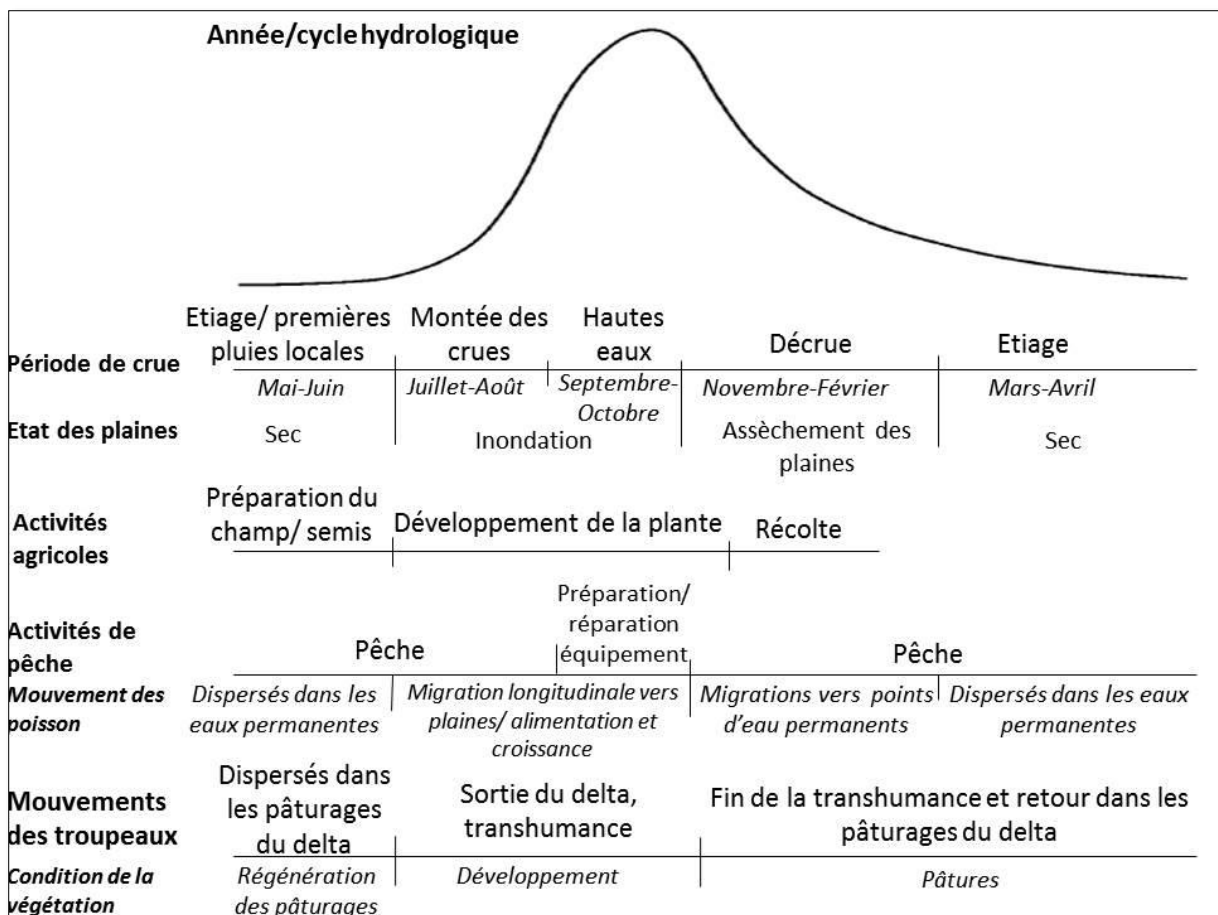
## 2. Dynamique spatio-temporelle et activités

Au cours d'une même année et selon les différentes périodes (montée de la crue, hautes-eaux, décrue et étiage), un même site peut successivement être une rizière, une pâture ou un lieu de pièges à poissons (Poncet 2002). La fin de l'étiage et l'installation des premières pluies, généralement en mai, correspondent aux activités de semis pour les agriculteurs et à la sortie des animaux du DIN pour les éleveurs vers juin. Pendant la crue et les hautes-eaux, les activités se limitent à l'entretien des rizières et à la préparation du matériel de pêche à savoir pirogues et filets. La décrue marque la période de récolte du riz (novembre-décembre), le début des cultures de décrue, le retour des animaux dans le DIN et le début de la campagne de pêche qui se poursuivra jusqu'à la fin de l'étiage et souvent jusqu'à la période de montée de la crue.

La pêche collective a essentiellement lieu en période d'étiage quand le fleuve et les mares sont en cours d'assèchement. En général, les pêcheurs ne cherchent pas à capturer les poissons lorsque ceux-ci sont dispersés dans les plaines pendant les hautes-eaux. Ils préfèrent attendre que le cycle hydrologique les 'remette à leur disposition' un peu plus tard, en période de décrue et d'étiage (Kodio *et al.* 2002). Les grand pêcheurs sont généralement migrants ('nomades du fleuve'). Dès novembre-décembre ils descendent vers le delta amont où la décrue est déjà amorcée puis suivent l'onde de décrue en se déplaçant vers le delta aval.

Tout comme le pêcheur, le calendrier de l'éleveur est fonction de la décrue. Dès qu'il cesse de pleuvoir dans les zones sèches et que les pâtures y sont épuisées, les éleveurs entreprennent le retour dans le delta. Les animaux rentrent dans le delta par Diafarabé dans le delta amont et remontent vers le Nord au fur à mesure que les eaux se retirent. Le DIN est non seulement une aire de production, mais aussi un territoire de migrations et de transhumances à l'intérieur de ses propres limites et aussi avec son voisinage non inondable (Poncet 2002). La Figure II-7 schématise l'utilisation des ressources du DIN en fonction de la dynamique spatio-temporelle de la crue.





**Figure II-7.** Cycle hydrologique et activités dans le delta intérieur du Niger (basé sur les travaux de Drijver & Marchand (1985))

Le système de gestion des ressources du delta est aussi complexe que l'articulation et la juxtaposition des activités dans le temps et l'espace.

### 3. Gestion des ressources naturelles dans le delta intérieur du fleuve Niger

La multifonctionnalité du DIN conduit Barrière (2001) a utilisé la notion d'espace-ressource qu'il définit de la façon suivante : *'l'espace-ressource est l'étroite union de la ressource avec son milieu physique. L'espace-ressource s'exprime dans la spatialisation géographique de la ressource, sa situation, sa place physique dans le géosystème. Il se présente le plus souvent de façon discontinue ou impermanente dans le temps et l'espace. A la différence de l'espace-sol qui est continu et permanent, l'espace-ressource dépend de l'existence et de la présence de la ressource... Les usages du milieu se succèdent ou se superposent selon la ressource et l'espace concernés: la bourgoutière constitue un espace-ressource (de type pastoral) pour le pasteur ..., et en même temps un espace-ressource (de type halieutique) pour le pêcheur, ...*

*L'espace de culture est constitutif d'un espace-ressource simultanément agraire et forestier, puis après les récoltes ce même espace devient pastoral'.*

L'espace-ressource se matérialise à travers les limites flexibles et mouvantes de l'inondation. La maîtrise exclusive, c'est-à-dire le droit d'user et de disposer, n'existe pas dans le DIN. Mais on distingue une structuration actuelle des modes de gestion de l'espace-ressource basée sur la tradition et également sur les droits juridiques dits modernes.

**a. Mode de gestion traditionnelle**

Avant l'invasion du DIN par les peuls, aucun empire ou royaume n'avait organisé l'exploitation, le partage et l'organisation des différents espaces-ressources. Le DIN était alors une zone sous le contrôle de divers pouvoirs et les pâturages inondés ne faisaient l'objet d'aucune maîtrise. Les bozos ont toujours lié contact avec les génies de l'eau sur un mode sacrificiel (Fay 1989a). L'homme le plus âgé du lignage devait assurer la perpétuité de la ressource par des rites sacrificiels neutralisant les génies de l'eau. Pour les terres également, il existait un fondement rituel (Gallais 1984). Ce sacrifice était assuré par le lignage du premier occupant appelé maître de terre qui détenait la 'maîtrise du couteau sacrificiel' (Barrière 2002).

La conquête du DIN par les peuls au XIX<sup>ème</sup> siècle s'est accompagnée de l'appropriation et du partage des principaux pâturages inondés (bourgoutières) entre les différents chefs de clans ou les Ardos les plus forts : c'est la territorialisation des pâturages du DIN. Dès lors, la première fonction pastorale à travers le *jom hudo* qui signifie 'propriétaire du pâturage' voit le jour (Ba 2010). Cette fonction est très importante dans la vie pastorale du peul car 'qui possède gère ou fait gérer'. Cette fonction de propriété était rapidement doublée de celle de gestion avec un droit de coordination sur la conduite des troupeaux dans les divers parcours de déplacement. Très souvent, le gestionnaire du pâturage était aussi le chef du campement peul appelé *jom ouro*<sup>6</sup>. La contraction entre le *jom hudo* le *jom ouro* a donné lieu à l'appellation *jowro* ou *dioro* qui signifie maître des pâturages inondés. Pendant cette période, les propriétaires des troupeaux payaient une redevance ou *tolo*, pour les droits d'accès aux pâturages et pour bénéficier de la protection des guerriers du clan. La redevance était versée en bétail (un taurillon ou une à deux vaches laitières par troupeau).

---

<sup>6</sup> *Jom ouro* : chef du campement

L'inondation saisonnière du DIN qui induisait le déplacement des troupeaux en période de crue a conduit les différents clans peuls à passer des alliances avec les Bambara de Ségou. L'éleveur peul payait une dîme à l'autorité bambara car le va-et-vient des troupeaux était sous le contrôle de l'armée bambara basée à Ségou. Les alliances ont servi à maintenir le droit de chacun par des accords ; elles ont permis une entente entre groupes rivaux, mais à compétences spécifiques, dans le partage d'un même espace (Bouaré 2012).

Par ailleurs, il est demandé aux bozos de borner leurs eaux et les *ArDOS* définissaient ainsi les territoires halieutiques (Fay 1989a). Le bornage des territoires halieutiques (biefs ou mares) se faisait soit en nouant les têtes des herbes soit en semant des pierres dans l'eau (Daget 1949). La territorialisation halieutique donne naissance à la propriété des eaux le *jiituya*.

La territorialisation instaurée par les *ArDOS* marque le premier pas vers la future trame organisationnelle de la Dina que Cheikou-Amadou va renforcer.

L'installation progressive de l'Islam dans le DIN ainsi que les conversions ont entraîné l'émergence de nouveaux leaders au niveau des chefferies peules au détriment des chefs peuls soumis et liés au pouvoir païen de Ségou. En 1818, Cheickou Amadou met un frein à l'hégémonie bambara dans le DIN et s'impose à tous les clans peuls. Il fonde l'empire théocratique du Macina avec la mise en place de la Dina (Bâ and Daget 1984). La Dina qui signifie foi en l'Islam correspond à une imposition passive mais aussi active des principes et concepts religieux de l'Islam, dans les pratiques sociales des populations et, dans la gestion des affaires courantes. Avec l'avènement de l'empire du Macina, Cheickou Amadou sédentarisa tous les habitants du DIN dans leurs campements spécifiques. Les campements saisonniers des Peuls ou *ouro* et ceux des Bozo, *daga*, furent transformés en village. Le DIN est divisé en territoires agro-pastoraux appelés *leyde* (singulier *leydi*) confirmant ainsi la parcellisation des pâturages entamée par les clans peuls au temps des *ArDOS*. L'organisation socio-spatiale du territoire deltaïque était basée sur les *leyde*. En 1821, le nomadisme pastoral des peuls fut remplacé par la transhumance qui consiste en un mouvement cyclique, pendulaire, effectué par les troupeaux entre les pâturages d'exploitation de saison des pluies et de saison sèche, et qui est régie par des règles d'accès à l'espace-pastoral. Il s'agit d'un cycle annuel de déplacement des animaux (bovins, ovins, caprins) à l'exception des vaches laitières sur l'ensemble des territoires du DIN et des régions avoisinantes du sahel.

La sédentarisation forcée des Peuls a amené Cheickou Amadou à diviser chaque groupe de troupeau en trois grandes fractions qui sont : le *dounti*, le *benti* et le *garti*.

Le *dounti* est le troupeau composé de 2 à 5 vaches laitières qui demeurent au village lorsque la plaine est inondée ; elles assurent l'autoconsommation en lait de la famille restée sur place. Pendant la crue, le *dounti* reste enfermé dans de vastes paillotes hémisphériques des Peuls, est nourri au fourrage fauché dans la prairie inondée et sort vers fin octobre quand les pâturages villageois commencent à se découvrir.

Le *benti* concerne la majorité des vaches laitières, des jeunes animaux et un nombre limité de taureaux pour assurer la reproduction. Ce sont les vaches laitières triées et retenues par la famille dès le retour de la transhumance. Pendant la crue, le *benti* stationne le plus longtemps possible, à proximité des villages et effectue des mouvements de transhumance de faible ampleur. Les animaux s'éloignent du village accompagné d'une population masculine, les *bentikobé*, avec l'assèchement progressif des points d'abreuvement au fur et à mesure qu'on avance dans la saison sèche.

Le *garti* est le troupeau de grande transhumance constitué par le plus gros du cheptel, les vaches stériles et sèches, les génisses, les taurillons, les bœufs et les taureaux, quelques vaches laitières pour la nourriture des bergers (*gartinkobé*). L'usage voulant que chez les peuls, il faut rassembler les bovins entre éleveurs apparentés et alliés, le troupeau de grande transhumance est composé de plusieurs troupeaux, chacun portant un nom et réunissant quelques centaines d'animaux qui ne portent pas la même marque de propriétaires. Le *garti* pratique les grands déplacements avec les itinéraires les plus longs.

Les *benti* et les *garti* font leur retour dans bourgoutières du DIN quand la décrue le permet.

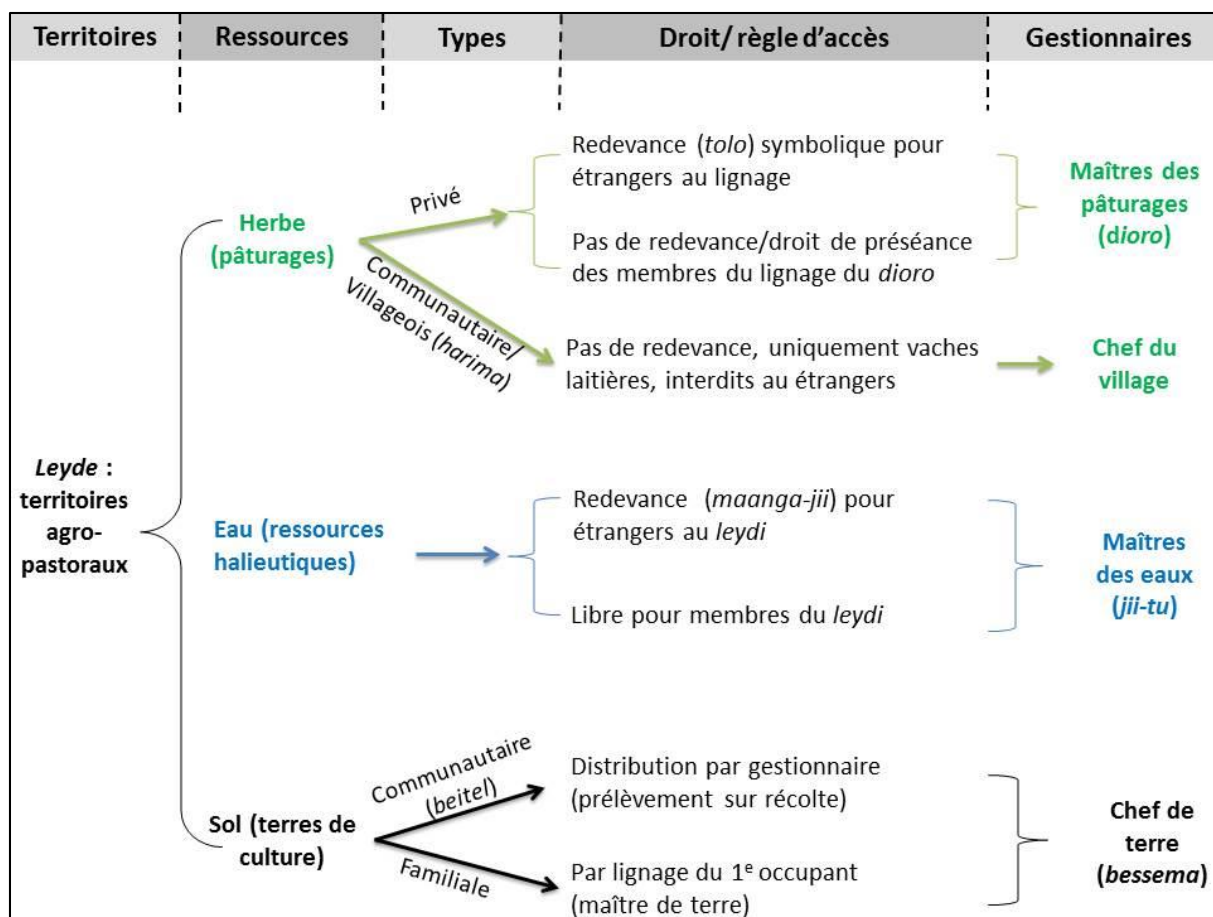
Pour l'accès aux bourgoutières, des règles de préséance furent établies et donnaient la priorité aux Peuls sédentarisés dans les villages (les locaux). Pour les peuls de passage et leurs troupeaux, l'Empereur peul a établi un système très sophistiqué de dates de passage et des pistes de transhumance et gîtes d'étape ou *windé* ; cela afin de canaliser les animaux et éviter les dégâts sur les champs. La codification pastorale comprend le réseau de pistes de déplacement de troupeaux à l'intérieur du DIN ou *goumpel*, les lieux de repos et de traite des animaux ou gîtes d'étape, les *harima* ou pâturage villageois réservés aux vaches laitières et les pâturages communautaires et privés. L'Empereur organisa également des pistes de transhumance aux pourtours du DIN appelés *burti* (singulier *bourtol*). Pour arriver dans le DIN, les troupeaux empruntent les *burti* et, une fois dans le DIN, ils empruntent les *goumpel* pour accéder aux bourgoutières (Barrière 2002). Pendant la Dina la redevance payée par les propriétaires des troupeaux étrangers au *leydi* était limitée à une valeur symbolique (couverture, aiguille, rouleau de fil de coton, gourde à traire, prêt d'une laitière, cauris).

L'Empereur a également organisé la dynamique agricole en instaurant la fonction de *bessema*, chef des agriculteurs ou chef de terre. Pour chaque *leydi*, la Dina nomma un *bessema* choisi parmi les *rimaïbés* et placé sous la tutelle du *dioro* (Barrière 2002). Le système agraire se composait du *beitel*<sup>7</sup> ou terre communautaire ou collective gérée par le *bessema* et la terre lignagère gérée par le maître de terre (Barrière and Barrière 1996). Le *bessema* répartissait les terres, dirigeait le maître de terre et gérait aussi les questions relatives à la chasse et à la cueillette (Barrière 2002).

Pour le domaine de la pêche, sur les prémices de la propriété des eaux instaurée par les *Ardos*, la Dina instaura la fonction de maître des eaux ou *jii-tuu* ; il est le descendant le plus âgé en ligne agnatique du premier occupant ayant conclu un pacte avec les génies (Fay 1989a). Le maître des eaux percevait la redevance de pêche ou le *maanga-jii* (1/3 de la production) payée par les pêcheurs étrangers au *leydi* ou au lignage pour avoir accès aux pêcheries (Barrière 2002). Le maître des eaux effectue les principaux sacrifices, fixe la date des mises en défens du fleuve et des mares et descend le premier dans l'eau à l'occasion des pêches collectives d'étiage (Fay 1989b). La Figure II-8 résume le système de gestion des ressources naturelles du DIN instauré sous la Dina.

---

<sup>7</sup> Pendant la Dina, les prisonniers de guerre (*Rimaïbé*) étaient affectés à la production agricole sur les terres au profit du pouvoir peul.



**Figure II-8.** Système de gestion des ressources naturelles du delta intérieur du fleuve Niger instauré par la Dina

En 1862, les Toucouleurs mirent fin au règne des Peuls. L'administration Toucouleur n'a pas trop altéré sur les règles de la Dina, mais elle a marqué la tenure foncière en déposant certaines familles hostiles à sa cause, en déplaçant certaines familles de leurs terroirs traditionnels et en choisissant les chefferies soumises à sa cause (Gallais 1962). Le règne des Toucouleurs prit fin avec l'arrivée des colons.

Espace d'union et/ou de rivalité, le DIN est l'espace de la coprésence et d'une organisation territoriale spécifique. C'est sur ce fond de territorialisation et de relations de pouvoirs que la colonisation française et les différents pouvoirs étatiques au Mali vont se mettre en place (Bouaré 2012).

### *b. Gestion moderne*

#### ➤ Période coloniale (1893-1960)

Le Mali a été colonisé par la France sous le nom de Soudan français. L'expansion coloniale a atteint le DIN en 1893 (Kassibo 1997). La colonisation a instauré un nouveau découpage de

l'espace en s'inspirant du modèle de la Métropole. L'Etat représentait l'exécutif national, subdivisé en régions administrées par des gouverneurs. Les régions sont constituées de Cercles qui sont administrés par les commandants de Cercle et subdivisés en cantons. Les cantons, administrés par les chefs de cantons, englobent plusieurs villages gérés par les chefs de village.

Dans le DIN, la colonisation s'est appuyée sur les limites des anciennes chefferies, notamment les territoires pastoraux (*leyde*) hérités de la Dina de Cheickou Amadou pour asseoir les cantons. Cependant, dans son processus de territorialisation, la mise en place des cantons dans le DIN s'est illustrée par le regroupement de villages qui, souvent, ne faisaient pas partie des mêmes territoires pastoraux (Lima 2003). Ceci a conduit à des concurrences entre populations qui n'avaient pas les mêmes pratiques spatiales.

Sans supprimer les systèmes de gestion instaurés à l'époque de la Dina, le colon superposa les structures administratives aux chefferies déjà existantes. Les administrateurs coloniaux disposaient de la quasi-totalité des pouvoirs pour gérer leur circonscription et organisaient des tournées afin de réaffirmer périodiquement leur domination sur l'ensemble du territoire et sur ses habitants. Dans le cadre de ce système, les chefs de canton étaient choisis par le colonisateur parmi les chefs de villages (Fay 2005). Les chefs de cantons avaient la responsabilité d'exécuter les ordres du commandant de cercle: le prélèvement des impôts, la fourniture des céréales, le travail forcé, etc. Les chefs des territoires pastoraux, des villages ou des lignages qui se sont ralliés au régime colonial ont été maintenus dans leurs fonctions puis investis chefs de canton. L'administration coloniale affaiblit le pouvoir des gestionnaires traditionnelles en s'appropriant des portions de cours d'eau, des troupeaux, des pâturages et en réclamant des taxes au titre du droit coutumier. Les populations furent intégrées dans un vaste système coercitif (travaux forcés, conscription, brimades) dont l'exécution reposait principalement sur la chefferie cantonale et diligenté par le commandant de cercle qui demeurait l'épicentre des prises de décisions capitales (Kassibo 1997). Le commandant de cercle administre, perçoit l'impôt, rend la justice, fait la police, gère les prisons, dirige les services publics (Suret-Canale 1977).

C'est de ce système colonial qu'hérita le Mali à l'indépendance.

### ➤ **Période postcoloniale (avènement de la République du Mali)**

A l'indépendance en 1960, l'Etat malien a continué sur la base du découpage spatial dans un contexte de centralisme politique avec une mise à l'écart des leaders coutumiers.

Pour mettre fin aux prérogatives foncières des lignages, l'Etat devient l'unique propriétaire légal du domaine foncier et des ressources naturelles sur l'ensemble du territoire selon le principe de la domanialité, en transformant les propriétés coutumières en 'biens communs' (Fay 1997). Les circonscriptions administratives mises en place jouaient plutôt un rôle de contrôle vis-à-vis des populations et contribuaient à renforcer le pouvoir centralisé hérité de la colonisation (Kassibo 1997). Les réformes entreprises par le régime socialiste (1960-1967) de l'Etat postcolonial ont plutôt contribué à renforcer le pouvoir centralisé hérité de la colonisation.

En 1991, la problématique de la décentralisation dans le cadre de la gestion des ressources naturelles et des activités de production devient une question essentielle dans la politique nationale (Bouaré 2012). Ainsi le processus institutionnel et le maillage spatial ont été repensés. Les collectivités territoriales furent définies et créées avec pour rôle la conception, la programmation et la mise en œuvre des actions de développement économique, social et culturel d'intérêt régional ou local (Article 3 de l'ordonnance n° 91-039/P-CTSP, 1991). Les collectivités territoriales sont dotées de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Ainsi le territoire malien est divisé en régions, regroupant les cercles, les cercles étant formés par les communes et les communes par les villages (pour les sédentaires) et fractions (pour les nomades). La loi N°95-034/AN-RM du 12 avril 1995 portant sur le code des collectivités territoriales définit les différentes entités du maillage territorial, le système administratif ainsi que les rôles (nous mentionnerons uniquement les rôles relatifs à la gestion des ressources naturelles).

La commune est une collectivité décentralisée qui se compose de quartier (zone urbaine) ou de regroupement de villages et/ou de fractions (zone rurale). La commune est administrée par le conseil communal dont les membres sont élus par les citoyens résidents dans la commune. Le maire et ses adjoints constituent le bureau communal et sont élus au sein du conseil. Le rôle du conseil, entre autres, est la rédaction du schéma d'aménagement de la commune, la protection de l'environnement, la gestion domaniale et foncière, l'organisation des activités agro-sylvo-pastorales et cynégétiques et l'institution des taxes et taux d'impôts (sur la base de la loi). Le conseil prend en compte les aspirations des communautés de base dans le processus de décision en consultant les chefs des villages ou des fractions qui président le conseil de leur communauté. Les avis sont limités aux points concernant l'occupation privative du domaine public, le cadastre et l'organisation des agro-sylvo-pastorales. Le chef de village



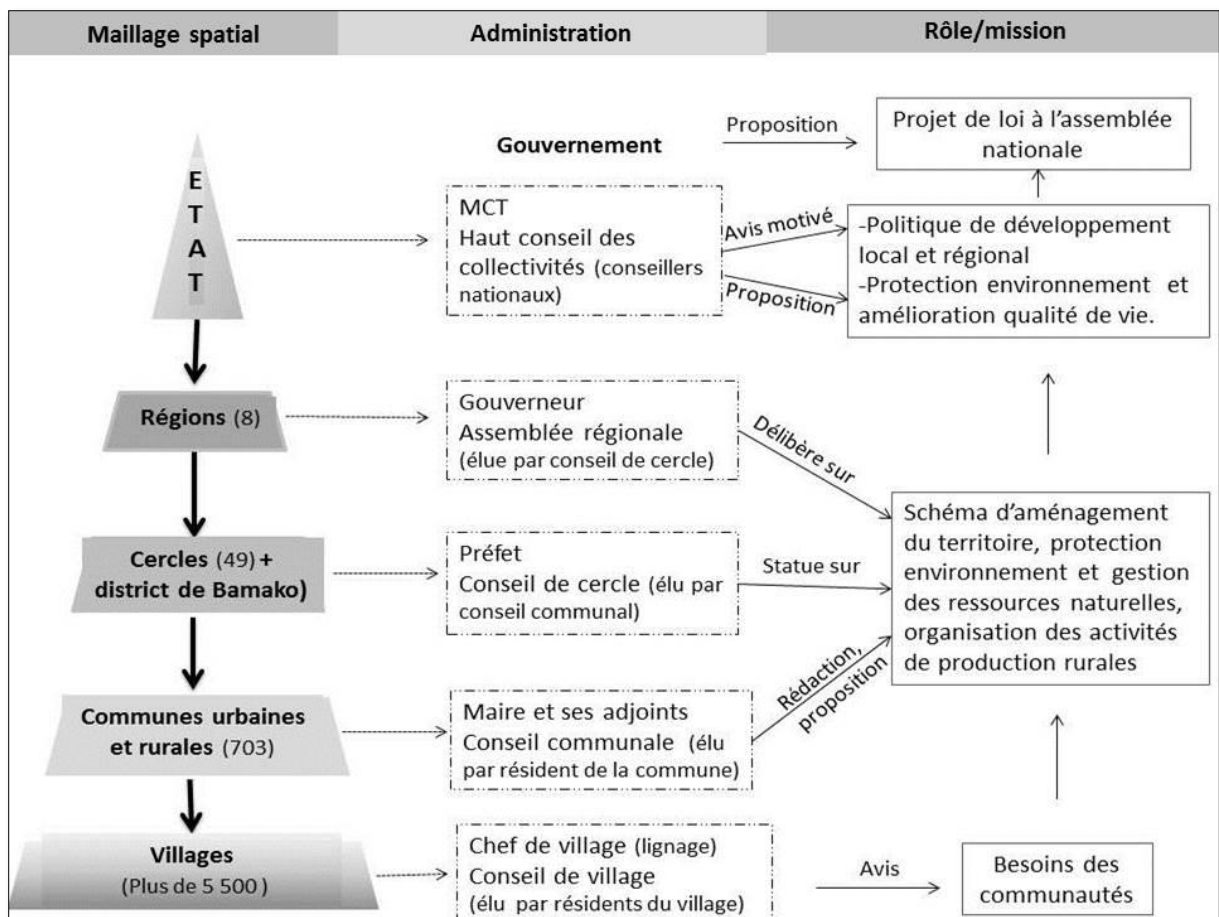
et/ou de fraction exprime auprès du maire les besoins sa communauté et veille à l'application des lois, des règlements et des décisions des autorités communales.

Le cercle est la collectivité de niveau intermédiaire de mise en cohérence entre la région et la commune. Il est administré par un conseil de cercle constitué de représentants élus par les conseillers communaux et d'un représentant de l'Etat appelé préfet (chef de cercle). Le rôle du conseil porte sur la protection de l'environnement, l'hydraulique rurale, l'organisation des activités rurales et des productions agro-sylvo-pastorales. Le préfet contrôle la légalité des actes posés par les communes et joue le rôle de chef des services déconcentrés.

La région est une collectivité de mise en cohérence des stratégies de développement et d'aménagement du territoire. Elle est administrée par une assemblée régionale dont les membres sont élus au sein de chaque conseil de cercle et d'un représentant de l'Etat appelé le gouverneur. L'assemblée régionale délibère, entre autres, sur le schéma d'aménagement du territoire et de développement régional et sur les actions de protection de l'environnement. Elle contrôle la légalité des actes posés par les cercles, joue un rôle d'appui-conseil technique et de chef des services déconcentrés régionaux.

Enfin, au niveau de l'Etat, le Haut-Conseil des Collectivités assure la représentation des collectivités territoriales. Le Haut-Conseil des Collectivités est élu au suffrage direct, et les membres portent le titre de conseillers nationaux. A ce niveau le Ministre chargé des Collectivités territoriales assure la tutelle des régions et est appuyé dans sa tâche par la Direction Nationale des Collectivités Territoriales (DNCT). Le Haut-Conseil des Collectivités a pour mission d'étudier et donner un avis motivé sur toute politique de développement local et régional. Il peut faire des propositions au Gouvernement pour toute question concernant la protection de l'environnement et l'amélioration de la qualité de vie des citoyens à l'intérieur des collectivités. Le Gouvernement est tenu de déposer un projet de loi conforme sur le bureau de l'Assemblée Nationale. Le ministre chargé de l'Administration Territoriale a une fonction d'assistance, de conseil et de contrôle de la légalité.

Le découpage issu de la décentralisation porte donc sur 5 niveaux d'organisation territoriale fonctionnant en étroite collaboration : un niveau spatial d'action, d'exploitation et de pratique (commune et villages) ; un niveau d'organisation et d'exécution (cercle) ; un niveau de décision (région) et un niveau de contrôle assuré par l'Etat à travers le Ministère de l'Administration Territoriale (Bouaré 2012). Ce système est résumé dans la Figure II-9.



**Figure II-9.** Maillage territorial malien, système d'administration et rôles.

Le DIN se répartit en 3 régions administratives avec 63,1% des superficies inondables dans la région de Mopti, 27,7% dans la région de Tombouctou et 9,1% dans la région de Ségou (Zwarts 2010).

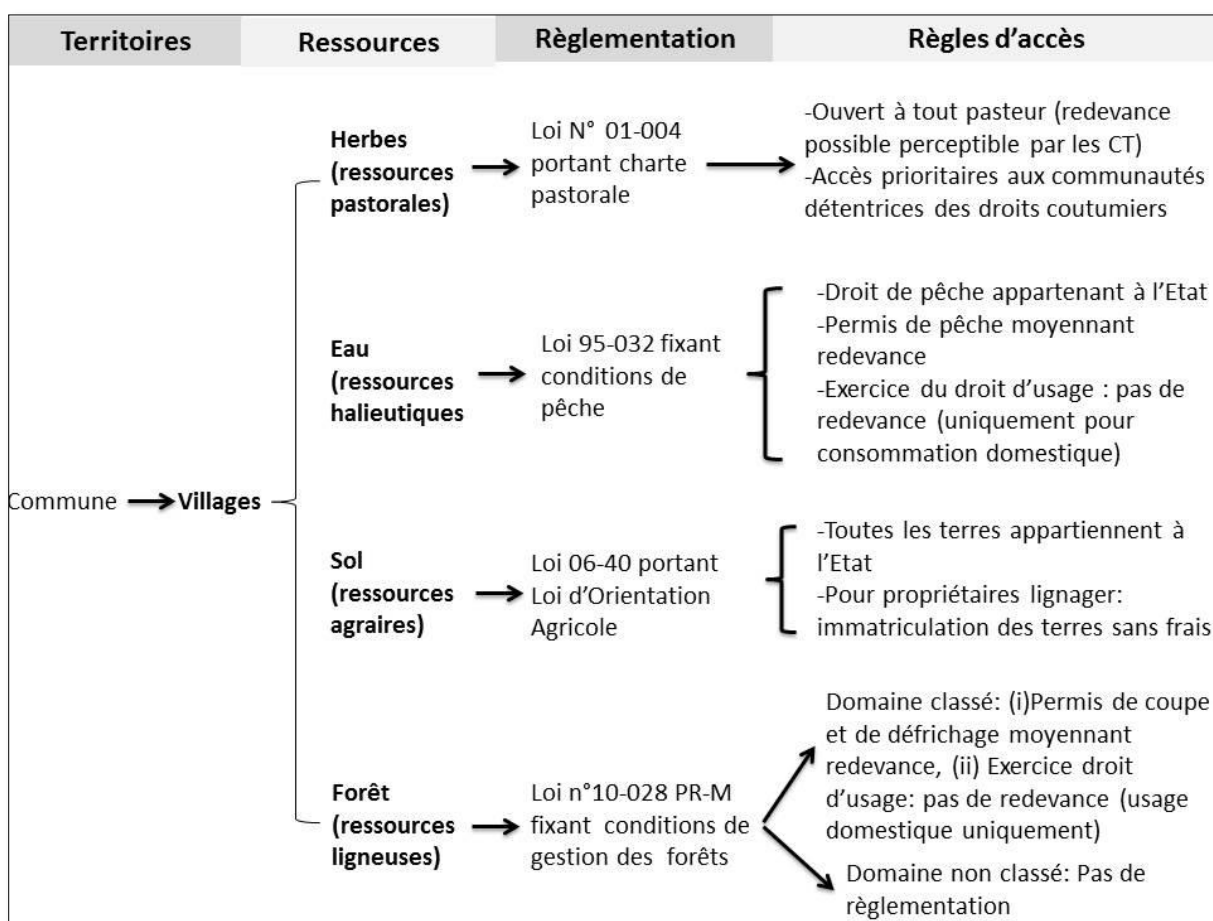
Le système de gestion moderne des ressources naturelles du DIN est régi par les politiques définies par le Gouvernement ainsi que le cadre juridique national. Entre autres, on distingue :

- ✓ La Politique Nationale de l'Eau (PNE) dont l'objectif est la promotion de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE), la protection des écosystèmes aquatiques et la contribution au développement des activités agro-sylvo-pastorales, etc. L'instrument juridique de la PNE est la loi N°02- 006/ du 31 janvier 2002 portant Code de l'Eau ;
- ✓ La Politique Nationale de Développement de l'Elevage (PNDE) dont les objectifs reposent sur la valorisation et la gestion durable des ressources pastorales et des points d'eau aménagés, l'élaboration de schémas d'aménagement pastoraux, la restauration des terres dégradées, le suivi des écosystèmes pastoraux, la lutte contre les feux de brousse et la régénération et l'enrichissement des parcours pastoraux. L'instrument

juridique de la PNDE est la Loi N° 01-004 du 27 février 2001 portant Charte Pastorale ;

- ✓ La Politique de Développement de la Pêche et de l'Aquaculture (PDPA) dont l'objectif vise à accroître la contribution du sous-secteur à la satisfaction des besoins alimentaires du pays, à la promotion des aménagements durables des pêcheries, à la conservation de la diversité biologique et à la restauration des écosystèmes. La Loi 95-032 du 20 mars 1995 fixe les conditions de la pêche et de la pisciculture et demeure l'instrument juridique de la mise en œuvre cette politique ;
- ✓ La Stratégie Energie Domestique (SED) dont les objectifs sont de contribuer à la protection de l'environnement par la gestion de l'énergie domestique et de rationaliser l'exploitation et le commerce du bois d'énergie. La Loi n°10-028 PR-M du 12 juillet 2010 fixe les conditions de gestion des ressources du domaine forestier national ;
- ✓ La Politique de Développement Agricole (PDA) dont le but est de promouvoir une agriculture durable et vise à garantir la souveraineté alimentaire. Sous cette politique on distingue la Stratégie Nationale de Développement de l'Irrigation (SNDI) et la Stratégie Nationale de Sécurité Alimentaire (SNSA). La SNDI vise à assurer la maîtrise de l'eau afin de consolider la production alimentaire et la SNSA d'assurer les besoins céréaliers et le développement des aménagements hydro- agricoles. L'instrument juridique règlementant la mise en œuvre est la loi 06-40 du 26 août 2006 portant Loi d'Orientation Agricole (LOA).

La figure II-10 résume les règles d'accès et d'exploitation des ressources du DIN fixées par la Réglementation Nationale.



**Figure II-10.** Gestion moderne des ressources naturelles du delta intérieur du fleuve Niger

Dans le DIN, les règles de gestion modernes et coutumières instaurées par la Dina se chevauchent. La superposition des règles coutumières et modernes ainsi que la concurrence foncière due à la réduction des superficies inondées et à la pression démographique, entraînent de nombreux conflits dans le DIN.

#### 4. Concurrence foncière, conflits et dégradations des ressources naturelles

Le DIN s'est illustré ces trois dernières décennies en un théâtre de conflits sanglants ayant causé des morts et occasionné des blessures graves. Ces affrontements ont souvent eu pour cause des litiges de terres, de bourgoutières et de pêcheries.

Avec la péjoration climatique, les différents secteurs, jadis complémentaires, se concurrencent de plus en plus avec des calendriers d'activités de plus en plus incompatibles.

L'espace pastoral, principalement les bourgoutières, est fréquemment défriché au profit de l'agriculture. Les superficies rizicoles ont augmenté de 51 % entre 1952 et 1975 alors que les

superficielles pâturables ont diminué de 29 % (Nadio 1984). Dans le DIN il n'y avait pas d'espaces agricoles proprement dit car l'espace est tantôt cultivé, tantôt pâturé ce qui excluait l'exclusivité de l'espace à un seul usage. Avec les aménagements hydroagricoles, les espaces agricoles sont aménagés, clôturés ou surveillés dans le but d'en interdire l'accès (Barrière and Barrière 1996), entraînant ainsi une concurrence ouverte entre l'espace pastoral et l'espace agricole.

L'espace halieutique a été également réduit avec les sécheresses. En raison de la faiblesse des crues, les lacs périphériques n'ont pas été alimentés de 1983 à 1993 (Orange 2002). De 1979 à 1991, le nombre de réserves de pêche a diminué de 343 à 177 (Koné 1991). La réduction des bourgoutières influence la productivité des pêcheries car elles représentent les zones de frayères des poissons. Avec la diminution régulière de la taille des poissons capturés, les tailles des mailles des filets des pêcheurs sont passées de 50 mm à 41-50 mm entre 1976 et 1983, puis de 41 à 33 mm entre 1984 et 1989 (Laë *et al.* 1994) et, enfin, à 10 mm en 2007.

Par ailleurs, la nationalisation des terres et des eaux et l'administration moderne des ressources du DIN ont entraîné de nombreux problèmes de gestion. Les droits fonciers coutumiers ont été réduits en un simple droit d'usage. Cette intrusion de l'Etat a conduit à des interprétations et à des abus : chaque groupe social, chaque individu, suivant les circonstances, se comporte en véritable propriétaire en essayant de garder l'exclusivité de l'exploitation de telle ou telle parcelle ou en copropriétaire en rappelant la mainmise de l'Etat sur le sol (Cissé 1986).

Les agriculteurs du DIN, en vertu du droit coutumier, n'immatriculent pas leurs terres alors que, selon le code domaniale et foncier, les terres non immatriculées détenues en vertu des droits coutumiers font partie du domaine privé de l'Etat. Cependant, en vertu du droit coutumier, les agriculteurs du DIN se réclament toujours propriétaires de ces terres non immatriculées car, pour eux, ils sont déjà propriétaires ou utilisateurs de ces terres depuis des générations et selon la loi de leurs ancêtres (Fay 1995).

L'instauration du permis de pêche, qui donne théoriquement droit de pêche à tous ceux qui le paient, ont ouvert l'accès à la ressource à des personnes ou à des groupes qui n'ont aucune raison d'en user avec précaution et selon les règles traditionnellement reconnues (Quensière and Poncet 2000).

La monétisation des taxes a entraîné une attitude mercantile des *dioros* ainsi que la multiplication de leurs nombres (le DIN compte plus de 200 *dioros* contre 60 sous la Dina).

Koné (2007) a fait un recensement des conflits en faisant ressortir les fréquences d'apparition ainsi que les causes dans la région de Mopti que nous résumons ci-dessous.

- **Conflit entre agriculteurs et éleveurs** : 43,5% ; retour précoce des animaux dans le DIN et divagation des animaux, dégâts des champs suite au non-respect des pistes par les agriculteurs et les éleveurs, transformation d'un pâturage en champ, refus du droit de passage des animaux, non-respect des pistes de parcours par les agriculteurs et les éleveurs, insuffisance de terres de culture, insuffisance des points d'eau, refus de déguerpissement d'un agriculteur ou d'un éleveur ;
- **Conflit entre agriculteurs** : 25% ; dépassement des limites culturales, occupation non autorisée des terres, refus de payer une redevance, tentative de transformer une détention provisoire en détention définitive ;
- **Conflit entre éleveurs** : 17,5% ; revendication de titre *dioro* ou de pâturage, violation de l'ordre de traversée, non-paiement des redevances au *dioro*, ignorance des gîtes d'étape ;
- **Conflit entre pêcheurs** : 7,29% ; non-respect des règles traditionnelles sur les mises en défens et les périodes de pêches, dégâts des ouvrages de pêche ;
- **Conflit entre pêcheurs et éleveurs** : 6,61% ; dégâts sur les matériels de pêche, revendication de propriétés coutumières, non-respect des règles traditionnelles.

### **Conclusion partielle**

Les ressources en eau du DIN sont principalement constituées par les apports du bassin supérieurs du Niger et de son affluent le Bani, avec une contribution minime des pluies locales. Ces apports des bassins en amont insufflent au DIN une dynamique hydrologique qui se caractérise par 4 périodes principales : la montée des crues et les hautes-eaux caractérisées par les déversements sur les plaines d'inondation et l'alimentation des nappes souterraines, puis la décrue et la période d'étiage caractérisées par le retrait des eaux des plaines et la restitution des nappes souterraines aux fleuves. Les apports déterminent également les superficies maximales dont le maximum peut atteindre 40 000 km<sup>2</sup> et le minimum 6 000 km<sup>2</sup>.

On trouve également dans le DIN une diversité ethnique remarquable, chacune exploitant les ressources naturelles. On trouve 3 principales activités que sont la pêche, l'élevage et l'agriculture, essentiellement de la riziculture. L'exploitation des ressources est régie par les règles d'accès traditionnelles instaurées par la Dina et aussi par le cadre juridique moderne.

La péjoration climatique conjuguée à la pression démographique a entraîné la baisse des superficies inondées et de la productivité, la surexploitation et la dégradation des ressources et les conflits entre usagers. La superposition des lois modernes au droit traditionnel a engendré des problèmes de gestion des ressources du DIN et accentué les conflits d'usage. Dans un contexte de raréfaction et de compétition dans l'accès aux ressources naturelles, de pression accrue sur le milieu avec des stratégies locales de survie à court terme et dans un souci de gérer de façon durable les ressources du DIN, nous avons adopté une méthodologie centrée sur la personne afin de développer des stratégies de gestion durable.

## **Chapitre III. Données et Méthodologie générale**

### **Introduction**

Depuis les années 1960, chercheurs et techniciens se sont investis dans cette région d'eau du DIN, véritable laboratoire pour les sciences de l'eau, les sciences de la vie végétale et animale, ainsi que pour les sciences humaines. Le système d'exploitation de l'écosystème et le fonctionnement hydrologique font du DIN un écosystème complexe à gérer. La gestion sectorielle des ressources naturelles du DIN centrée sur une approche technique s'est avérée peu efficace (Bouaré 2012). Maintenant, la recherche adopte des approches plus pluridisciplinaires qui répondent à la nécessité de favoriser ce que l'on appelle une gestion intégrée des ressources naturelles. Pour répondre à la question centrale de cette thèse, nous avons favorisé une approche centrée sur les personnes (voir chapitre I), en impliquant les parties prenantes du DIN à plusieurs échelles et en combinant plusieurs disciplines.

### **I. Données et Méthodologie**

Les facteurs majeurs qui menacent la durabilité des ressources du DIN sont le climat et les pressions anthropiques.

#### **1. Analyse des données hydrologiques**

On ne peut traiter la question centrale de gestion efficace des ressources naturelles du DIN sans aborder son fonctionnement hydrologique. Ainsi nous allons procéder à l'étude de la variabilité saisonnière et interannuelle des crues du Niger et du Bani dans le DIN afin de contribuer à la connaissance de la dynamique hydrologique du milieu, qui est en étroite association avec la productivité du milieu et l'organisation spatio-temporelle des activités de productions.

Cette section porte sur l'analyse des données hydrologiques provenant de la DNH (Direction Nationale de l'Hydraulique) du Mali et qui ont été complétées par la base SIEREM (<http://www.hydrosciences.fr/SIEREM/> ; Boyer *et al.* 2006). L'analyse des données a porté sur les aspects statistiques suivants : le caractère aléatoire et les ruptures dans les séries de données chronologiques. Nous avons donc utilisé différents tests statistiques d'analyse de séries chronologiques.



A la suite de l'étude des données hydrologiques, nous avons procédé à l'élaboration des stratégies efficaces de gestion des ressources naturelles du DIN.

## **2. Elaboration des stratégies de gestion efficace des ressources naturelles du delta intérieur du Niger**

### ***a. Développement des stratégies***

Au préalable, en s'appuyant sur des missions de terrain, nous avons identifié des stratégies de gestion locales développées par les populations pour faire face aux pressions climatiques et anthropiques et à la raréfaction des ressources naturelles du DIN. Nous avons utilisé à cet effet des focus-groupes afin d'amener les populations à identifier les différents problèmes auxquels elles sont confrontées, les causes et les stratégies employées pour y faire face (Annexe 1). Cette première phase a également été ponctuée par une synthèse que j'ai effectué des stratégies de gestion durables des terres à travers différentes expériences résumées dans la base de données WOCAT (Annexe 2). WOCAT (*World Overview of Conservation Approaches and Technologies*) est une base de données regroupant les expériences de terrains et une analyse des initiatives de conservation de l'eau et du sol à travers le monde.

D'autre part en collaboration avec les partenaires du projet, nous avons procédé à l'élaboration des stratégies de gestion durable des ressources naturelles du DIN avec la participation des acteurs à différentes échelles (les parties prenantes). Les stratégies sont définies pour la conservation et la restauration des ressources naturelles du DIN mais aussi pour encourager des comportements de gestion durable à travers la sélection d'instruments économiques (IE).

### ***b. Sélection des instruments économiques***

Dans la littérature, il n'existe pas d'outil de sélection d'instruments économique mais des critères de sélection que nous avons évoqué dans le chapitre I. Dans le cadre du projet AFROMAISON deux outils le DST et la DeMax ont été développés par l'Institut des Ressources Naturelles (IRN) d'Afrique du Sud, pour la sélection des IE. Ces deux outils prennent en compte l'ensemble des critères préconisés pour la sélection d'IE pour une meilleur adéquation 'contexte – instrument'.

Le DST<sup>8</sup> (*Decision Support Tool*) est un outil d'aide à la décision qui a pour objectif d'assister le processus de sélection des instruments économiques dans un contexte donné. Il permet de sélectionner les instruments potentiels pouvant induire un changement dans la gestion des ressources naturelles. Les étapes de la sélection sont : identification de l'action de gestion qui nécessite une incitation économique puis son évaluation par rapport aux critères du DST (environnemental, social, de marché et de gouvernance). L'évaluation se fait selon la pertinence du critère et consiste à répondre aux différentes questions en sélectionnant le bouton 'oui' ou 'non'. A la suite de cette étape, le DST permet de calculer les scores de chaque instrument. On déduit à partir des scores les instruments susceptibles d'offrir les incitations les plus significatives.

A la suite de la sélection des instruments potentiels, la Demax (Design Matrix) ou matrice de conception est utilisée pour explorer la faisabilité ou la mise en œuvre des instruments.

La Dmax<sup>9</sup> a pour objectif d'appuyer la conception du système de mise en œuvre de l'instrument. Elle fournit une approche pour évaluer l'efficacité et la viabilité de l'IE dans des conditions locales spécifiques. Elle permet de mettre en évidence les lacunes ou les obstacles de la mise en œuvre de l'IE sélectionné par le DST. Elle comprend une série de critères portant sur deux aspects, à savoir les impacts potentiels de l'instrument économique sur le contexte local, et l'influence du contexte local sur l'efficacité de l'instrument économique. C'est pourquoi l'exploration d'un instrument avec la Demax se fait suivant 4 catégories de critères : les critères sociaux, écologiques, de marché, et de gouvernance. Les étapes à suivre dans le processus sont :

- évaluer chaque critère en fonction de cinq états (très certainement, probable, incertain, improbable, certainement pas, non applicable), qui reflètent la probabilité que la condition exprimée par les critères soit satisfaite.
- pondérer l'importance des critères par rapport aux autres de la même catégorie en sélectionnant soit moyen, en dessous de la moyenne ou au-dessus de la moyenne.
- pondérer l'importance des catégories en utilisant le système d'étoile.

La matrice attribue un score final. Dans la section 'points à signaler' de l'outil, l'utilisateur peut ajouter les considérations clés à prendre en compte dans la mise en œuvre de l'instrument.

Lewis *et al.* (2014) donnent un descriptif détaillé des deux outils DST et DeMax.

---

<sup>8</sup> [http://afromaison.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=72&Itemid=184](http://afromaison.net/index.php?option=com_content&view=article&id=72&Itemid=184)

<sup>9</sup> [http://afromaison.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=85&Itemid=185](http://afromaison.net/index.php?option=com_content&view=article&id=85&Itemid=185)

En somme, une série d'ateliers avec les parties prenantes au quelle j'ai participé a permis de définir les différentes stratégies ainsi que les actions les composant (Tableau III-1).

**Tableau III-1.** Liste des ateliers avec les parties prenantes pour l'élaboration des stratégies de gestion durable des ressources naturelles du DIN

<b>Atelier</b>	<b>Actions pour l'élaboration des stratégies</b>	<b>Parties prenantes</b>	<b>Date</b>
De Ségou (Mali) : atelier d'introduction	- Présentation du projet AFROMAISON; - Discussion et choix des sites d'étude dans le DIN; -Présentation et discussion des instruments économiques	ABFN, DRA, DRP, GDRN5, DNEF, DREF, DRPIA, DRPSIAP, PDD-DIN, SFN/ABN, CNU, ARM, représentants des agriculteurs, pêcheurs, éleveurs, projet FODESA, Sahel Consult, ONG CARE Mopti, Mairie de Dialloubé, de Diafarabé, de Déboye, ORM, Office du Niger, WI	26-29 Juin 2012
De Mopti (Mali) : développement des stratégies	-Présentation et discussion des stratégies locales -Présentation synthèse des expériences du WOCAT -Elaboration des stratégies.	CNU - Mali, FODESA / Mopti, Mairie DIAFARABE, Office du Niger, SFN / ABN, PDD – DIN, DNEF, GDRN5, ORM, Conseil Régional Mopti, CRA, Eaux et Forêts Youwarou, DRPSIAP, DRH, WI.	22-24 Mai 2013
De Ouagadougou (Burkina Faso) : instruments économiques	-Présentation des instruments économiques et des outils de sélection (DST et Dmax) -sélection instruments économiques pour la gestion des ressources naturelles du DIN.	Mairie de Diafarabé, Mairie de Dialloubé, Mairie de Déboye, DRPIA, DRP, ORM, GDRN5, PDD-DIN, Femme ressource en gestion des RN (Youwarou), DRPSIAP, représentants agriculteurs, pêcheurs, éleveurs, IRSTEA, WI.	8-12 Juillet 2013
De Sévaré (Mali) : amélioration des stratégies	-Présentation IE sélectionnés -Présentation actions additionnelles (WOCAT) -Intégration des actions locales et additionnelles du WOCAT dans les stratégies	Représentants agriculteurs, pêcheurs, éleveurs, PDD-DIN, Mairie de Dialloubé, de Diafarabé, WI	17-18 Novembre 2013

### 3. Perceptions de la prévision climatique dans le delta intérieur du Niger

Les activités de production dans le DIN sont fortement dépendantes des conditions climatiques fort variables d'une année à une autre. L'information climatique est un moyen utilisé de plus en plus pour prévenir et atténuer les effets de la variabilité climatique. C'est dans cette optique qu'une enquête de terrain a été menée auprès des usagers du DIN pour acquérir leur perception sur les prévisions climatiques. Cette enquête a eu lieu d'octobre en Novembre 2012. Compte tenu de la situation sécuritaire au Nord Mali, les enquêtes ont été

conduites par des enquêteurs recrutés sur place (Mali). Nous avons organisé un atelier de formation des enquêteurs qui a eu lieu à Ouagadougou (Burkina Faso), le 27-29 août 2012. Les résultats d'enquêtes ont été consignés dans une base de données que j'ai développé sous Access, puis traités et analysés sous Excel et SPSS.

Suite à cela, nous avons simulé l'intérêt économique de l'information climatique avec un modèle hydroéconomique qui couple le fonctionnement hydrologique d'un système agricole à un modèle économique d'exploitation agricole.

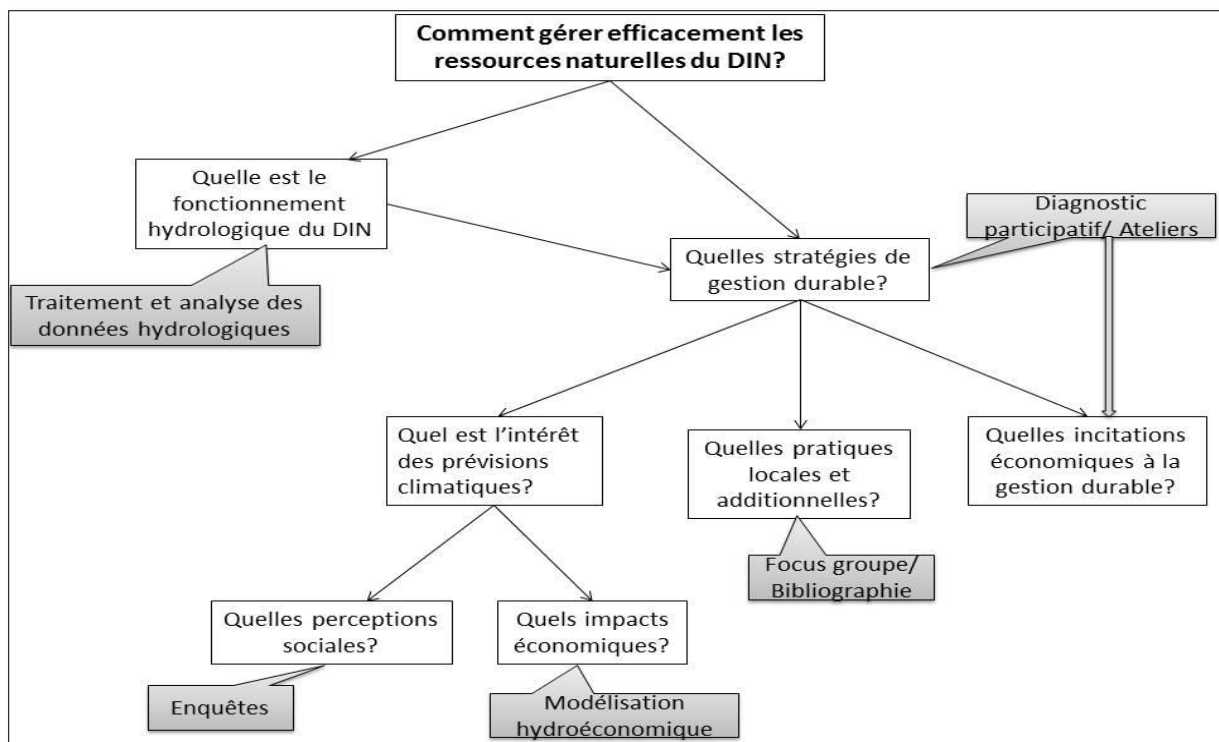
#### **4. Modélisation hydroéconomique**

L'approche modélisation consiste à simuler l'intérêt économique de l'information climatique par un algorithme de programmation mathématique dont la fonction objectif optimise le revenu sous différentes contraintes et selon différents scénarios. Le modèle intègre des variables d'ordre agroéconomique et climatique. Nous avons utilisé le logiciel GAMS (*General Algebraic Modeling System*) pour mettre le système agricole en équation

Pour l'acquisition des données agroéconomiques, nous avons effectué deux séjours sur le terrain. Un premier séjour de 3 semaines (Mars 2014) où j'ai réalisé des entretiens avec les riziculteurs et les services de l'agriculture. Un deuxième séjour de 3 semaines (juillet 2014) a été effectué par un stagiaire pour acquérir les données complémentaires au modèle (visites de terrain et entretiens supplémentaires avec les riziculteurs).

Pour les variables climatiques, nous avons traité les séries de données chronologiques des débits et des pluies de la zone concernée par l'étude.

La méthodologie globale adoptée a impliqué les parties prenantes du DIN et était centrée sur une approche population. La Figure III-1 résume la démarche adoptée.



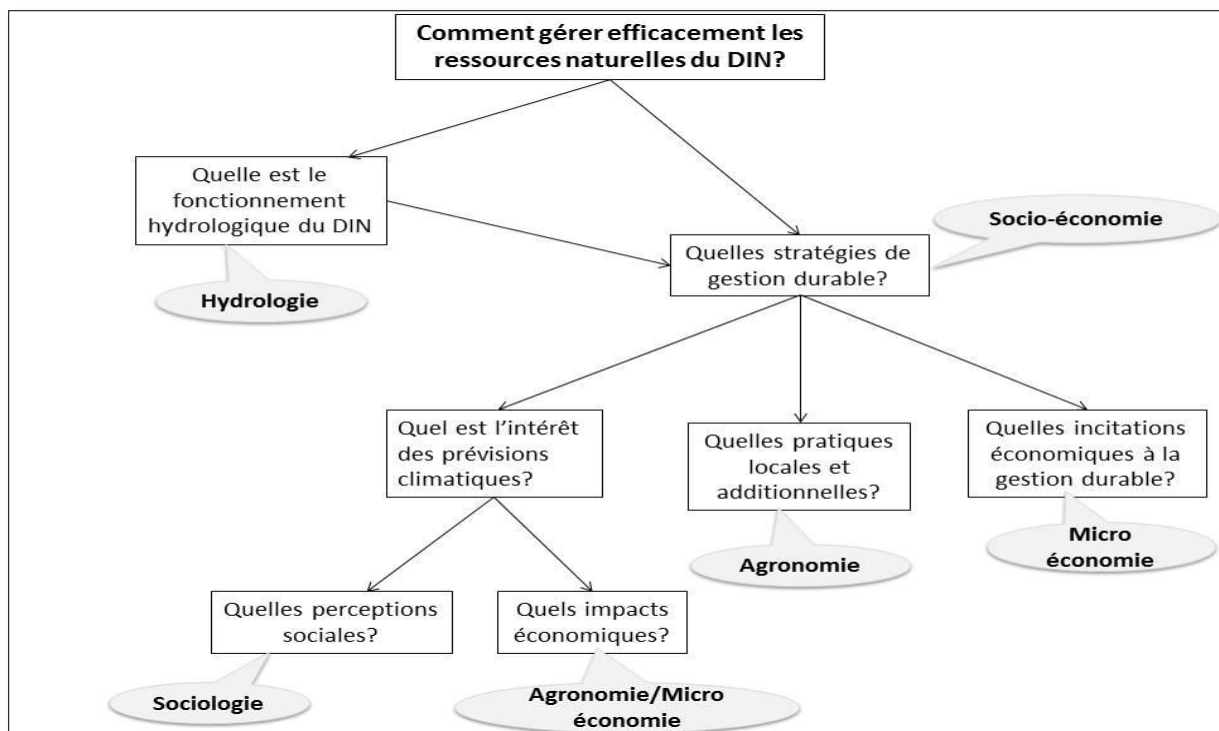
**Figure III-1.** Approche adoptée dans la thèse

## II. Aspect pluridisciplinaire de la thèse

### 1. Les approches scientifiques mobilisées

Le traitement de la problématique centrale de cette thèse a nécessité la mobilisation de plusieurs disciplines. Il y a en premier lieu l'Hydrologie. Pour comprendre le fonctionnement des sociétés du DIN, il faut d'abord comprendre sa dynamique hydrologique. La mobilisation de cette discipline a servi au traitement et à l'analyse des données hydrologiques. L'objectif a été de déduire des indicateurs potentiellement utilisables par les populations pour mieux caler leurs activités dans un contexte de variabilité climatique. Ensuite, il y a eu la Sociologie avec des méthodes d'enquête et la conduite d'ateliers pour s'assurer que les méthodes employées permettent de collecter des informations sincères et exploitables. Elle intervient également dans l'évaluation de la démarche participative employée.

Certains paramètres hydrologiques ont été intégrés dans le modèle économique en sus des paramètres agroéconomiques. La mobilisation des paramètres du modèle hydroéconomique a donc nécessité l'utilisation de deux autres disciplines à savoir l'économie et l'agronomie. Les enquêtes de terrain ont nécessité la compréhension des calendriers des activités agricoles et d'élevage ainsi que le lien entre hydrologie et les rendements du riz.



**Figure III-2.** Aspect pluridisciplinaire de la thèse.

## 2. L'équipe encadrante

L'aspect pluridisciplinaire de la thèse se traduit également par la composition de l'équipe encadrante puisqu'elle a réuni deux hydrologues, deux agroéconomistes et une sociologue qui ont trouvé en ce travail un terrain de jeu commun pour confronter leurs approches et pour tenter de donner une cohérence à l'ensemble.

Si la codirection de la thèse tend à favoriser les angles hydrologiques et économiques, les aspects sociologiques s'imposent par la nécessité de réaliser des enquêtes sur la perception des acteurs, par les interrogations sur les stratégies d'acteurs et les interactions entre groupes sociaux.

La pluridisciplinarité était aussi centrale au projet AFROMAISON où toutes les disciplines étaient représentées et les approches discutées, critiquées et parfois validées par les chercheurs de chaque discipline. La philosophie du projet était d'éviter les cloisonnements disciplinaires.

## III. Les difficultés rencontrées

Cette approche pluridisciplinaire adoptée a été une expérience fort enrichissante pour moi mais elle a suscité quelques difficultés.

## 1. Les difficultés liées au rapprochement disciplinaire

Une première difficulté de la pluridisciplinarité a été l'acceptation par les autres disciplines de certaines hypothèses utilisées dans cette thèse. Par exemple, l'hypothèse centrale de la microéconomie, et donc de notre modèle hydroéconomique, est la rationalité d'un agent ou d'un ensemble d'agents qui cherche à maximiser un gain sous différentes contraintes. Beaucoup de sociologues la contestent, et estiment que c'est l'environnement qui conditionne l'homme. La maximisation du gain se fera donc, de préférence, sous des contraintes culturelles et de la disponibilité d'une ressource donnée. Le choix d'un comportement économique peut être le résultat d'un environnement social donné. Dans le DIN, un agent est-il uniquement un *homo economicus*, c'est-à-dire un être rationnel hors environnement social ou sans l'influence des faits sociaux ? Il y a des interactions parfois conflictuelles entre les groupes sociaux et à l'intérieur d'un même groupe social, compte tenu du fait qu'ils se partagent le même espace mais à des échelles de temps différentes. La 'conférence des bourgoutières' (ayant pour but de réguler la transhumance) qui se tient chaque année dans le DIN pour décider de la date d'entrée des animaux est la preuve qu'il existe une relation sociale et qu'un pasteur du DIN ne peut agir de façon isolée pour maximiser son profit.

A la théorie néoclassique de la rationalité, vient se superposer le principe de l'objectivité des sciences sociales. En effet, ce qui paraît rationnel pour un individu peut ne pas l'être pour un autre. Dans nos sociétés, est jugé rationnel tout ce qui s'apparente à la culture ou la morale. Comme précédemment évoqué, le point de vue de la théorie économique est différent. Il s'avère donc important de définir la rationalité ou la maximisation d'un profit sous différents angles ou contraintes sociales. Karl Polanyi (1983) souligne ce fait en replaçant l'économie au cœur des relations sociales : «*La découverte la plus marquante de la recherche historique et anthropologique récente est que les relations sociales de l'homme englobent, en règle générale, son économie. L'homme agit, de manière non pas à protéger son intérêt individuel à posséder des biens matériels, mais de manière à garantir sa position sociale, ses droits sociaux, ses avantages sociaux* ».

En sus, la difficulté d'articuler les différentes disciplines ensemble réside au niveau des points discordants dans la mise en place de la démarche. D'un point de vue méthodologique, l'élaboration des enquêtes de terrain a suscité quelques discussions dans l'équipe, la sociologue privilégiant les questionnaires ouverts et les économistes les questionnaires fermés. La sociologue souhaitait régulièrement ouvrir les questions pour obtenir un narratif plus riches alors que l'économiste visait essentiellement l'obtention de données quantitatives.

Par ailleurs, notre formation en sciences humaines relativement limitée, a rendu quelque fois le rapprochement disciplinaire complexe et laissé souvent un sentiment de malaise. Ce sentiment provient à la fois d'un inconfort personnel à se placer dans une démarche dont on connaît encore mal les tenants et les aboutissants, et de mises en garde régulières, plus ou moins expresses, provenant d'experts confirmés. Par ailleurs, si la pluridisciplinarité constitue une épreuve pouvant apparaître parfois déplaisante pour des apprentis chercheurs, c'est aussi en partie parce qu'elle donne l'impression d'une impossible spécialisation : elle laisse un goût d'inachevé, conforté par le sentiment de ne rien maîtriser et de faire dans l'approximatif. Ce sentiment est renforcé par l'image de 'touche à tout' renvoyée par les évaluateurs externes (Bühlera *et al.* 2006). Ce point de vue relate mon ressenti immédiat sur ma propre expérience de la pluridisciplinarité.

## **2. Les difficultés liées au terrain de recherche**

L'une des difficultés majeures de la thèse résidait dans l'accès au terrain d'étude. A la veille de notre première mission de terrain, le gouvernement du Mali a été renversé par un coup d'état (Mars 2012). Avant, pendant et après, plusieurs enlèvements et attentats furent perpétrés, mettant le pays dans une situation d'insécurité et rendant les travaux de terrain difficiles. Nous avons été obligés d'engager trois enquêteurs locaux pour administrer les enquêtes et nous avons aussi dû déplacer deux ateliers de travail à Ouagadougou (sélection des instruments économiques et formation des enquêteurs), ce qui engendra des frais supplémentaires et des retards, non prévus à l'origine.

En outre, la démarche préconisée pour les enquêtes était le choix d'un échantillon aléatoire en adoptant le 'porte-à-porte'. Ce système n'a pas eu de succès au sein des peuls (communautés des pasteurs du DIN), connu pour leur nomadisme et chez les rimaibés (les agriculteurs) indisponibles à cause de la campagne agricole. C'est ainsi que la démarche a été révisée et la rencontre des peuls s'est faite au lieu où ils traient les vaches laitières. Pour les rimaibés, les enquêtes étaient administrées les jours où ils ne se rendaient pas au champ.

Le DIN étant une zone très enclavée et les passages de transporteurs assez aléatoires, les déplacements à l'intérieur du DIN ont été compliqués lors des séjours sur le terrain.



## **Conclusion partielle**

Pour répondre à la question centrale de notre recherche nous avons mené au préalable des études hydrologiques par une analyse des séries chronologiques. Nous avons ensuite développé avec les parties prenantes, des stratégies de gestion durable des ressources du DIN lors des ateliers participatifs.

Dans un contexte de variabilité accrue, nous avons recueilli les informations climatiques nécessaires pour les populations à travers une enquête de terrain. Pour simuler l'intérêt économique de l'information climatique nous avons utilisé un modèle hydroclimatique avec des paramètres d'entrées climatiques et agroéconomiques.

La démarche adoptée a nécessité le concours de plusieurs disciplines notamment l'Hydrologie, la Sociologie et l'Economie.

Afin de mieux comprendre le fonctionnement, du DIN, nous présentons dans le chapitre suivant les résultats d'analyse des données hydrologiques.

## **Chapitre IV. Etude de l'influence du Bani sur la variabilité saisonnière et interannuelle de la crue du fleuve Niger dans le Delta Intérieur du fleuve Niger**

### **Introduction**

Le delta intérieur du fleuve Niger (DIN) a fait l'objet, pendant plusieurs décennies, de nombreuses études en géographie physique (Auvray 1960, Gallais 1967) et humaine (Gallais 1967, Gourou 1969, Fay 1989b). Après la sécheresse des années 1970, les études ont été plus axées sur les conséquences de cette sécheresse sur les ressources en eau (Kamaté 1980, Brunet-Moret *et al.* 1986, L'Hôte and Mahé 1995, Bricquet *et al.* 1997, Mahé *et al.* 2002). Tous les travaux menés jusque-là montrent que le DIN est un écosystème complexe où s'articulent l'espace, le temps et la dynamique de la ressource en eau. La plupart des activités qui s'y déroulent sont très dépendantes des hauteurs de crue qui déterminent ainsi les superficies inondées et donc la productivité du milieu.

Les populations suivent avec attention différentes caractéristiques des hautes-eaux telles que les hauteurs de crue en amont de leur village, les dates de passage et les temps de transfert d'un point à un autre des maximums de crue. Ce sont des informations importantes pour les populations et leurs connaissances leur permettent de pouvoir mieux anticiper le calendrier de leur activité. Des essais de modélisation de l'inondation du DIN (Olivry 1995, Poncet *et al.* 2001, Orange *et al.* 2002) ont été initiés pour mieux saisir la complexité de son fonctionnement hydrologique. Les travaux de Olivry *et al.* (1995) sur la période 1955-1990 et de Picouet (1999) sur la période 1990-1997 mentionnent des informations sur les dates de passage et les temps de transfert des maximums de crue. L'étude plus récente de Mariko (2004) apporte également quelques informations sur les dates de passage de la crue sur la période 1990-2000, en se fondant sur une étude de la variabilité des surfaces inondées par télédétection NOAA. Ces différentes études ont été exclusivement menées sur le fleuve Niger sans tenir compte de son affluent principal, le Bani. Pourtant, bien qu'apportant un volume d'eau plus modeste que le Niger (3 fois moins), le Bani joue un rôle important dans le DIN puisqu'il contribue au maximum de crue enregistré à Mopti (confluence Niger-Bani) et participe majoritairement à l'inondation de la Mésopotamie Niger-Bani, ainsi qu'à l'inondation en aval de Mopti.

Pour compléter les précédentes approches, la présente étude a pour objectif de contribuer à l'approfondissement des connaissances sur la dynamique de la crue dans le DIN. Le DIN sera

considéré dans sa globalité en intégrant des stations hydrométriques situées sur le Bani et en incluant des périodes de données plus récentes. L'accent sera porté sur les maximums de crue, l'analyse des périodes de passage et des délais de transfert du maximum de crue entre les différentes stations, puis sur l'évolution du signal à l'intérieur des différentes ramifications du DIN. Avec la crise climatique des années 1970, l'analyse portera également sur l'évolution de ces différentes variables afin de déterminer des tendances selon les types d'années en termes de caractéristiques pluviométriques.

## I- Méthode d'analyse des données hydrologiques

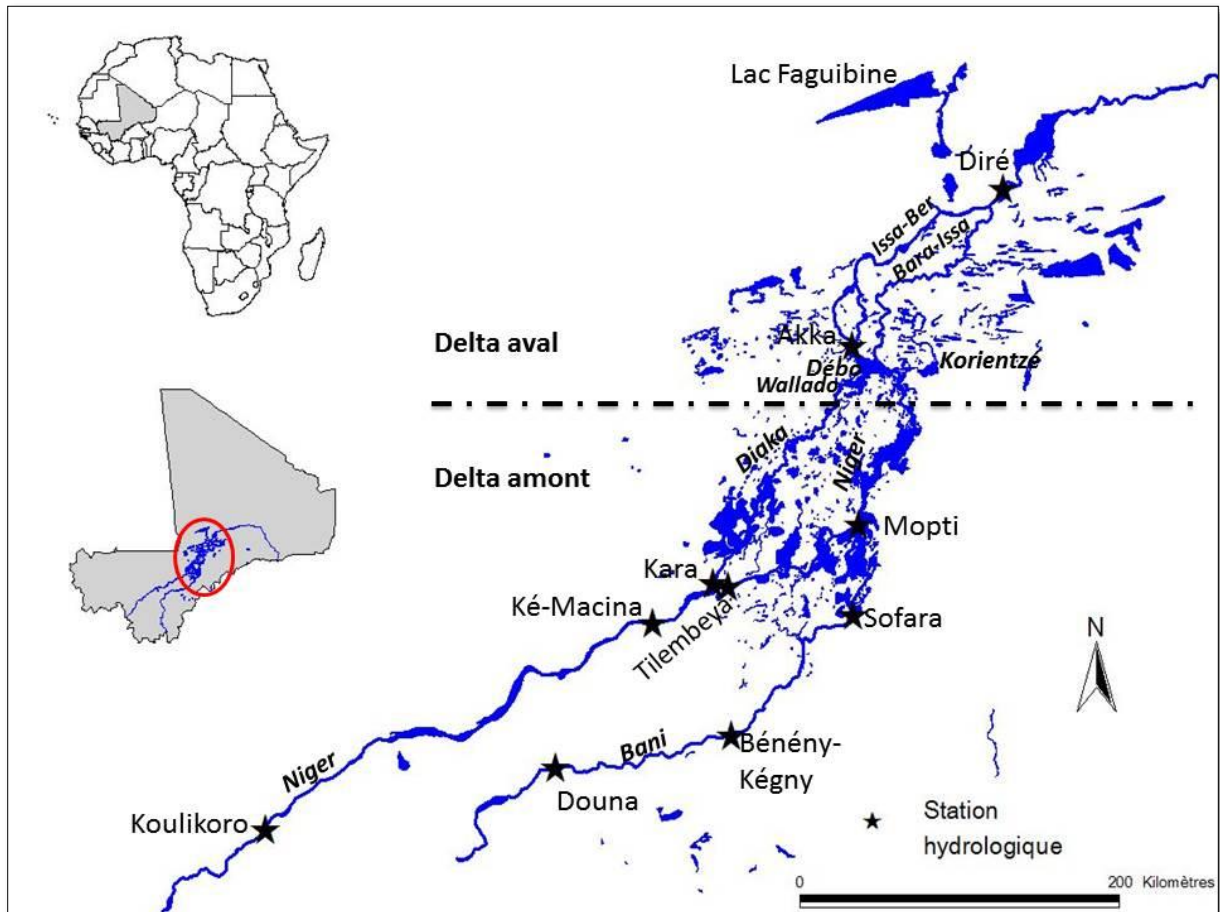
### 1. Données hydrologiques

Les données de cette étude concernent les séries chronologiques de débits journaliers des stations situées sur le fleuve Niger et son affluent le Bani, à Koulikoro et dans le DIN. Les données ont été contrôlées et critiquées suite à une analyse fine des hydrogrammes de crue, année hydrologique par année hydrologique ; celle-ci commence le mois où sont observés les débits les plus faibles et le début de la reprise des écoulements. A Mopti, au milieu du DIN, l'année hydrologique débute en Mai. C'est cette date référence à Mopti que nous utiliserons pour toutes les stations étudiées. L'étude a été réalisée sur des séries mesurées en 10 stations (Figure IV-1) dont les informations sont résumées dans le Tableau IV-1.

**Tableau IV-1.** Stations hydrologiques étudiées dans le delta intérieur du fleuve Niger, périodes d'observation et lacunes.

Stations	Rivières/fleuves	Données existantes	Périodes utilisées dans cette étude	Lacunes
<b>Koulikoro</b>	Niger	1907–2012	1950-2012 (63 ans)	
<b>Ké-Macina</b>	Niger (entrée du DIN)	1953 – 2012	1953-2012 (58 ans)	2004, 2007
<b>Kara</b>	Diaka	1952 – 2011	1952-2011 (55 ans)	2000, 2004, 2006, 2008, 2010
<b>Tilembeya</b>	Niger	1942 – 2004	1950-2004 (35 ans)	1951, 1967 à 1983 ; 1994 à 1996
<b>Douna</b>	Bani (entrée du DIN)	1922 – 2004	1950-2004 (55ans)	
<b>Bénény-Kégnny</b>	Bani	1951-1982	1951-1982 (23 ans)	1964, 1965, 1968, 1969, 1977-1981
<b>Sofara</b>	Bani	1952-1993	1952-1993 (41 ans)	1983
<b>Mopti</b>	Niger-Bani	1923 – 2011	1950-2011 (62 ans)	
<b>Akka</b>	Issa Ber	1955 – 2011	1955-2011 (57 ans)	2003
<b>Diré</b>	Sortie du DIN	1924 – 2011	1950-2011 (62 ans)	

Les entrées du DIN considérées dans notre étude sont Ké-Macina sur le Niger et Douna sur le Bani. La station de Kara est la station de référence sur le Diaka, où transite 1/3 des eaux passant à Ké-Macina, le reste des eaux s'écoulant à Tilembeya sur le Niger. La station d' Akka mesure les débits à la sortie du lac Débo sur l'Issa Ber. La station de Diré est considérée comme la sortie du DIN car celle de Koryoumé plus en aval, près de Tombouctou possède une série de données plus courte et la diffluence vers le lac Faguibine entre Diré et Tombouctou est peu mesurée.



**Figure IV-1.** Les principales stations hydrologiques étudiées, les principaux bras et lacs du delta intérieur du fleuve Niger.

## II- Méthodes d'analyse

Les lacunes n'ont pas été comblées pour éviter des biais dans les analyses.

Dans un premier temps, pour chaque station, des séries temporelles des maximums de crue et de leur date de passage sont constituées et analysées en se basant sur des méthodes statistiques:

- le test de corrélation sur le rang (Lubes-Niel *et al.* 1998) pour vérifier le caractère aléatoire ou non d'une série, au seuil d'erreur de 1% ;
- le test de Pettitt (1979) et la méthode de segmentation (Hubert *et al.* 1989) pour détecter une ou plusieurs ruptures au sein d'une série (rupture = au sens d'une modification nette, statistiquement significative de la moyenne). Le seuil d'erreur associé au test de Pettitt est de 1 %. Le principe de la méthode de segmentation est de 'découper' la série en  $m$  segments ( $m > 1$ ) de telle sorte que la moyenne calculée sur tout segment soit significativement différente de la moyenne du (ou des) segment(s) voisin(s). Une telle méthode est appropriée à la recherche de multiples changements de moyenne. La détermination de la segmentation optimale satisfait à la contrainte des moyennes de deux segments contigus significativement différentes, par application du test de Scheffé. Aucun niveau de signification n'est attribué à ce test.

Ces 3 tests sont regroupés dans un logiciel gratuit téléchargeable, Khronostat<sup>10</sup>. Sur les séries lacunaires importantes, où l'emploi du test de Pettitt et de la méthode de Segmentation n'est pas possible, nous avons opté de faire quand même des tests de différence de moyennes : le test de de Student (Yue and Pilon 2004) si le nombre de segment ou d'échantillon est égal à deux et le test de Kruskal & Wallis (Kruskal and Wallis 1952) si le nombre de segments est supérieur à 2. Le nombre de segments est déterminé en considérant le nombre de segments des stations à l'amont immédiat des séries lacunaires. Par homogénéité des résultats des tests, ces deux tests ont été réalisés pour un seuil d'erreur de 1%.

Dans un second temps, des séries de temps de transferts de la crue d'une station à une autre sont constituées et analysées par ces mêmes méthodes statistiques.

### **III- Résultats d'analyse**

#### **1. Evolution des maximums de crue**

Les résultats de l'application du logiciel Khronostat sur les séries de débits maximums sont résumés dans le Tableau IV-2.

---

<sup>10</sup> <http://www.hydrosciences.org/spip.php?article239>

**Tableau IV-2** Tests statistiques sur les séries de maximums de crue (NA : Non Aléatoire) pour évaluer la stationnarité et déterminer les dates de rupture dans les séries (seuil d'erreur de 1%).

Stations	Test de corrélation sur le rang	Année de rupture (test de Pettitt)	Méthode de segmentation			
			Début segment	Fin segment	Moyenne (m <sup>3</sup> /s)	Ecart type (m <sup>3</sup> /s)
Koulikoro	NA	1970	1950	1969	6675	890
			1970	1981	5195	924
			1982	1993	3324	570
			1994	2012	4864	862
Ké-Macina	NA	1971	1953	1971	5471	274
			1972	1981	4417	650
			1982	1993	2921	491
			1994	2012	4212	645
Kara	NA	1971	1953	1971	1666	32
			1972	1981	1447	156
			1982	1993	967	198
			1994	2011	1405	179
Douna	NA	1971	1950	1971	2794	491
			1972	1981	1233	311
			1982	1993	758	243
			1994	2004	1326	512
Sofara	NA	1971	1952	1971	1469	132
			1972	1981	907	163
			1982	1993	624	143
Mopti	NA	1971	1950	1971	3476	237
			1972	1981	2644	343
			1982	1993	1957	263
			1994	2011	2672	325
Akka	NA	1969	1955	1969	3580	399
			1970	1981	2453	384
			1982	1993	1628	202
			1994	2011	2310	441
Diré	NA	1969	1950	1969	2350	161
			1970	1981	2006	274
			1982	1993	1537	150
			1994	2011	1981	196

Les lacunes dans les séries de Tilembeya et Bénény-Kégny étant trop nombreuses, elles n'ont pas été testées. Nous avons alors fait l'hypothèse que les dates de ruptures de Tilembeya et de Ké-Macina sont les mêmes puisque deux tiers des débits de Ké-Macina transite à Tilembeya. De même, du fait des apports négligeables du bassin intermédiaire, nous avons attribué les mêmes dates de rupture de Douna à celles de Bénény-Kégny.

Toutes les stations sont considérées comme non aléatoires (test de corrélation sur le rang au seuil d'erreur de 1 %).

Selon le test de Pettitt, toutes les dates de rupture se situent entre 1969 et 1971, se traduisant par une diminution des maximums de crue, et peuvent être considérées comme correspondant au même phénomène. Pour simplifier, l'année 1970 sera considérée comme le point de rupture commun à toutes les stations.

La méthode de segmentation met en évidence d'autres années de rupture, les années 1981-1982 et 1993\_1994 pour toutes les stations. 1982 est une rupture négative traduisant la baisse amplifiée des maximums de crue et 1994 une rupture positive avec une hausse sensible des débits maximums.

Dans la suite de nos analyses, le Tableau IV-3 résume les choix de périodes que l'on étudiera par la suite ainsi que leurs caractéristiques principales.

**Tableau IV-3** Moyenne en m<sup>3</sup>/s des maximums de crue par période de rupture (\*moyenne calculée sur 8ans) pour toutes les stations du delta intérieur du fleuve Niger et Koulikoro.

	Niger supérieur	Delta amont						Confluence Niger-Bani	Delta aval	
		Niger amont		Diaka	Bani amont					
		Koulikoro	Ké - Macina	Tilembeya	Kara	Douna	Bénény-Kégné		Sofara	Mopti
Avant 1970	6 675	5 511	3 265	1 673	2 840	2 395	1 473	3 494	3 580	2 350
1970-1993	4 259	3 728	1 965	1 220	1 088	1 360*	792	2 320	2 041	1 771
Après 1993	4 864	4 212	2 684	1 363	1 326	-	-	2 672	2 319	1 981

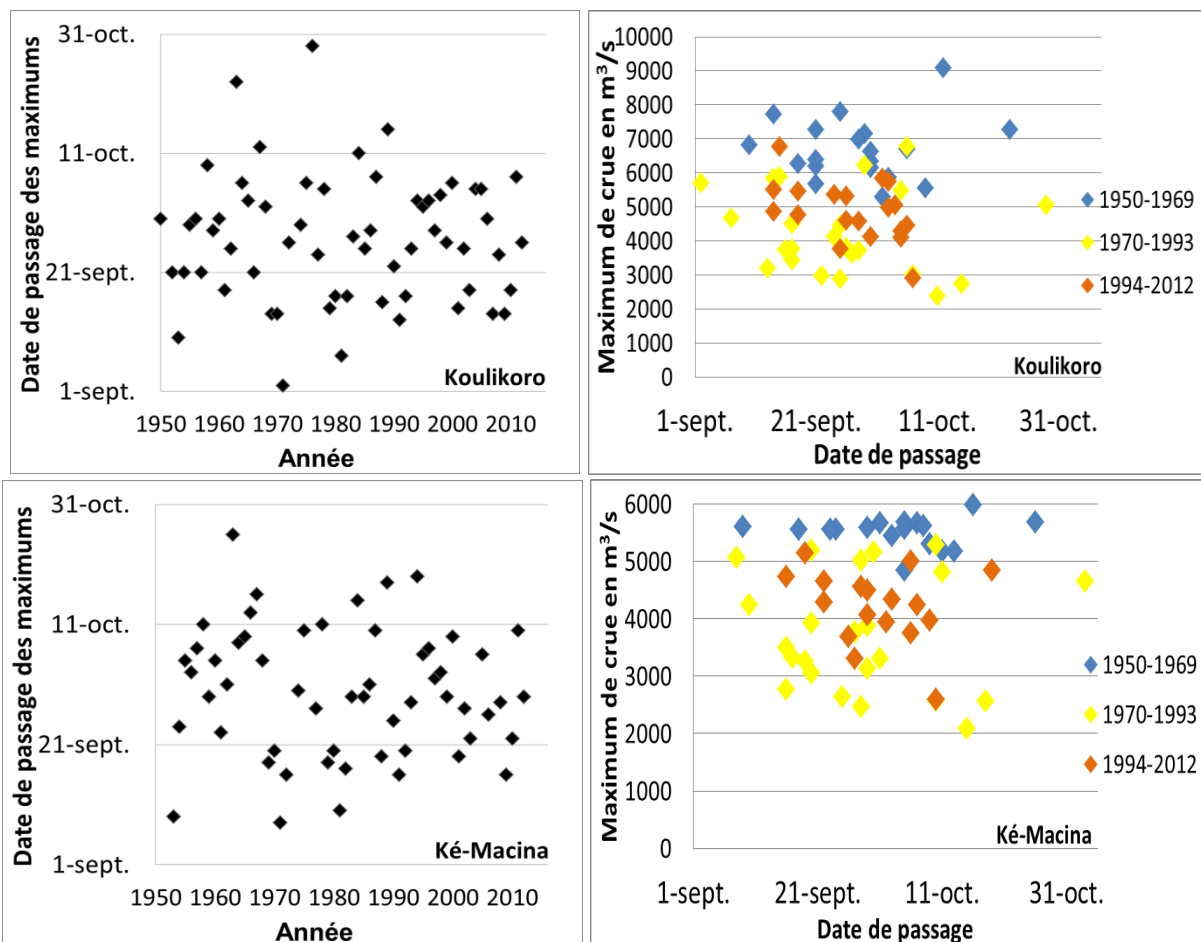
L'analyse du Tableau IV-3 montre des maximums les plus élevés lors des années antérieures à 1970 avec une baisse sur la période 1970 – 1993 en moyenne de l'ordre de 34% sur le Niger et le Diaka, de 54% sur le Bani et 34% après la confluence Niger-Bani. A partir de 1994, on constate une remontée des maximums de crue. Par rapport à la période 1970-1993, cette hausse est en moyenne de l'ordre de 15% sur le Niger et le Diaka, de 18% sur le Bani à Douna, et de 12% à partir de Mopti jusqu'à la sortie du DIN. Les écoulements restent cependant très inférieurs à la période avant 1970 sur le Niger à Koulikoro et le Bani à Douna, de l'ordre de 50%.

L'évolution des maximums de crue dans le DIN suit les mêmes tendances climatiques que celles observées sur les hauts bassins du Niger et du Bani. Depuis 1970, le Niger et ses affluents sont soumis à un fort déficit pluviométrique, accentué durant la décennie 1980

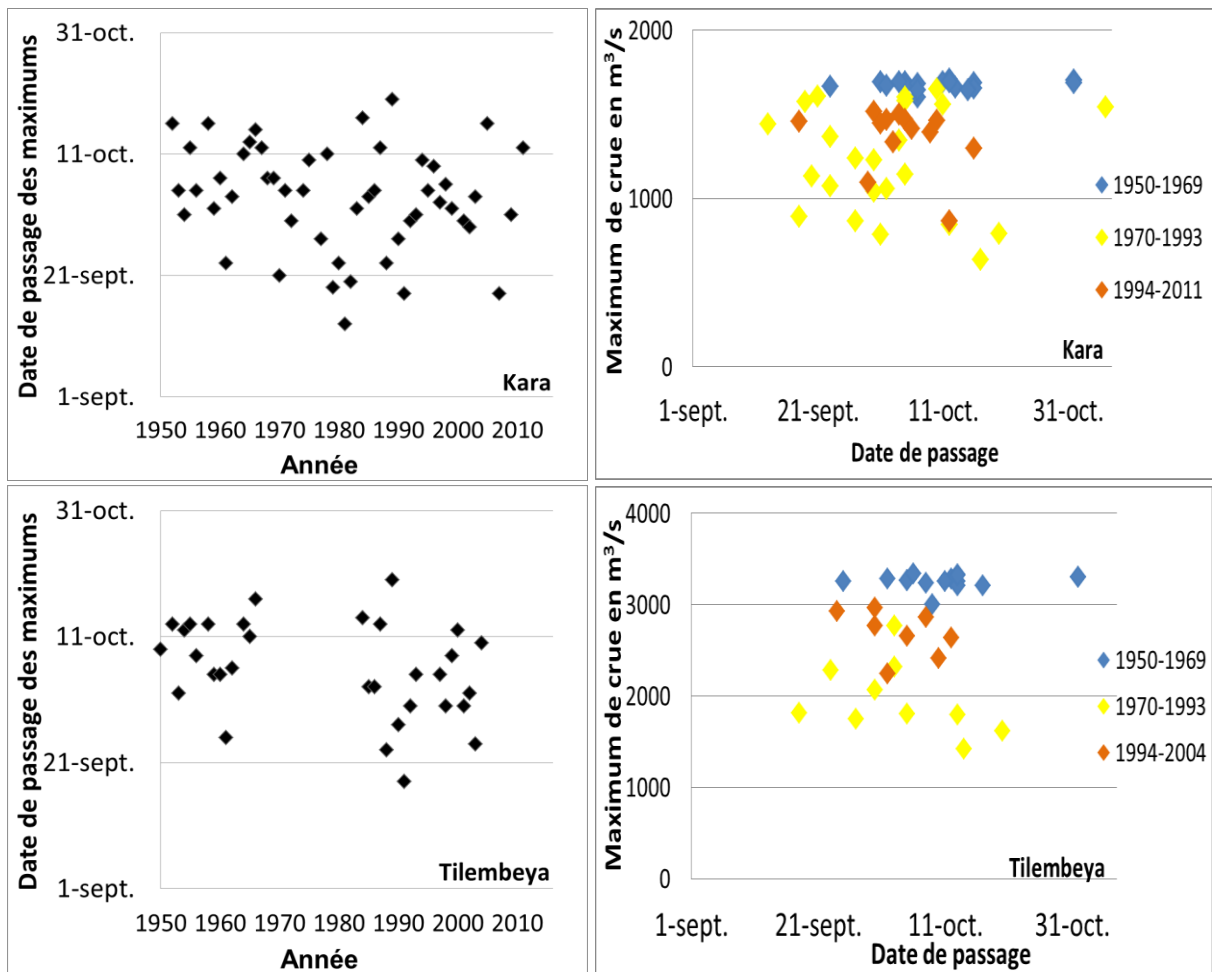
(Kouamé et al. 1997, Sangaré et al. 2002, Dezetter et al. 2010) avec 1983-1984 comme années exceptionnellement sèches. Une reprise de la pluviométrie est constatée à partir de 1994 (Dezetter *et al.* 2010, Paturel *et al.* 2010). Cependant la baisse des pluies provoque une baisse amplifiée des débits du fait de la relation non linéaire pluie-débit liée à la baisse durable et concomitante du niveau moyen des nappes et des apports en eaux souterraines aux débits de surface (Mahé 2009, Mahé *et al.* 2013). Ceci amplifie le déficit d'écoulement des fleuves, et la perte d'hydraulicité du Bani dépasse 50% depuis les années 70, alors que la pluie n'a baissé que de 19%.

## 2. Analyse des dates de passage des maximums

### a- Delta amont : le Niger Amont et le Diaka







**Figure IV-2.** Evolution des dates des maximums de crue dans le Niger amont et le Diaka.

La Figure IV-2 montre que la date du passage du maximum de crue aux différentes stations dans le delta amont, avant la confluence avec le Bani, ne semble pas liée à la valeur du débit maximum : quelles que soient les valeurs du maximum de crue, la date peut être précoce ou tardive. On constate également aux stations de Ké Macina, et surtout de Kara et Tilembeya, que durant la période 1950-1969, les maximums de crue atteignent des valeurs très proches quelle que soit l'année alors que ce n'est pas le cas en amont, à Koulikoro, ce qui indique un effet limitant de la capacité de la diffluence du Diaka (à Kara), et, dans une moindre mesure, du bras principal à Tilembeya. Cette particularité disparaît après 1970, quand les débits diminuent fortement, ce qui implique très probablement que jamais après 1970 la capacité maximale de submersion n'a été atteinte dans le Diaka, ni dans le reste du DIN très certainement.

Les bonnes années en termes de pluviométrie sur les bassins en amont, le débit maximum peut se maintenir 10 jours en moyenne pour Tilembeya et Kara. Il peut se maintenir plusieurs semaines comme en 1957 (année à pluviométrie très forte) où les débits sont restés pendant 24

jours autour de 3 300 m<sup>3</sup>/s à Tilembeya et pendant 25 jours autour de 1 700 m<sup>3</sup>/s à Kara. Cette caractéristique avait déjà été relevée par Auvray (1960) et Brunet-Moret et al. (1986) qui parlaient alors ‘d’effet de seuil’. Ce phénomène n’est observé que pendant les années à forte hydraulité (avant 1970). La valeur-seuil pour Ké-Macina oscille autour de 5 500 m<sup>3</sup>/s. Ces valeurs sont les mêmes que celles trouvées par Auvray et Brunet-Moret sauf pour Ké-Macina où la valeur seuil avait été estimée proche de 5 300 m<sup>3</sup>/s. Cet écart est inférieur à 5% et peut donc paraître négligeable.

Le Tableau IV-4 résume les résultats des tests sur les séries de dates de passage des maximums de crue sur le Niger amont (stations de Koulikoro et de Ké-Macina) et le Diaka (station de Kara)

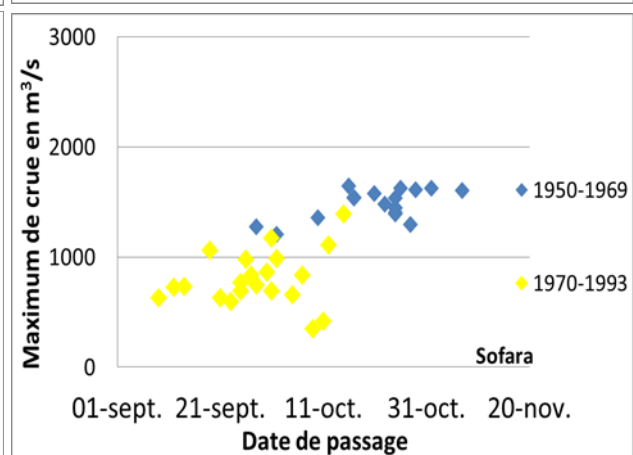
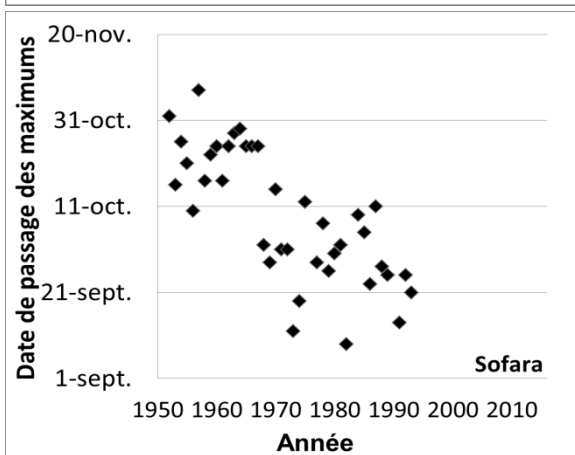
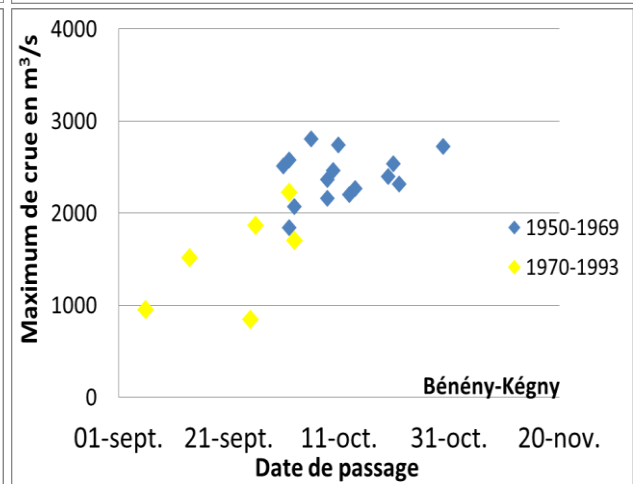
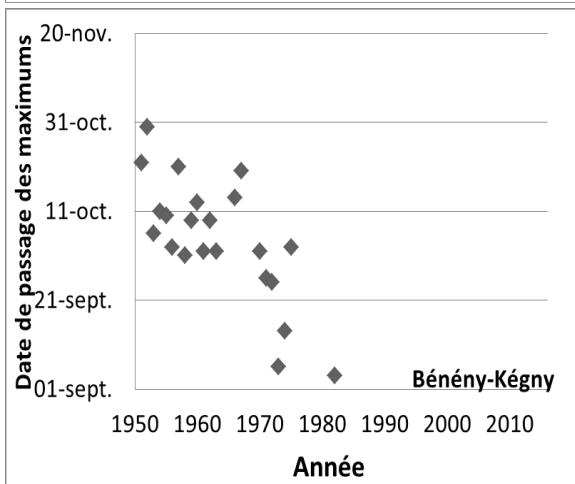
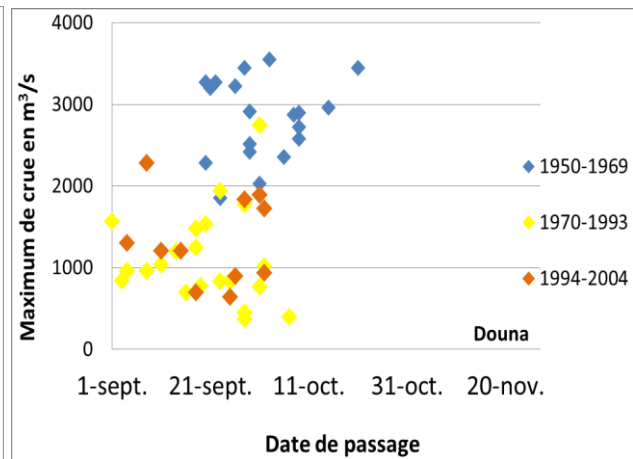
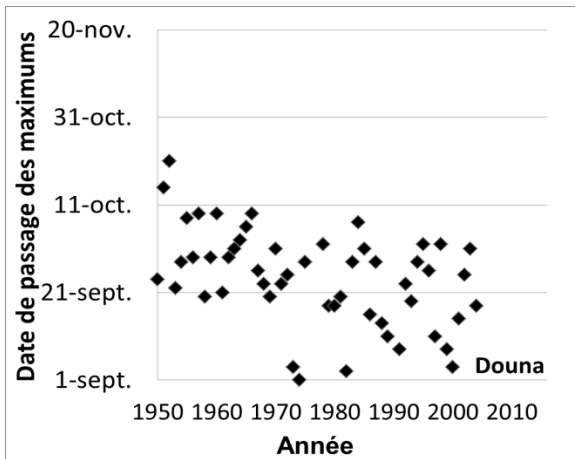
**Tableau IV-4** Tests statistiques sur les dates de passage des maximums de crue sur le Niger amont et le Diaka (A : aléatoire), pour évaluer la stationnarité et déterminer les dates de rupture dans les séries (seuil d’erreur de 1%).

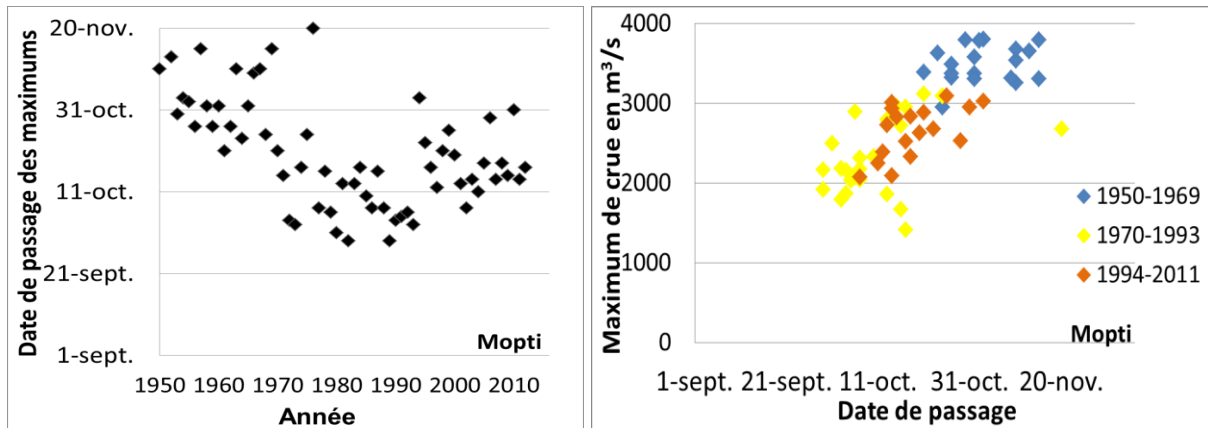
Stations	Test de corrélation sur le rang	Année de rupture (test de Pettitt)	Méthode de segmentation			
			Début segment	Fin segment	Moyenne date	Ecart type date
Koulikoro	A	Absence de rupture	1950	2012	16 sept	11
Ké-Macina	A	Absence de rupture	1953	2012	30 sept	10,65
Kara	A	Absence de rupture	1952	2011	3 oct	8,56

Compte tenu des lacunes importantes dans la série Tilembeya, nous avons appliqué le test de Kruskal & Wallis sur les périodes 1950-1969, 1984-1994 et 1997-2004. Au seuil d’erreur de 1%, les moyennes des segments ne sont pas significativement différentes.

Il n’y a donc pas de rupture sur les séries de dates de passage du maximum de crue du Niger amont et du Diaka. Les sécheresses qui ont débuté en 1970, ont influencé les valeurs du maximum de crue mais pas leurs dates d’occurrence. Ces dates ne sont donc pas liées à la valeur que peut prendre la valeur du maximum de crue, ce qui est confirmé par les graphiques de la Figure IV-2.

*b. Delta amont : le Bani et la confluence Niger-Bani (Mopti)*





**Figure IV-3.** Evolution des dates des maximums de crue sur le Bani et à la confluence Niger-Bani

Comme à Tilembeya, en raison de nombreuses lacunes, nous avons appliqué le test de Student sur l'échantillon de Bénény-Kégny. Au seuil d'erreur de 1%, les moyennes des segments sont significativement différentes. Contrairement au Niger amont et au Diaka, on remarque une certaine évolution des dates de passages des maximums de crue au niveau des stations situées sur le Bani (Douna et Sofara) et à Mopti (Figure IV-3). Les années sèches se démarquent avec des dates d'apparition du maximum de crue plus précoce par rapport aux années humides.

L'effet de seuil évoqué plus haut ne s'observe pas à Douna mais apparaît à Bénény-Kégny et Sofara. Les crues sont écrêtées quand elles atteignent une valeur seuil de l'ordre de 2 800 m<sup>3</sup>/s à Bénény-Kégny et 1 640 m<sup>3</sup>/s à Sofara. Ces débits plafonnent en moyenne pendant 7 jours avec un maximum de 13 jours observé en 1956.

**Tableau IV-5.** Tests statistiques sur les dates de passage de maximums de crue sur le Bani et à confluence Niger-Bani (NA : non aléatoire) pour évaluer la stationnarité et déterminer les dates de rupture dans les séries (seuil d'erreur de 1%).

Stations	Test de corrélation sur le rang	Année de rupture (test de Pettitt)	Méthode de segmentation				Moyenne maximum de crue (m <sup>3</sup> /s)
			Début segment	Fin segment	Moyenne date	Ecart type date	
Douna	NA	1967	1950	1966	2 oct	8,6	2 908
			1967	2004	20 sept	9,7	1 264
Sofara	NA	1967	1952	1967	23 oct	6,7	1 503
			1968	1985	30 sept	9,3	909
Mopti	NA	1970	1986	1993	11 sept	17,6	654
			1950	1969	3 nov	7,8	3 490
			1970	1975	14 oct	8,2	2 742
			1976	1993	7 oct	5,8	2 179
			1994	2012	19 oct	7,2	2 672

L'analyse du Tableau IV-5 confirme les observations de la figure IV-3 et montre que plus les maximums de crue sont faibles, plus la date de passage est précoce. Dans le delta amont, sur le Bani, la sécheresse a impacté les dates de passage des maximums de crue avec des dates de passage plus précoces par rapport aux années humides. A Douna, la date moyenne de passage des maximums est plus précoce de 12 jours sur la période 1967-2004 par rapport à la période 1950-1967. A Sofara cette date moyenne est plus précoce de 23 jours sur la période 1968-1985 par rapport à la période 1952-1967 et a même atteint 1,5 mois sur la période 1986-1993.

L'impact des sécheresses sur les dates de passage des maximums de crue sur le Bani est également le même à Mopti à la confluence Niger-Bani. Sur la période 1970-1993, la date moyenne de passage du maximum de crue est plus précoce de 24 jours par rapport à la période 1950-1969. La reprise de la pluviométrie à partir de 1994 à Douna, n'a pas impacté les dates de passages ; par contre à Mopti, cette reprise a modifié la date de passage du maximum qui est redevenue proche de celle de la période 1970-1975 mais qui reste cependant plus précoce de 12 jours par rapport à la période humide 1950-1969.

### c. Le delta aval

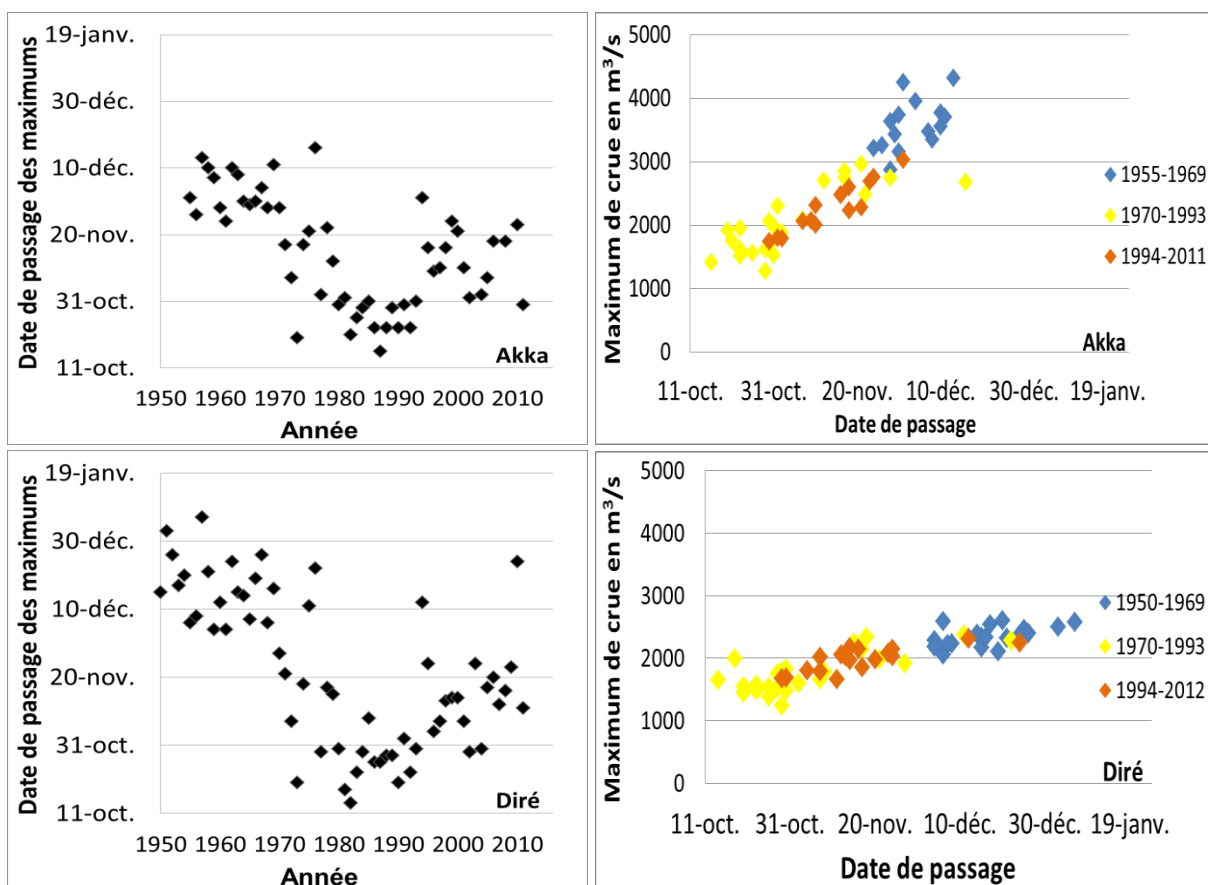


Figure IV-4. Evolution des dates des maximums de crue dans le delta aval

Comme sur le Bani et à Mopti, les sécheresses ont impacté les dates d'apparition des maximums de crue dans le delta aval avec des dates moyennes dont la précocité peut atteindre 2 mois pour Akka et 1,5 mois pour Diré.

**Tableau IV-6** Tests statistiques sur les dates de passage de maximums de crue dans le delta aval (NA : non aléatoire) pour évaluer la stationnarité et déterminer les dates de rupture dans les séries (seuil d'erreur de 1%).

Stations	Test de corrélation sur le rang	Année de rupture (test de Pettitt)	Méthode de segmentation				Maximum moyen de crue (m <sup>3</sup> /s)
			Début segment	Fin segment	Moyenne date	Ecart type date	
Akka	NA	1970	1955	1970	3 déc	6	3 580
			1971	1979	15 nov	15,7	2 480
			1980	1993	26 oct	4,8	1 708
			1994	2011	13 nov	9,3	2 319
Diré	NA	1967	1950	1970	15 déc	10,1	2 350
			1971	1976	21 nov	21	2 029
			1977	1993	28 oct	8,9	1 672
			1994	2011	16 nov	13,8	1 981

La période 1955-1970, aux maximums de crue importants, se caractérise par des dates de passage des maximums plus tardives que les autres périodes (Tableau IV-6). Les périodes où sont observées les dates de passage les plus précoces sont 1980-1993 pour Akka et 1977-1993 pour Diré. Ces deux périodes incluent le paroxysme de la sécheresse, la décennie 1980. Après 1994, la pluviométrie présente une légère hausse moyenne interannuelle (Sangaré *et al.* 2002), et les dates de passage du maximum de crue sont redevenues proches de celle de la décennie 70, au début de la sécheresse, mais restent plus précoces que durant les années plus humides avant 1970 (au moins 1,5 mois).

### 3. Délais de transfert des maximums de crue

**Tableau IV-7.** Tests statistiques sur les temps de transfert (Tt) des maximums de crue dans le delta intérieur du fleuve Niger (A/NA : aléatoire/non aléatoire) pour évaluer la stationnarité et déterminer les dates de rupture dans les séries.

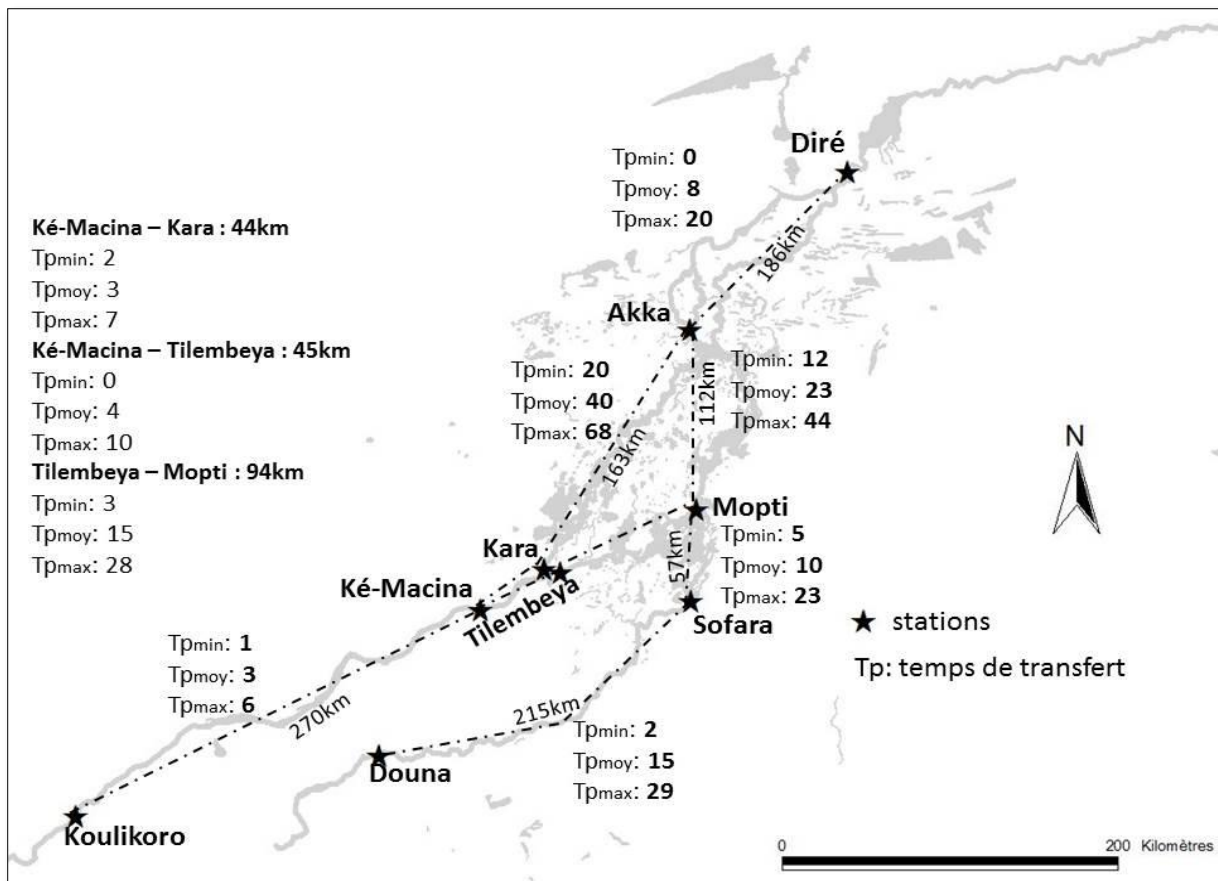
Tronçons	Test de corrélation sur le rang	Année de rupture (test de Pettitt)	Méthode de segmentation			
			Début segment	Fin segment	Moyenne Tt (jr)	Ecart type date
Koulikoro – Ké-Macina	A	Absence de rupture	1954	2012	3,5	1,3
Ké-Macina - Kara	A	Absence de rupture	1953	2011	3,1	1,5
Douna – Sofara	NA	1967	1952	1967	22	6,5
			1968	1993	8	4,6

Sofara - Mopti	A	Absence de rupture	1952	1993	10	5,2
Mopti - Akka	NA	1980	1955	1980	31	6,3
			1981	1987	17	3,8
			1988	2011	25	4,7
Kara - Akka	NA	1974	1955	1981	49	9,6
			1982	2005	32	10,9
Akka- Diré	A	1968	1955	1964	11	3,2
			1965	2011	5	4

Sur les tronçons Ké-Macina – Tilembeya et Tilembeya - Mopti sur le Niger, nous avons appliqué le test de Student sur les temps de transfert en raison des nombreuses lacunes sur la série de Tilembeya. Au seuil d'erreur de 1%, les segments avant 1970 et après 1970 ne sont pas significativement différents sur le tronçon Ké-Macina – Tilembeya avec une moyenne de temps de transfert de 4 jours. Par contre, la différence est significative sur le tronçon Tilembeya-Mopti avec une moyenne de temps de transfert de 20 jours avant 1970 et de 10 jours après 1970. Cependant, nous émettons des réserves sur l'impact des sécheresses sur le bief Tilembeya-Mopti du Niger amont car les dates de passage des maximums de crue à Mopti sont influencées par le Bani.

Compte tenu des lacunes importantes sur la série de Bénény-Kény nous avons considéré un tronçon unique de Douna à Sofara sur le Bani. En considérant le tronçon du Bani, on remarque que les sécheresses ont seulement eu un impact sur le transfert avec des temps plus faibles en moyenne de 14 jours. Cela explique l'amplification de la différence des dates moyennes de passage des maximums de crue entre année sèche et année humide en descendant le Bani car la différence moyenne passe de 12 jours à Douna à 1,5 mois à Sofara.

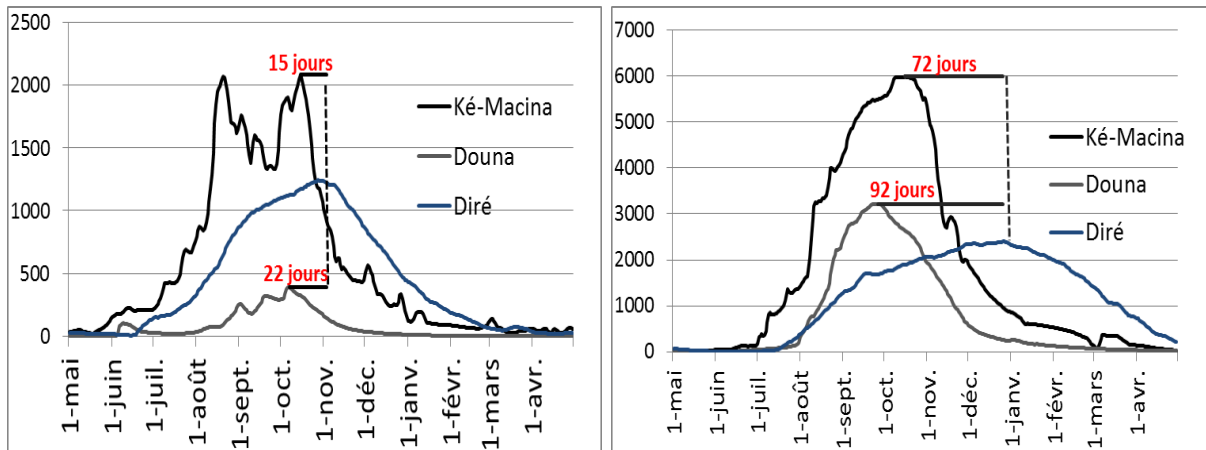
Les années de sécheresse ont également impacté le temps de transfert du maximum de crue en réduisant les délais sur les tronçons Kara – Akka, Mopti - Akka et Akka – Diré (Tableau IV-7). Par contre sur les autres tronçons du delta amont Koulikoro – Ké-Macina, Ké-Macina – Kara et Ké-Macina – Tilembeya, où les dates d'apparition diffèrent peu selon les années, le maximum de crue transite vite et le temps de transfert du maximum de crue ne diffère pas significativement selon les types d'années.



**Figure IV-5.** Temps de transfert du maximum de crue entre les différentes stations du delta intérieur du fleuve Niger (en jours).

De l'entrée du DIN sur la branche mère du fleuve Niger à la sortie du DIN, de Ké-Macina à Diré, le temps de transfert varie entre 15 et 72 jours (Figure IV-5). Olivry et al. (1995) évaluait ce temps de transfert entre 18 à 78 jours et Picouet (1999) entre 30 et 70 jours. Sur le Bani, de Douna à Diré, le temps de transfert varie de 22 à 92 jours, respectivement en hydraullicité très faible et en hydraullicité très élevée.





**Figure IV-6.** Temps de propagation des maximums de crue des entrées à la sortie du delta intérieur du fleuve Niger en année humide (1967-1968) et en année sèche (1984-1985).

#### IV. Discussions

Dans le DIN on distingue deux caractères spécifiques suivant le type d'année.

Le premier caractère relatif au maximum de crue et particulier aux années de forte hydraulicité, est l'effet de seuil qui se manifeste sur toutes les stations du delta amont sauf à Douna. Sur le Niger à Ké-Macina, Tilembeya et Kara les débits maximums sont écrêtés. Auvray (1960), dans la monographie de la cuvette lacustre explique cet effet de palier à Ké-Macina par la proximité en aval de la diffluence du Diaka. A Kara et Tilembeya, l'écrêtement des crues est dû à l'effet des déversements latéraux dont l'importance croît avec le niveau des crues (Brunet-Moret *et al.* 1986). Selon Lamagat et al. (1996), cette valeur seuil correspond « physiquement à un changement de valeur des paramètres hydrauliques régissant le transfert de la crue ». L'existence de ces valeurs-seuils impacte également la variabilité interannuelle de l'inondation dans le Diaka qui, contrairement au delta en aval des lacs centraux, atteint très rapidement un palier de surface inondée d'après le modèle d'Olivry (1995), et ce quel que soit le module annuel atteint par le fleuve Niger. Sur le Bani, à Bénény-Kégny et à Sofara, à l'aval de Douna, l'effet de seuil s'explique par l'écrêtement des crues maximums par les débordements latéraux.

Le second caractère est relatif à l'évolution des dates de passage des maximums de crue. Sur le Niger amont, les dates de passage des maximums de crue n'ont guère évolué en dépit de la succession des périodes de sécheresse qu'a connue la région. Par contre sur le Bani, on observe que les dates de passage des maximums de crues sont plus précoces durant les années sèches par rapport aux années humides, majoritairement antérieures à 1970. Cette particularité

observée au niveau du Bani peut s'expliquer par un transfert très lent du maximum de crue pendant les années humides, probablement dû aux importantes pertes des volumes d'eau du fleuve. En effet, une partie des eaux du Bani s'écoule par le Mayo Manga qui rejoint le Niger entre Tilembeya et Mopti. En l'absence de mesure sur ce bras, cette fraction dérivée n'est pas quantifiable. En plus, l'irrigation des plaines de la Mésopotamie Niger-Bani se fait principalement par les débordements du Bani, ce qui augmente les pertes induites par les débordements latéraux. En moyenne, le Bani perd 25% de son volume entre Douna et Sofara en années humides contre seulement 6% en années sèches. S'ajoutent également des pertes non quantifiables mais non moins négligeables entre Sofara et Mopti.

Ceci indique clairement que la variabilité climatique associée à la sécheresse ne modifie que très peu la date du maximum sur la branche mère du fleuve Niger venant de Guinée, du nord-ouest de la Côte d'Ivoire et du sud-ouest du Mali, ceci malgré une nette baisse des pluies annuelles (Sangaré *et al.* 2002) et de l'apport en eaux souterraines à la crue, ainsi qu'attesté par l'étude des tarissements des tributaires du fleuve Niger (Bricquet *et al.* 1997). Le décalage temporel est beaucoup plus important sur le bassin du Bani en terme de précocité du maximum de crue, ceci pouvant être relié à une baisse importante des pluies et du niveau des nappes aquifères (Mahé *et al.* 2000, Mahé and Paturel 2009). Il n'est cependant pas possible d'identifier la raison précise qui serait à l'origine de cette différence entre les deux bassins, si ce n'est qu'une part plus importante des pluies qui arrosent le Bani se produit en situation de type ligne de grain plutôt qu'en type mousson, et que la variabilité des premières est plus liée au régime sahélien, tandis que les secondes sont plus en liaison avec la climatologie de l'Atlantique équatorial, dont le rythme saisonnier a été probablement moins perturbé qu'au Sahel (Sultan and Janicot 2003).

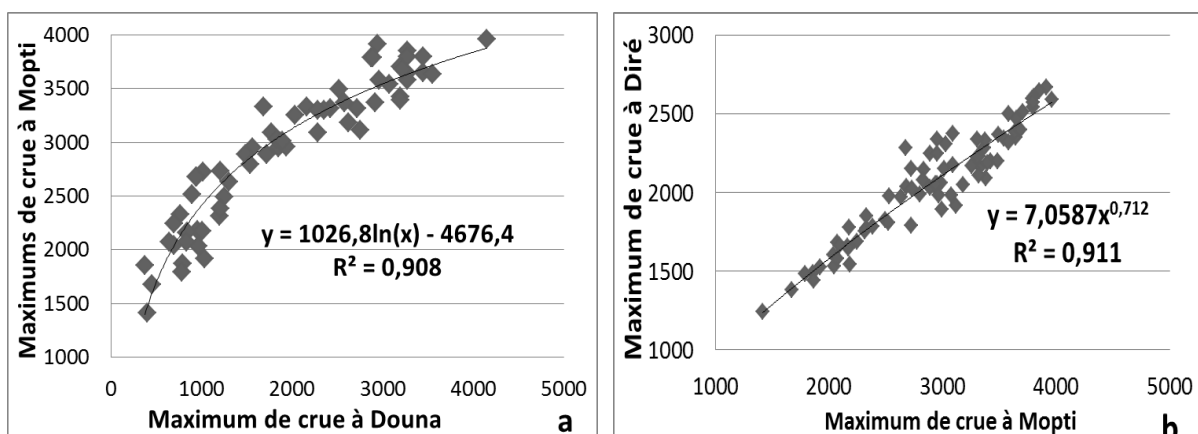
Ce qui est remarquable, c'est que cette différence déjà importante constatée à Douna se ressent à Mopti, et ne cesse de s'accroître en descendant le fleuve. Cela s'explique par les faibles surfaces inondées au cours des périodes sèches, diminuant ainsi à la fois les taux d'emmagasinement temporaires dans les mares et lacs et les pertes par évaporation (Mahé *et al.* 2009).

D'après Mahé *et al.* (2000), le volume de pluie tombé sur le bassin versant du Bani à Douna représente 39% des pluies tombées sur le bassin du Niger à Koulikoro. Le Niger apporte plus de ressource hydrique au DIN mais c'est le Bani qui impose le signal des dates de passage des maximums de crue de Mopti jusqu'au delta aval avec des dates de passage d'autant plus tardives que la valeur du maximum journalier est élevée.

Ce nouvel éclairage sur les particularités hydrologiques du DIN et sur les dates de passage du maximum de crue en particulier, peut être intéressant pour améliorer la gestion des eaux du DIN. Avec la crise climatique, le décalage temporel entre l'inondation du delta amont et du delta aval se trouve réduit. En années humides, dans le delta amont la décrue s'amorce dans la période septembre-octobre et décembre pour le delta aval soit un décalage d'environ deux à trois mois. En période sèche, ce décalage est réduit à un mois car la décrue s'amorce plus tôt dans le delta aval en octobre-novembre. Cela impacte le calendrier d'activité des pêcheurs migrants qui doivent raccourcir la durée de leur migration pour rejoindre la zone lacustre de l'aval plus favorable à la pêche.

Par ailleurs, des dates de passage de maximum de crue, dorénavant plus précoces, sont synonymes d'un début de décrue précoce. Ceci induit un début anticipé des activités dont le calendrier est calé sur le rythme de la décrue comme pour la pêche et l'élevage. Cela entraîne des risques d'empiétement des surfaces cultivées non encore récoltées avec un accroissement des conflits. Au contraire, les dates de passage du maximum de crue dans le Diaka et la région du Niger en amont de Mopti ne sont que très peu impactées par la sécheresse.

D'un point de vue prévision, les temps de transfert représentent la marge de manœuvre pour les populations pour mieux caler le calendrier de leurs activités. Selon les études de Mariko et al. (2003), Mahé et al. (2011) et Ogilvie et al. (2015), les superficies maximales inondées dans le DIN sont corrélées aux hauteurs maximales de Mopti pour le delta amont et de Diré pour le delta aval. On peut donc établir une corrélation entre les débits maximums (Figure IV-7) afin d'estimer à l'avance les superficies maximales inondées.



**Figure IV-7.** a) Corrélation entre les maximums de crue à Douna et à Mopti ; b) Corrélation des maximums de crue entre Mopti et Diré.

A partir des observations à Douna, on peut déterminer le maximum à Mopti avec un coefficient de corrélation  $R^2$  égal à 0,908 (a). Ce maximum calculé à Mopti peut être utilisé pour calculer le maximum à Diré. Ces équations sont obtenues à partir de régression linéaire.

$$(1) Q_{\text{Diré}} = 7,0587 Q_{\text{Mopti}}^{0,712}$$

$$(2) Q_{\text{Mopti}} = 1026,8 \ln(Q_{\text{Douna}}) - 4676,4$$

$$(3) Q_{\text{Diré}} = 983,8 (\ln Q_{\text{Douna}} - 4,6)^{0,712}$$

A partir de Douna, on peut donc prévoir le maximum à Diré avec en moyenne 22 jours à l'avance en année sèche et 92 jours à l'avance, soit 3 mois, en année humide.

### **Conclusion partielle**

L'étude fait ressortir deux particularités du fonctionnement hydrologique du DIN. D'une part la confirmation de l'existence d'un débit maximum plafond dû à l'écrêtage des maximums de crue par déversement sur les plaines d'inondation. Spécifiques aux années de bonne hydraulité, ces seuils avoisinent 5 500 m<sup>3</sup>/s pour Ké-Macina, 3 300 m<sup>3</sup>/s pour Tilembeya et 1 700 m<sup>3</sup>/s pour Kara. Sur le Bani, ces seuils avoisinent 2 800 m<sup>3</sup>/s à Bénény-Kégny et 1 640 m<sup>3</sup>/s à Sofara.

D'autre part, les dates de passage du maximum de crue varient peu pour les stations situées sur le Niger supérieur à Koulikoro et sur le Niger amont, quel que soit l'hydraulité de l'année. Cependant, le Bani a un caractère différent du Niger, avec des dates d'apparition plus précoces les années sèches que les années humides. C'est également ce même caractère qui est conservé de Mopti jusqu'à la sortie du DIN (Diré). Le Bani apporte un volume d'eau moins important avant la confluence avec le Niger mais impose à partir de Mopti le signal des dates d'apparition des maximums. Ce signal influence également les temps de transfert qui sont plus longs en année humide. Ces dernières années sèches sont donc caractérisées par des dates de passage de maximum de crue plus précoces. Ceci induit des décrues, c'est à dire un retrait des eaux des plaines d'inondation, plus précoces également.

Ceci est une information utile pour les populations de pêcheurs et d'éleveurs dont les calendriers d'activité sont calés par rapport à la décrue. La réduction du décalage temporel entre l'aval et l'amont du DIN tend à rendre les migrations aléatoires. En effet, les années sèches, les pêcheurs migrants doivent réduire la durée de la période de migration d'un mois environ pour rejoindre la région des lacs en aval du delta plus propice à la pêche. Egalement,

le temps d'attente de l'éleveur dans la partie amont peut être réduit car il peut accéder très tôt aux pâturages du delta aval.

Pour les usagers du delta aval, bien que la marge de manœuvre soit passée de 3 mois (années humides) à 3 semaines ces dernières années, il est possible d'estimer la productivité du milieu à partir des superficies maximales inondables. En effet avec de bonnes corrélations ( $R^2=0,908$  entre Douna et Mopti et  $0,911$  entre Mopti et Diré) entre les maximums observés à Douna et Mopti, puis Mopti et Diré, on peut estimer le maximum de crue probable à Diré et la superficie maximale du delta aval.

La différence entre les dates de passage des maximums en années humides et en années sèches explique la recrudescence des conflits entre éleveurs et agriculteurs ces dernières années. Des conflits qui contribuent à la gestion complexe des ressources.

Dans le chapitre suivant nous présentons des stratégies de gestion durable des ressources du DIN, élaborées avec les parties prenantes.

## **Chapitre V. Stratégies de gestion durable des ressources naturelles du Delta Intérieur du fleuve Niger**

### **Introduction**

Les ressources du delta intérieur du fleuve Niger (DIN) se sont amenuisées au fil des années. D'un côté, les populations de plus en plus vulnérables ont développé différentes stratégies d'adaptation face à la raréfaction des ressources et aux rudes conditions du climat. De l'autre côté, le gouvernement malien ainsi que les différents partenaires techniques et financiers, conscients du rôle vital du DIN pour l'économie nationale, ont établi une série de mesures tendant à réduire l'impact des processus de dégradation ses ressources naturelles. Les politiques sur les Zones Humides (ZH) ont également évolué. En 1987, trois sites du DIN (les lacs Wallado-Débo, les plaines du Séri et le lac Horo) sont érigés en ZH d'importance internationale au titre de la Convention RAMSAR. En 2003, le Mali a adopté sa politique nationale pour les ZH. En janvier 2004, c'est l'ensemble du DIN qui est érigé en un seul site RAMSAR et, depuis novembre 2004, le Mali met en œuvre le Plan d'Action National des Zones Humides du Mali (PAZU). Le PAZU vise à contribuer à la conservation et à l'utilisation rationnelle des ressources naturelles des ZH, notamment celles du DIN. Par ailleurs la zone du DIN compte de nombreux projets isolés et ponctuels mis en œuvre par différents intervenants avec des approches distinctes. Pour que son développement économique soit efficace et durable, le Mali a élaboré en 2011 le Programme de Développement Durable du Delta Intérieur du Niger (PDD-DIN). Le PDD-DIN est un programme décennal (2014-2023) ayant pour objectif de promouvoir de manière coordonnée le développement socio-économique du DIN, qui malgré ses importantes potentialités demeure menacé par les aménagements à l'amont (mais peut-être aussi à l'aval) et la variabilité climatique. Partant de cette vision du PDD-DIN, nous avons élaboré avec différentes parties prenantes différentes stratégies d'adaptation et de restauration pour la gestion rationnelle des ressources naturelles.

Dans un premier temps nous avons identifié les stratégies d'adaptation locales développées par les populations en réponse aux pressions multiples. Ensuite nous avons élaboré les stratégies de gestion durable des ressources du DIN. Les stratégies composées d'action, prennent en comptes les actions développées localement et aussi les actions provenant de la synthèse des cas d'études du WOCAT (*World Overview of Conservation Approaches and Technologies*).

Dans un second temps, nous présenterons les résultats de la sélection des Instruments Economiques (IE) pour la gestion durable des ressources du DIN.

## I. Méthode de développement des stratégies de gestion durable et de sélection des instruments économiques

### 1. Elaboration des stratégies de gestion durable

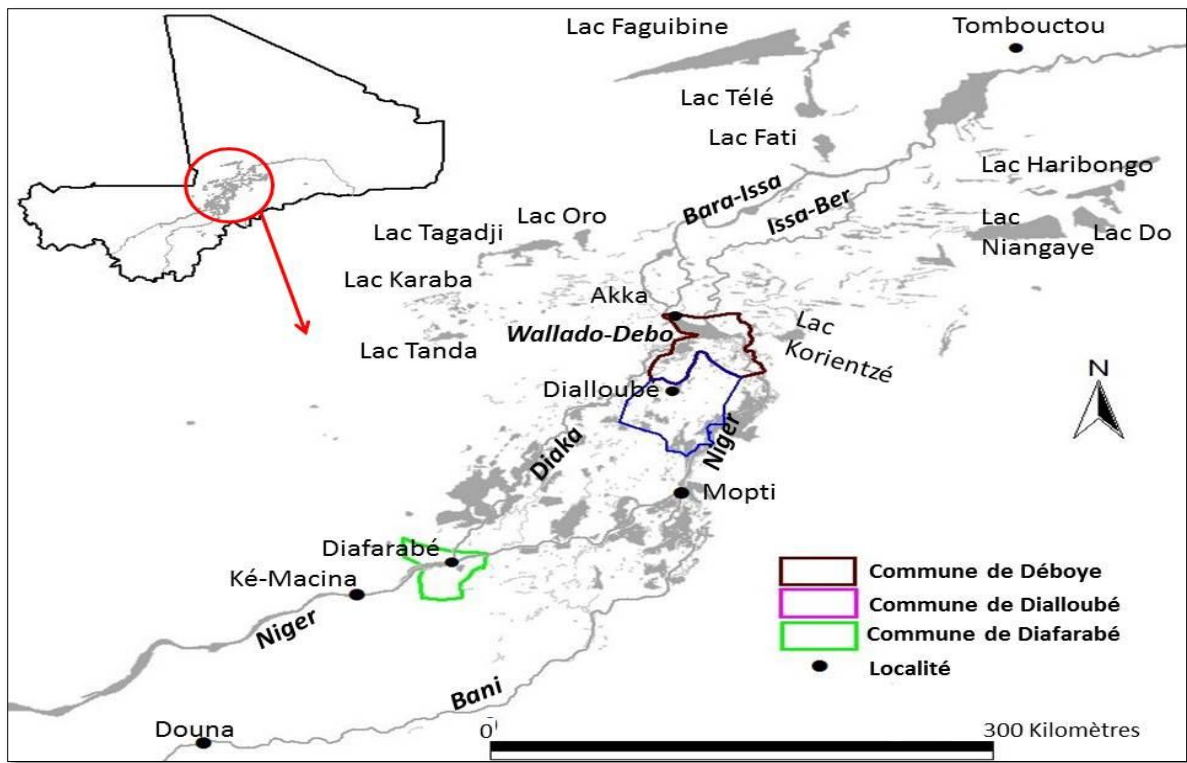
#### a- Identification des stratégies de gestion locales

Avant l'élaboration des stratégies de gestion durable des ressources du DIN, nous avons procédé à l'identification des stratégies d'adaptation locale. Cette identification est basée sur une méthode qualitative, le focus groupe. Les focus groupes se sont déroulés avec les trois principaux groupes d'utilisateurs du DIN et le nombre des participants est résumé dans le Tableau V-1. La structuration des entretiens s'est articulée autour d'une identification préalable des problèmes rencontrés, les causes, les stratégies d'adaptation ainsi que les zones d'intervention.

**Tableau V-1.** Nombre de participants au focus groupe par catégorie socioprofessionnelle et par commune

	<b>Diafarabé</b>	<b>Dialloubé</b>	<b>Déboye</b>	<b>Total</b>
Eleveurs	27	25	19	71
Pêcheurs	21	20	17	58
Agriculteurs	17	30	19	66
Total	65	75	55	195

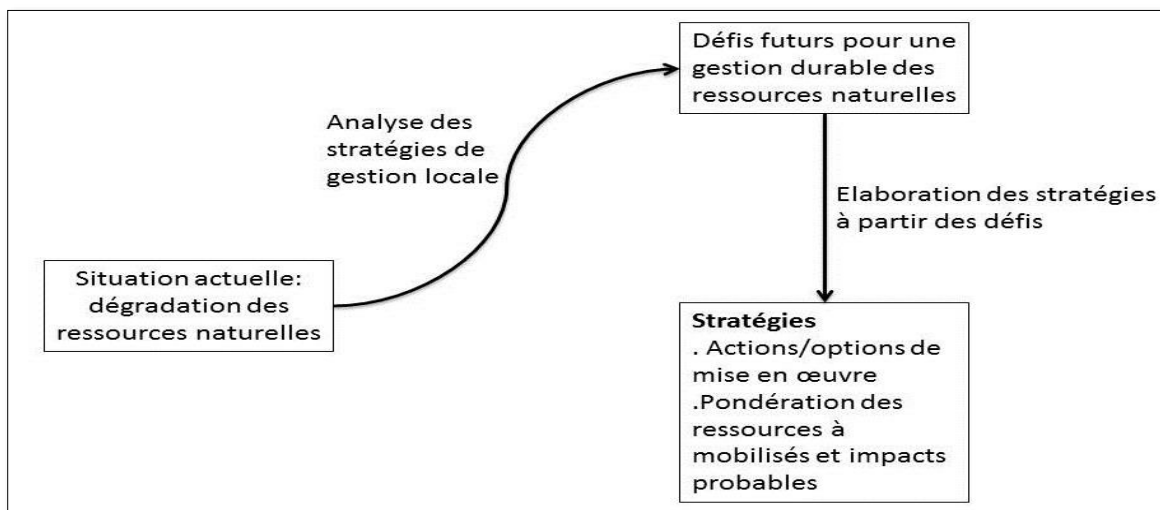
Les séries d'entretiens groupés se sont déroulées dans trois communes situées dans la cuvette amont et dans la cuvette aval (Figure V-1). La première commune est celle de Diafarabé située à la confluence du Diaka et du Niger. Ensuite la commune de Dialloubé située au centre du DIN, en amont des lacs centraux, qui est influencée par les inondations du Diaka et du Niger. La troisième commune est celle de Déboye, située en aval des lacs centraux, là où le Diaka et le Niger se rejoignent. Une quatrième commune, Tombouctou au nord du Mali avait été envisagée mais a été finalement rejetée pour des raisons de sécurité.



**Figure V-1.** Localisation des trois communes concernées par les focus groupes

*b- Elaboration des stratégies de gestion durable*

L'élaboration des stratégies s'est faite en sessions plénières lors d'ateliers regroupant les parties prenantes à mésoéchelle. La démarche adoptée est la suivante : une description de la dynamique qui caractérise la situation actuelle des ressources du DIN, une analyse situationnelle et une élaboration des stratégies pour une gestion durable et efficace des ressources naturelles (Figure V-2).



**Figure V-2.** Démarche adoptée pour l'élaboration des stratégies de gestion durable des ressources naturelles

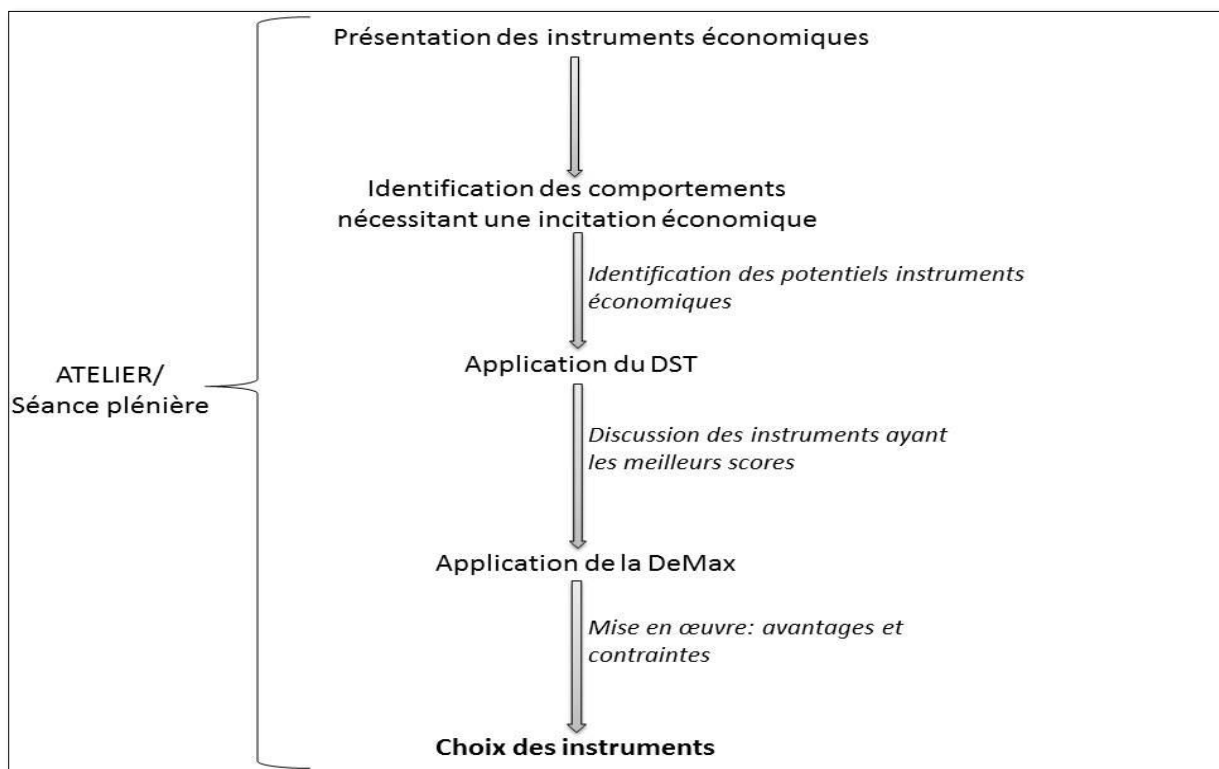


## 2. Processus de sélection des instruments économiques pour la gestion durable des ressources du delta

La sélection des IE a été réalisée lors de l'atelier de Ouagadougou (juillet 2013), en séance plénière avec les parties prenantes du DIN (voire liste dans le chapitre III).

Le processus de sélection a débuté avec la présentation et l'explication des IE aux parties prenantes, puis l'identification des actions ou comportements nécessitant une incitation économique. Pour cibler les instruments les plus adéquats et pour inciter le changement souhaité, nous avons utilisé l'outil d'aide à la décision (DST). Seuls les 3 instruments ayant les meilleurs scores ont été retenus et discutés avec les participants. La suite du processus s'est faite avec la DeMax ; qui a permis d'explorer la faisabilité, les avantages et les difficultés de la mise en œuvre de chaque instrument retenu.

La Figure V-3 résume le processus de sélection des IE pour la gestion durable des ressources naturelles dans le DIN.



**Figure V-3.** Processus de sélection des instruments économiques pour la gestion durable des ressources naturelles du delta intérieur du Niger

## II. Résultats de l'élaboration des stratégies de gestion durable des ressources du delta intérieur du fleuve Niger

### 1. Les stratégies d'adaptation locales dans le delta intérieur du fleuve Niger

Nous faisons le choix de structurer les stratégies d'adaptation par systèmes de production.

#### a- Systèmes agricoles

**Tableau V-2.** Stratégies d'adaptation locales des systèmes des systèmes de production agricoles

Communes	Types de problème	Causes du problème	Techniques d'adaptation	Zones d'intervention
Diafarabé	Baisse de la productivité	Baisse de la pluviométrie et faiblesse des crues	Irrigation des périmètres	Plaines à proximité du fleuve
		Technique de production rudimentaire Submersion non contrôlée des rizières	Mécanisation du labour Maîtrise de l'eau par la construction de digue et diguette Diversification des semis de riz	Plaines inondables Basfonds -
Diallobé	Baisse de la productivité et de la qualité du riz	Baisse de la pluviométrie	Riziculture intensive avec maîtrise de l'eau	Plaines
		Submersion non contrôlée des rizières	-Riziculture en submersion contrôlée	
		Présence d'oiseaux granivores et poissons rhizophages	-Construction de digues, diguettes -Implantation de grillage contre les poissons rhizophages -Mécanisation du labour	Basfonds
Diallobé	Baisse de la fertilité du sol	Technique de production rudimentaire	Fertilisation des sols	Rizières sur plaines inondées et basfonds
		Surexploitation des terres	-Mise en jachère chaque année d'au moins 1/3 du champ -Apport d'humus au sol (engrais, bouse de vache, ...) -Arrachage mauvaises herbes -Labour avant l'étiage	
Déboye	Baisse de la production	Baisse de la pluviométrie et faiblesse de l'inondation	Aménagement des terres agricoles	Rizières sur les plaines inondables et exondées
		Manque de matériels de productions adéquats	-Construction de digues -Contrôle de la submersion	Culture sèche sur les terres exondées
		Faible aménagements des terres agricoles	Lutte contre les prédateurs	
		Présence d'oiseaux granivores et poissons rhizophages	-Destruction des nids d'oiseaux -Implantation de grillage contre les poissons rhizophages -Usages d'insecticides et pesticides	Mares, chenaux
Les 3	Disparition des forêts	Faiblesse des crues	Surcreusement	Forêts, plaines
		Surexploitation/ Extension surfaces cultivées	Campagne de reboisement Mise en défens	

Dans les trois communes, les agriculteurs font état de la baisse de la productivité principalement due à la diminution de la pluviométrie et à la faiblesse des crues qui inondent de moins en moins de grandes surfaces. Le problème majeur du secteur agricole est la disponibilité et la maîtrise de l'eau dans les rizières, ce qui les a conduit à une adaptation centrée autour de ces deux axes. Pour pallier à la faiblesse de l'inondation, les agriculteurs ont recours à l'irrigation des parcelles à l'aide de motopompes pour apporter de l'eau là où les crues du fleuve parviennent difficilement. Il y a aussi la construction de digues et diguettes pour la conservation des eaux dans les parcelles cultivées et un meilleur contrôle de la submersion. En outre, les techniques de production rudimentaires font progressivement place aux techniques plus sophistiquées comme la mécanisation du labour, l'aménagement des périmètres irrigués et la diversification des cultures. Un autre problème qui mine le secteur agricole est la présence des poissons rhizophages et d'oiseaux granivores. Pour lutter contre ceux-ci, les agriculteurs mettent en place des grillages pour arrêter les poissons et détruisent les nids d'oiseaux. A Dialloubé, pour améliorer la fertilité des sols, les agriculteurs procèdent à l'apport d'humus, aux labours pendant la décrue pour limiter l'invasion des plantes envahissantes et à la mise en jachères des champs. A Déboye, pour améliorer l'écoulement des crues du fleuve les agriculteurs procèdent au surcreusement des mares afin d'améliorer leur capacité de stockage, et des chenaux pour améliorer l'inondation des plaines et l'alimentation des mares.

***b- Systèmes pastoraux***

**Tableau V-3.** Stratégies d'adaptation locales des systèmes de production pastorale

Communes	Types de problème	Causes du problème	Techniques d'adaptation	Zones d'intervention
Diafarabé	Baisse de la production de bourgou et réduction des pâturages	Faiblesse des crues et des inondations	Régénération du bourgou - <i>Repiquage du bourgou</i> , - <i>Surveillance</i>	Bourgoutières
		Nombre élevé d'animaux	Mise en défens des bourgoutières	Harima
		Multiplication des périmètres irrigués et obstruction des parcours	Dialogue entre peul et paysan, implication des autorités	Autres pâturages sur les plaines
		Mauvaise gestion communale	Convention locale de gestion	
Dialloubé	Dégradation des pâturages	Surpâturage	Régénération des pâturages - <i>Mise en défens</i> - <i>Surveillance</i> - <i>Repiquage du bourgou</i>	Bourgoutières
		Nombre élevé des animaux de la commune	Elaboration de conventions locales - <i>Surveillance pour le respect des conventions locales</i> - <i>Amende pour les infractions</i>	Harima
		Indiscipline des bergers (Peul)		
	Conflits		Sensibilisation/ Mise en garde	-
Déboye	Dégradation des pâturages	Rareté des pluies et faiblesse des crues		
		Envahissement de mauvaises herbes	Régénération des pâturages - <i>Repiquage du bourgou</i> - <i>Arrachage des mauvaises herbes</i>	Bourgoutières
		Surpâturage		Harima
	Faiblesse de l'inondation	Aménagements hydroélectriques		
Rareté des pluies et faiblesse des crues		Creusement de chenaux, surcreusement des mares	Chenaux	
Problèmes de transhumance		Aménagement hydroélectrique		Mares
		Manque de concertation entre acteurs/ problèmes administratifs	Promotion gestion concertée : dialogue entre acteurs, rencontres périodiques	-
		Attitudes mercantiles des <i>dioros</i>	Sensibilisation des <i>dioros</i>	-
		Insuffisance des aménagements pastoraux	Aménagement d'espaces pastoraux (bourgouculture)	Pâturages communautaires

Les parties prenantes au focus groupe priorise le problème de la faiblesse des inondations due à la rareté des pluies. C'est là le principal de la dégradation des pâturages et de la baisse de la disponibilité de l'herbe. Seules les parties prenantes de Déboye tentent d'améliorer les

écoulements par creusement de chenaux et le surcreusement des mares pour augmenter leur capacité de stockage. La dégradation des pâturages serait également due aux aménagements hydroélectriques en amont, au nombre élevé d'animaux conduisant au surpâturage, à la mauvaise gestion (communale et des *dioros*), la multiplication des périmètres irrigués, et aux mauvais comportements des bergers. Pour pallier ces problèmes, les parties prenantes font la promotion de la gestion participative à travers des dialogues entre acteurs, des rencontres périodiques, la sensibilisation et la mise en place des conventions locales de gestion des pâturages. Pour restaurer les espaces dégradés et améliorer la disponibilité de l'herbe, les éleveurs procèdent à la mise en défens et à la surveillance puis à la régénération du bourgou par repiquage. A Déboye, les parties prenantes procèdent à la culture du bourgou (ou bourgouculture) dans des espaces aménagés à cet effet.

#### *c- Systèmes halieutiques*

**Tableau V-4.** Stratégies d'adaptation locales des systèmes des systèmes de production halieutique

<b>Communes</b>	<b>Types de problème</b>	<b>Causes du problème</b>	<b>Techniques d'adaptation</b>	<b>Zones d'intervention</b>
<b>Diafarabé</b>	Baisse de la production	Faiblesse des pluies et de la crue	Surcreusement des mares, et des petits bras de fleuve	Mares
		Barrage en amont régulé à Markala (inondations de nouvelles zones en amont, arrêt d'inondation de nouvelles zones en aval)	Creusement de canaux Repiquage du bourgou près des berges Mise en défens Surveillance	Bras de fleuve Chenaux
		Lâcher d'eau du barrage de Markala	Dialogue avec les gestionnaires du barrage de Markala	-
<b>Dialloubé</b>	Baisse de la capture	Baisse des eaux de la crue	Mise en place de convention locale de pêche	Mares
		Nombre élevé d'exploitants	Mise en défens des mares après la décrue	
		Usage de techniques et d'engins prohibés (empoisonnement des poissons)	Surveillance des mares Construction de digues et diguettes	Bras du fleuve Lacs
			Surcreusement des mares et des canaux de conduite d'eau	
<b>Déboye</b>	Baisse de la production	Faiblesse des crues et des inondations	Mise en défens des plans d'eau	Mares
		Envahissement et utilisation d'engins et de techniques non appropriés (filets à petites mailles, empoisonnement des cours d'eau...)	Surveillance des mares Surcreusement des mares Construction de diguettes Régénération du bourgou (repiquage)	
		Retenues d'eau en amont		
	Faible respect du droit coutumier	Manque de concertation entre les responsables de la pêche	Rencontre périodique des responsables des pêcheries	-
		Attitudes mercantiles des maîtres des eaux	Sensibilisation des pêcheurs et responsables traditionnels	
	Nombre élevé de pêcheurs	Interdiction des techniques et engins dégradants		
	Intervention accentuée de l'administration publique	Elaboration des règles de gestion communautaire		

Le problème majeur de la pêche évoqué par les parties prenantes est la baisse de la production halieutique qui s'explique par la faiblesse des crues et de l'inondation, les retenues d'eau en amont du DIN, le nombre élevé d'exploitants et l'usage de techniques et engins prohibés.

Dans l'optique d'augmenter les captures, les parties prenantes procèdent au surcreusement des canaux, des petits bras du fleuve, des mares et des lacs pour favoriser le remplissage et améliorer les capacités de stockage des pêcheries. La faiblesse de l'inondation qui a également eu pour conséquence la réduction des bourgoutières a une répercussion sur la pêche car les bourgoutières représentent les zones de frayères des poissons et fournissent de la nourriture aux poissons. Pour pallier cette situation, les pêcheurs procèdent à la régénération du bourgou par repiquage.

Pour lutter contre les pratiques d'exploitation non rationnelles de la ressource, des conventions locales de gestion sont élaborées, les plans d'eau sont mis en défens puis surveillés. Il y a également la sensibilisation des pêcheurs et des maîtres des eaux. La gestion participative est également promue à travers le dialogue entre les acteurs.

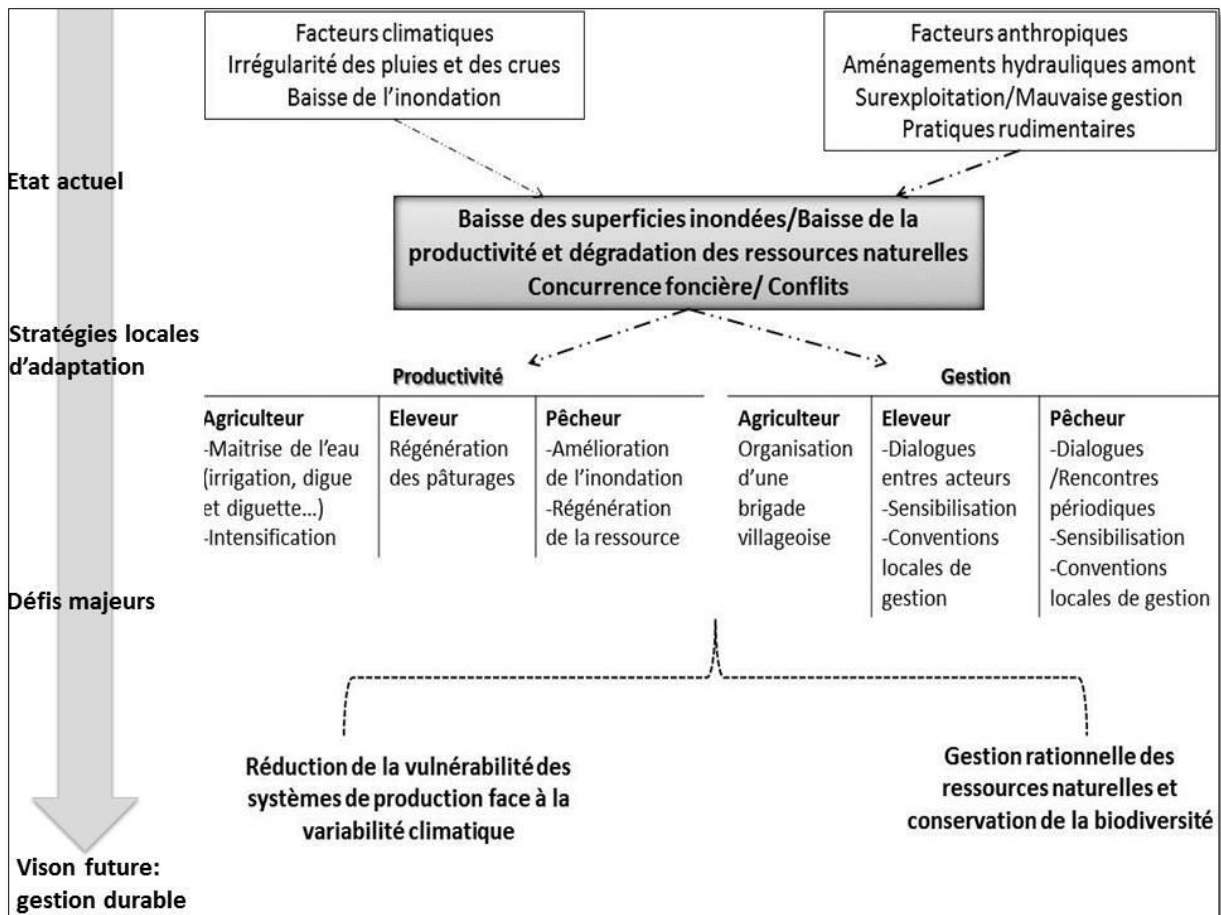
Par ailleurs, les pêcheurs de Diafarabé ont évoqué les perturbations qu'entraîne le barrage de Markala. Pendant la période favorable aux captures des poissons, les lâchers d'eau du barrage de Markala entraînent les poissons loin des villages de la commune. Il faut attendre la stabilisation de l'eau pour espérer de bonnes captures. Pour prévenir ces inconvénients, les pêcheurs ont initié un dialogue avec les gestionnaires du barrage.

## **2. Les stratégies de gestion durable des ressources du delta intérieur du fleuve Niger**

### ***a- Développement des stratégies de gestion***

Les changements climatiques et les besoins croissants des populations ont entraîné une certaine incompatibilité des trois secteurs d'activité jadis complémentaires et l'adoption de pratiques de production nuisibles à l'environnement. Sur la base de l'analyse de l'état actuel des ressources du DIN, et des stratégies d'adaptations locales axées sur la maîtrise de l'eau, l'amélioration de l'inondation, la régénération et la gestion participative des ressources ; les parties prenantes ont identifié 2 défis majeurs (Figure V-4) pour une gestion durable des ressources du DIN qui sont :

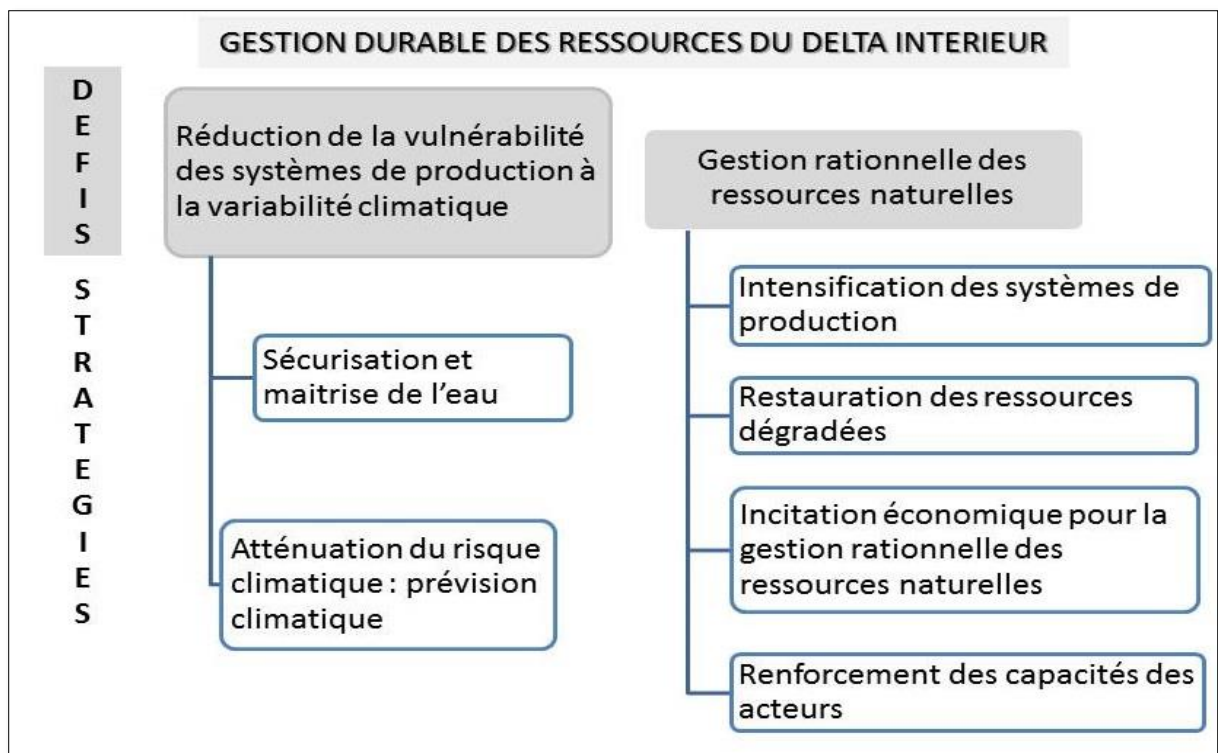
- la réduction de la vulnérabilité des systèmes de production face à la variation climatique,
- la gestion rationnelle des ressources naturelles face à la surexploitation et à la dégradation.



**Figure V-4.** Défis majeurs pour la gestion durable des ressources naturelles dans le delta intérieur du fleuve Niger

Pour réduire la vulnérabilité des systèmes de production face à la variabilité climatique, il est nécessaire de pallier aux impacts de l'irrégularité des crues, des pluies et des inondations, et de diminuer le risque climatique. Il faut donc sécuriser et maîtriser l'eau et anticiper et ajuster les techniques de production à l'aide de la prévision climatique. La gestion rationnelle des ressources naturelles nécessite l'intensification des systèmes de production pour diminuer les pressions sur les ressources, augmenter le rendement, l'adoption de pratiques durables pour lutter contre la dégradation de la ressource, la régénération des ressources pour la restauration et la conservation et le renforcement des capacités des acteurs pour la maîtrise des techniques de conservation de la biodiversité. La Figure V-5 résume les stratégies à mettre en place pour relever les défis majeurs identifiés.





**Figure V-5.** Stratégies de gestion des ressources naturelles du delta intérieur du fleuve Niger

Des actions doivent être mises en place et des ressources doivent être mobilisées pour la mise en œuvre des stratégies de gestion durable des ressources du DIN.

*b. Mise en œuvre des stratégies : actions et pondération des ressources nécessaires pour la mise en œuvre des stratégies*

Nous traitons ici les actions et les ressources relatives aux stratégies sur la sécurisation et la maîtrise de l'eau, l'intensification des systèmes de production, la restauration des ressources dégradées et le renforcement des capacités. Les incitations économiques pour la gestion rationnelle des ressources naturelles seront traitées dans la section suivante. La stratégie 'atténuation du risque climatique par les prévisions saisonnières' sera abordée dans le chapitre V et se limitera à la perception des populations des prévisions climatiques et les informations climatiques utiles.

Pour éviter l'empiétement des espaces agricoles sur le foncier pastoral, le creusement et le surcreusement anarchiques des chenaux et des mares, les parties prenantes préconisent la mise en œuvre des aménagements agro-sylvo-pastoraux.

**Tableau V-5.** Cadre de mise en œuvre des stratégies de gestion durable des ressources du delta intérieur du fleuve Niger

Stratégies	1 : Bas 2 : Moyen 3 : Haut	Ressources			Impacts			Rôles et responsabilités			
		Financières	Humaines	Politiques	Economiques	Ecologiques	Gouvernances	Communauté	Etat	PTF	ONG
	<b>Actions/options techniques</b>										
<b>Sécurisation et maîtrise de l'eau</b>	<i>Agriculture</i> -Périmètres irrigués (réseaux d'irrigation, de drainage et d'aménagement parcellaire) -Casiers rizicoles à submersion contrôlée -Périmètres maraîchers et fruitiers	3	2	3	3	2	2				
	<i>Elevage</i> -Création de puits pastoraux -Périmètres irrigués pastoraux	3	2	3	3	2	2				
	<i>Pêche</i> -Creusement de mares artificielles -Surcreusement de mares et chenaux existants	3	2	3	3	2	2				
<b>Intensification des systèmes de production</b>	<i>Agriculture</i> -Irrigation -Fertilisation : engrais/compostage -Mécanisation -Semences améliorées -Agroforesterie	3	1	3	3	3	3				
	<i>Elevage</i> -Bourgouculture -Déstockage -Embouche	2	1	3	3	3	3				
	<i>Pêche</i> -Pisciculture -Rizipisciculture	3	2	3	3	3	3				
								Bénéficiaire/Main d'œuvre/ Gestion			
<b>Régénération des ressources</b>	<i>Tous les acteurs</i> -Reboisement -Régénération des pâturages par repiquage de bourgou et vétiver -Empoisonnement des mares -Mise en défens des espaces dégradés	2	3	2	2	3	2		Appuis financiers, techniques et matériels/ Suivi/ Conseils		
<b>Renforcement des capacités</b>	<i>Tous les acteurs</i> -Formation -Organisation et opérationnalisation des organisations paysannes -Crédit	3	2	3	3	2	3		Appuis financiers et matériels		Appuis financiers, techniques et matériels/ Conseils

### **III. Résultats de l'identification des instruments économiques applicables dans le delta intérieur du fleuve Niger**

#### **1. Identification des comportements nécessitant une incitation économique**

Les principaux comportements néfastes évoqués par les parties prenantes dans l'exploitation des ressources naturelles du DIN sont :

- Le défrichement des forêts inondables à des fins agricoles et énergétiques (bois et charbon de bois).
- Le défrichement des espaces pastoraux au profit de l'agriculture.
- Le surpâturage qui s'explique par l'avidité des *dioros* qui ne limitent pas le nombre d'animaux à l'entrée des bourgoutières et aussi du fait de l'élevage extensif qualifié d'élevage de prestige.
- La surpêche due à une augmentation du nombre de pêcheurs et l'emploi de techniques néfastes comme l'usage des filets à petite maille, de poisons et d'explosifs.
- L'interférence de l'Etat dans la gestion des ressources locales.

Pour résumer, les parties prenantes ont classifié ces problèmes en 3 défis environnementaux :

- **La gestion durable des espaces pastoraux**
- **La pêche durable**
- **Et la limitation de la déforestation.**

Quels instruments économiques pour influencer les comportements des usagers afin de relever ces 3 défis environnementaux ?

#### **2. Résultat de l'identification des instruments avec le DST et discussions avec les parties prenantes**

Le calcul des scores du DST est fonction de critères environnementaux, sociaux, économiques et de gouvernance. La gestion durable des espaces pastoraux, la pêche durable et la limitation de la déforestation doivent être relevées dans le même contexte social, économique et de gouvernance. Quel que soit l'objectif environnemental, les instruments auront le même score selon les critères sociaux, économiques et de gouvernance. Seul le critère environnemental aura des variantes et les scores seront fonction de l'objectif. Ainsi nous présentons le résumé des scores pour les 3 objectifs environnementaux pour les critères qui restent inchangés. Pour les critères environnementaux, nous présenterons les scores par objectif environnemental.

#### *a- Critères sociaux*

Dans le DIN comme partout au Mali, la terre appartient à l'Etat et le droit d'usage appartient à l'Etat et aux collectivités territoriales décentralisées qui peuvent en concéder l'exercice par l'intermédiaire d'un permis, un titre, une autorisation... Cependant, dans le DIN, on note la superposition du droit coutumier au droit étatique. Les droits d'usage ou la tenure du sol et des ressources naturelles sont également dictés par des lois coutumières, ce qui entraîne souvent des conflits dans la gestion des ressources. Le profil économique prédominant fait état d'une pauvreté généralisée mais aussi d'un profil diversifié (3 principaux secteurs d'activité). A la date de l'atelier (juillet 2013), l'environnement socio-politique dans tout le Mali était instable du fait du coup d'Etat perpétré le 21 mars 2012 et la guerre dans le Nord Mali suite à la rébellion Touareg. Les scores attribués par le DST pour ce critère sont mentionnés dans le Tableau V-6.

#### *b- Critères économiques*

Dans le DIN, les prix des produits issus de la production primaire sont fixés en fonction de l'offre et de la demande. Les prix varient tout au long de l'année et se font sur négociations directes entre l'acheteur et le vendeur. La population est sensible au prix des produits car pendant les périodes où les prix sont élevés, elle réduit sa consommation ou en change. Par exemple pendant les hautes-eaux, au moment où les captures de poissons sont faibles et les prix élevés, certains ménages ont recours à la chasse aux oiseaux. Ils utilisent également les poissons séchés capturés la saison précédente. Par ailleurs, une grande partie des productions est orientée vers l'autoconsommation. Par exemple les produits halieutiques sont, soit troqués pour du paddy, soit vendus pour l'achat des céréales. Les productions dans le DIN couvrent une grande partie du marché local et national et seulement une infime partie est exportée. Les scores attribués par le DST pour les critères économiques sont indiqués dans le Tableau V-6.

#### **c- Critères de gouvernance**

La législation du Mali règlemente la gestion des ressources naturelles. On distingue, entre autres, la charte pastorale pour la gestion des espaces pastoraux, la loi N°10-028 du 28 juillet déterminant les principes de gestion des ressources du domaine forestier de l'Etat et la loi n°95-032 du 20 mars 1995 fixant le cadre général de l'exercice des activités de pêche. Les institutions chargées de la mise en œuvre à l'échelle locale, c'est-à-dire les collectivités territoriales, ont un fonctionnement moyen car le manque de moyens financiers entrave souvent les missions de contrôle. Pour pallier à cette insuffisance, les usagers s'organisent

souvent en coopérative ou association pour la gestion rationnelle des ressources. Les parties prenantes évoquent également une forte présence d'Organisations Non Gouvernementales comme CARE Mali, Wetlands, UICN qui œuvrent pour la gestion durable des ressources du DIN à travers le financement de projet, des associations des usagers, des formations,... Les scores attribués par le DST pour les critères de gouvernance sont consignés dans le Tableau V-6.

**Tableau V-6.** Scores attribués par le DST par instruments économiques selon les critères économiques (en gras les instruments ayant les meilleurs scores)

Instruments	Scores par critère		
	Social	Economique	Gouvernance
<b>Droit de propriété</b>	34	<b>47</b>	32
Droits d'utilisation	42	45	32
Permis négociables	42	45	32
Redevances d'utilisation	34	31	32
Redevances de pollution	36	31	32
Obligation de performances	30	29	32
Différenciation de taxes	22	28	32
<b>Paiement des Services Ecosystémiques</b>	40	35	<b>43</b>
<b>Subventions environnementales</b>	<b>44</b>	42	32
Responsabilité juridique	34	43	37
Charge de non-conformité	40	39	32
Accords environnementaux volontaires	30	36	37
Certification	34	28	37
Labellisation	30	28	37

#### *d- Critères environnementaux*

##### ✓ **Gestion durable des espaces pastoraux**

La gestion durable des espaces pastoraux à travers l'empêchement des comportements néfastes comme le défrichement des espaces pastoraux et la surexploitation contribue à la protection des espaces non encore dégradés et participe à la régénération des espaces dégradés. Ceci permet la conservation de la biodiversité dans les espaces pastoraux et permet de lutter contre les plantes envahissantes moins appréciées par les animaux comme le Nganjaji (*Mimosa Pigra*). Le bourgou étant une particularité du DIN, sa gestion durable est un vecteur de la promotion des aspects culturels comme le *Yaaral* et le *Dégal*. Le *Yaaral* désigne des festivités qui marquent la traversée du Niger ou de ses affluents par les troupeaux venant de la transhumance et le *Dégal*, la descente des mêmes troupeaux dans les bourgoutières du Walado-Debo.

### ✓ **Limitation de la déforestation**

Limiter la déforestation permet de régénérer les forêts dégradées et la promotion de diverses fonctions écosystémiques. Parmi ces fonctions, on dénote la rétention de sédiment et donc la réhabilitation des sols, le contrôle de la pollution et la fourniture durable de produits ligneux et non-ligneux. Les forêts servent de zones de frayères des poissons. Leur gestion durable permet le maintien d'un habitat pour les poissons.

### ✓ **La pêche durable**

La pêche durable par la limitation de la surpêche et l'utilisation de techniques et outils néfastes contribuent au renouvellement des stocks de poissons. Cela favorise également la promotion des aspects culturels comme les pêches collectives d'étiage.

Le Tableau V-7 résume les différents scores attribués par le DST selon les critères environnementaux.

**Tableau V-7.** Scores attribués par le DST par instruments économiques selon les critères environnementaux (en gras les instruments ayant les meilleurs scores).

Instruments	Scores		
	Gestion durable des espaces pastoraux	Limitation de la déforestation	Pêche durable
Droit de propriété	67	78	32
Droits d'utilisation	58	68	27
Permis négociables	63	75	33
Redevances d'utilisation	63	75	32
Redevances de pollution	48	57	25
Obligation de performances	63	80	35
Différenciation de taxes	70	87	38
Paiement des Services Ecosystémiques	78	92	38
Subventions environnementales	65	82	28
Responsabilité juridique	60	77	33
Charge de non-conformité	52	67	25
<b>Accords environnementaux volontaires</b>	75	92	<b>42</b>
<b>Certification</b>	<b>83</b>	<b>100</b>	<b>42</b>
Labellisation	43	57	18

Les scores finaux résultant de la moyenne des scores des 4 critères sont indiqués dans le Tableau V-8.

**Tableau V-8.** Scores finaux attribués par le DST par instruments économiques selon les 4 critères (en gras les instruments ayant les meilleurs scores).

Instruments	Scores finaux		
	Gestion durable des espaces pastoraux	Limitation de la déforestation	Pêche durable
<b>Droit de propriété</b>	<b>45</b>	48	36
Droits d'utilisation	44	47	36
<b>Permis négociables</b>	<b>45</b>	48	<b>38</b>
Redevances d'utilisation	40	43	32
Redevances de pollution	37	39	31
Obligation de performances	38	43	31
Différenciation de taxes	38	42	30
<b>Païement des Services Ecosystémiques</b>	<b>49</b>	<b>52</b>	<b>39</b>
<b>Subventions environnementales</b>	<b>46</b>	<b>50</b>	36
Responsabilité juridique	43	48	37
Charge de non-conformité	41	44	34
<b>Accords environnementaux volontaires</b>	44	49	<b>36</b>
<b>Certification</b>	<b>45</b>	<b>50</b>	<b>35</b>
Labellisation	34	38	28

Pour la gestion durable des espaces pastoraux, sur la base des résultats du DST, les 5 instruments correspondant aux meilleurs scores sont les suivants : les Paiements des Services Ecosystémiques (PSE) (49), les subventions environnementales (46), la certification (45), les permis négociables (45) et les droits de propriété (45).

Pour la limitation de la déforestation ce sont les PSE (52), les subventions environnementales (50), et la certification (50).

Pour la pêche durable, ce sont les PSE (39), les permis négociables (38) et les accords environnementaux volontaires (36).

Après discussion de ces résultats, les parties prenantes ont jugé la certification et les PSE peu adéquats pour la gestion des ressources du DIN. Ils évoquent des difficultés de mise en place dues à la mentalité des populations et au manque de moyens financiers. La difficulté liée aux PSE réside dans le fait que les services écosystémiques n'ont pas de coût pour la population. La certification également ne peut influencer un éleveur à préférer une bourgoutière ou une

autre, surtout dans un contexte de raréfaction de la ressource. Aussi, la grande majorité des produits ligneux est destinée au marché local et national et est peu sensible aux modes de production respectueux de l'environnement mais plutôt sensible au prix. La certification nécessite également des coûts dont ne disposent ni les usagers ni les autorités, et un management de qualité rigoureux. Les permis négociables ont également été jugés pas adéquats dans un contexte où le système administratif dispose de peu de moyens financiers, logistiques et humains.

*Gestion durable des espaces pastoraux* : les parties prenantes ont également jugé les subventions environnementales plus efficaces pour les campagnes de régénération mais peu efficaces pour induire un changement de comportement des éleveurs qui sont souvent étrangers aux différentes localités (pour rappel, le DIN abrite environ 20% du cheptel national en période sèche). Aussi dans le contexte du DIN où les droits de propriété sont régis par les lois coutumières, les parties prenantes ont jugé les droits d'utilisation plus adéquats que les droits de propriété. Les instruments ayant les meilleurs scores à la suite de ceux jugés peu adéquats au contexte du DIN sont les accords environnementaux volontaires, les charges de non-conformité et la redevance d'utilisation. La redevance d'utilisation est préférée aux charges de non-conformité car elle existe dans les lois et doit être simplement mise en application. Les instruments jugés utiles par les parties prenantes pour la gestion durable des espaces pastoraux sont : les accords environnementaux volontaires, les redevances d'utilisation et les droits d'utilisation.

*Limitation de la déforestation* : la subvention environnementale, les accords environnementaux volontaires et la redevance d'utilisation qui ont déjà été expérimentés dans ce domaine sont les instruments retenus par les parties prenantes.

*Pêche durable* : les accords environnementaux volontaires, l'obligation de performance et la redevance d'utilisation sont les instruments retenus. Les redevances d'utilisation ont l'avantage d'exister déjà dans les textes qui régissent le domaine de la pêche et l'obligation de performance est un instrument potentiel pour décourager l'emploi de techniques et pratiques néfastes.

Le Tableau V-9 résume les IE potentiels pour relever les différents objectifs environnementaux.



**Tableau V-9.** Liste des instruments économiques potentiels par objectif environnemental.

<b>Objectif</b>	<b>Instruments</b>
<b>Gestion durable des espaces pastoraux</b>	1- Accords environnementaux volontaires 2- Redevances d'utilisation 3- Droit d'utilisation
<b>Limitation de la déforestation</b>	1- Accords environnementaux volontaires 2- Redevance d'utilisation 3- Subventions environnementales
<b>Pêche durable</b>	1- Accords environnementaux volontaires 2- Obligation de performance 3- Redevance d'utilisation

Les avantages et les inconvénients de la mise en œuvre de ces instruments sont exposés dans les résultats de la DeMax.

### **3. Les résultats de la DeMax**

#### *a- Les accords environnementaux volontaires*

**Les avantages de la mise en œuvre :** sur le terrain, cet instrument existe déjà sous la forme de convention locale de gestion des ressources naturelles et les Comités Villageois de Gestion (CVG). Il est en adéquation avec le contexte politique, social et économique du DIN. Partant du principe d'un consensus volontaire, cet instrument crée un cadre de concertation, d'échange et renforce la cohésion sociale. Il ne remet pas en cause les droits des entités administratives et traditionnelles sur les ressources pastorales, forestières et halieutiques, mais vient en appui quant à la gestion rationnelle. Par exemple, les CVG veillent au respect des conventions pour lesquels les partenaires financiers ont apporté un appui. Le DIN étant un site RAMSAR, les bailleurs sont prêts à soutenir les initiatives locales pour la gestion durable de l'environnement. Par ailleurs, il existe des structures à toutes les échelles pour appuyer ou accompagner la mise en œuvre des accords environnementaux volontaires mais la faiblesse réside au niveau des moyens financiers. Les organismes potentiels d'exécution sont : les communautés, les collectivités, les Ministères de l'élevage et de la pêche, de l'environnement et de l'assainissement, l'administration territoriale, de l'agriculture, les ONG (UICN, Wetlands, Care Mali,...). Les associations faitières et les collectivités peuvent faciliter les accords entre les parties prenantes et les partenaires. Elles ont une certaine expérience dans

l'accompagnement et la mobilisation. Il existe des mécanismes de suivi/évaluation mais il faudra les rendre fonctionnels pour le suivi des impacts de cet instrument.

**Les inconvénients de la mise en œuvre :** le principe de base des accords volontaires ne fournit pas des moyens légaux pour réprimer les usagers qui ne se conforment pas aux règles de la convention. Cet instrument naît de la volonté des populations qui auto-définissent des règles (en adéquations avec les textes) pour la gestion rationnelle des ressources naturelles locales. Il est souvent perçu comme un dispositif informel sans valeur juridique. Il est difficile dans un tel contexte de contraindre ou de disposer de moyens légaux pour réprimander les usagers étrangers à la localité. En outre, la démotivation d'une ou des parties contractantes des accords environnementaux volontaires peut être une source d'échec de l'instrument.

#### ***b- Redevance d'utilisation***

**Avantages de la mise en œuvre :** cet instrument a l'avantage d'exister sur le terrain dans le domaine de la gestion des ressources naturelles. Les textes régissant le domaine forestier, de la pêche et pastoral stipulent que les usagers sont tenus de payer une redevance pour l'utilisation des différentes ressources.

**Inconvénients de la mise en œuvre :** la redevance d'utilisation existe dans les textes législatifs mais sa perception n'est pas toujours effective sur le terrain. Du fait du système traditionnel, des redevances d'utilisation sont reversées au *dioro* et *djitu* pour le domaine pastoral et halieutique. Ce sont des redevances d'utilisation informelle qui ne sont pas légales mais tolérées sur le terrain. Un tel système crée des pressions environnementales au lieu de les réduire. Par exemple, sur le plan pastoral, la redevance au *dioro* est fonction du nombre d'animaux. Ainsi, tant que les utilisateurs sont en mesure de payer les redevances, le *dioro* ne limite pas le nombre d'animaux à l'entrée (attitude mercantile).

Sur le plan forestier, seuls les grands exploitants se munissent d'un permis de coupe avec un taux de redevance qui est fonction des superficies déboisées ou du nombre d'arbres abattus. Il est difficile d'imposer une redevance à la population locale, compte tenu de la mentalité. L'absence de l'application des textes sur le terrain et le manque de moyens de l'Etat pour les contrôles fréquents aboutissent à un abus dans l'exploitation des ressources forestières.

Les faiblesses de la mise en œuvre de la redevance d'utilisation sur le terrain sont principalement dues au manque de moyens humains, financiers et logistiques de l'Etat et le transfert non effectif de la gestion des ressources aux collectivités.

#### ***c- Droit d'utilisation***

**Avantages de la mise en œuvre :** les espaces pastoraux relèvent du domaine de l'Etat et des collectivités territoriales. La constatation de la mise en valeur permet au pasteur concerné de bénéficier de la reconnaissance, de la protection et de la garantie des droits d'usage sur l'espace concerné. Toutefois, la reconnaissance du droit d'usage n'implique aucunement le transfert de la propriété du sol et des ressources concernées.

**Inconvénient de la mise en œuvre :** les droits sur les espaces pastoraux sont souvent héréditaires (*dioro*), ce qui rend l'intervention des structures administratives et juridiques complexes. Les *dioros* n'ont pas de titre foncier mais, traditionnellement, ils ont le droit d'usage sur les espaces pastoraux et c'est à eux qu'appartiennent les bourgoutières privées. Instaurer un droit d'usage qui ne respecte pas le système de gestion traditionnelle de la ressource pastorale peut entraîner une fragilisation de la cohésion sociale.

#### ***d- Obligation de performance***

**Avantages de la mise en œuvre :** l'obligation de performance cible les techniques et les engins de pêche. La loi régissant le domaine de la pêche intègre la réglementation des maillages des filets et interdit les pratiques de pêche néfastes comme la pêche à l'explosif, à l'aide de produits chimiques, de poisons, de drogues ou de plantes toxiques. Des sanctions légales sont prévues pour les usagers qui ne s'y conforment pas. Il existe au niveau local dans chaque village des délégués de pêche désignés par la population et reconnus par l'Etat avec des mandats bien déterminés. Ils n'ont pas un pouvoir de sanction mais de négociation et de dénonciation des pratiques non-conformes.

**Inconvénients de la mise en œuvre :** les pêcheurs saisonniers migrants sont un obstacle à la mise en œuvre de cet instrument. Le plus souvent, ce sont eux qui emploient des techniques de pêche non durables pour avoir une campagne de pêche la plus fructueuse possible. La complaisance des maîtres des eaux, le manque de contrôle sur le terrain dû à une insuffisance de moyens financiers, humains et logistiques des structures administratives sont également un facteur qui entrave l'efficacité de cet instrument.

En outre, on note souvent une démotivation des délégués de pêche due à certaine frustration sur le terrain. En effet, du fait de leur force administrative limitée, les agents techniques de l'Etat s'opposent souvent à eux devant les protagonistes.

Il existe peu de bailleurs de fonds dans le domaine de la pêche et ceux qui existent sont concentrés sur les aspects de transformation et d'acquisition de matériels, mais pas sur l'appui et la consolidation d'un tel instrument.

*e- Subventions environnementales*

**Avantages à la mise en œuvre :** c'est également un instrument qui est expérimenté sur le terrain. On note par exemple la subvention du gaz butane par l'Etat pour limiter l'exploitation du bois à des fins énergétiques. Il y a également l'exemple du projet Biorights de Wetland International (WI). A travers ce projet, un groupement de femmes dans le village d'Akka a bénéficié de micro-crédits pour leurs activités. Au lieu de payer les intérêts, les femmes ont dû planter des acacias. Si au bout d'un an, 75% des plantations sont encore intactes, le micro-crédit devient une subvention. On note un certain intérêt des bailleurs de fonds quant aux subventions environnementales pour la protection des ressources forestières.

**Inconvénients de la mise en œuvre :** sur le terrain il y a souvent des frustrations liées à cet instrument car les bénéficiaires ou le partage des fonds ne sont pas toujours équitables.

En fonction des avantages et des inconvénients relatés par les parties prenantes, les scores affectés à chaque instrument par la DeMax sont résumés dans le Tableau IV-10.

**Tableau V-10.** Scores finaux attribués par La DeMax par instruments économiques.

<b>Défis environnementaux</b>	<b>Instruments</b>	<b>Score</b>	<b>Recommandation DeMax</b>
Gestion durable des espaces pastoraux	Accords environnementaux volontaires	62%	Poursuivre avec prudence et une attention particulière les modifications significatives de l'instrument ou de l'environnement
	Redevance d'utilisation	56%	
	Droit d'utilisation	55%	
Limitation de la déforestation	Subvention environnementale	82%	
	Redevance d'utilisation	81%	
	Accords environnementaux volontaires	81%	
Pêche durable	Obligation de performance	63%	
	Redevance d'utilisation	61%	
	Accords environnementaux volontaires	66%	

**Commentaires des participants sur la DeMax :** les participants ont pointé quelques faiblesses de l'instrument. D'abord, son application est fastidieuse car son application à un

seul IE prend beaucoup de temps. Certaines formulations sont complexes, et difficiles à traduire dans les langues locales. A chaque instrument il faut réexpliquer chaque rubrique. Les participants attribuent ces difficultés à la première traduction de l'anglais au français. En outre, ils ont souligné le fait que certaines rubriques peuvent être combinées pour en faire un outil moins long. Par exemple les rubriques 1.1<sup>11</sup> et 1.3<sup>12</sup> de la section critères sociaux peuvent être combinées. Par conséquent, ils souhaitent un instrument plus allégé avec des phrases moins longues et plus accessibles à la compréhension.

La question se pose sur le transfert de l'information à des parties prenantes dont une partie maîtrise mal le français et encore moins le langage économique et juridique développé dans d'autre pays.

#### **IV- Discussion**

##### **1. Les stratégies de gestion durables des ressources naturelles**

###### *a- Dégradation des ressources du delta intérieur du fleuve Niger et adaptation locale*

Les fortes crues des années 1950 et 1960 favorisaient l'inondation de grandes superficies de plaines. L'agriculture, principalement la riziculture, était de type extensif, à submersion libre et de décrue sans maîtrise de l'eau et sans aménagement hydraulique. En raison des sécheresses des années 1970 et 1980, les anciennes plaines utilisées pour la culture de riz ne sont plus inondées. De 1952 à 1989, les domaines potentiels favorables au riz ont chuté de 25% (Marie 2002). La récurrence des sécheresses et la volonté de contribuer à la sécurisation alimentaire des populations ont orienté les politiques agricoles vers un système de riziculture intensif avec un développement massif des aménagements hydroagricoles. La submersion contrôlée a été développée dans les années 1970 pour pallier aux contraintes de la submersion libre. Les digues permettent une protection des casiers contre les crues trop précoces et permettent la rétention des eaux dans les casiers lors du retrait précoce des crues. Dans le DIN, l'opération riz Mopti créée en 1972 (appelée Office Riz Mopti (ORM) depuis 1991) comptabilise 39 000 ha de superficie aménagée dont 34 000 ha pour la riziculture. Ce système reste néanmoins dépendant des conditions pluvio-fluviales car les casiers ne sont pas inondés en cas de crue trop faible. Ce système n'a pas la souplesse d'adaptation du système à submersion libre qui, bien que peu productif, a au moins la capacité de se déplacer en fonction

---

<sup>11</sup> Distribution équitable ou non des bénéfices (financiers ou non financiers) d'une manière juste entre les utilisateurs des ressources ou des terres dont le comportement est modifié par l'instrument.

<sup>12</sup> La mise en œuvre de l'instrument aidera à atténuer la pauvreté et réduire la vulnérabilité des moyens de subsistance des communautés ou groupes d'utilisateurs ciblés.

des périodes climatiques (Bélières *et al.* 2007). A partir de 1986, le développement de la petite irrigation, communément appelée PPIV (Petit Périmètre Irrigué Villageois), a été encouragé dans le cadre du projet VRES (Valorisation des Ressources en Eaux de Surface en 5e région). En 1998, 150 périmètres irrigués à maîtrise totale de l'eau ont été aménagés dans le DIN, soit plus de 1 400 ha (Ducrot *et al.* 2002). Depuis 1995, l'ORM réalise de nombreux PPIV sur des financements divers. Par ailleurs, la petite irrigation privée (hors appui et financement de projet) connaît un fort développement et contribue à l'expansion des superficies irriguées (Ducrot *et al.* 2002). Le développement des périmètres irrigués s'accompagne de l'utilisation massive des intrants agricoles.

Avec un système à submersion libre extensif fortement dépendant des conditions climatiques, les stratégies d'adaptation agricoles locales se sont focalisées autour de la maîtrise de l'eau avec un développement des périmètres irrigués et une intensification du système de culture.

Malgré le développement de la maîtrise totale ou partielle de l'eau, la riziculture en submersion libre reste dominante. L'adaptation de ce système aux aléas climatiques réside dans la mobilité des rizières vers des cuvettes profondes où pousse le bourgou.

Les sécheresses ont également impacté le secteur de l'élevage. La région des prairies a diminué de 29% entre 1952 et 1975 (Cisse 1986). L'adaptation des systèmes rizicoles ont également impacté le foncier pastoral car l'expansion des périmètres irrigués empiète sur le domaine pastoral. En 1989, 25% des bourgoutières étaient défrichées au profit de la riziculture (Marie 2002). Pour contribuer à la sécurité alimentaire des animaux, la culture du bourgou a été introduite à partir de 1978 à travers l'expérience de l'ODEM (Opération pour le Développement de l'Elevage dans la région de Mopti). La bourgouculture consiste à la régénération des pâturages par le repiquage du bourgou et la mise en défens. En 1985, après la forte mortalité du cheptel due aux sécheresses, l'ONG VSF (Vétérinaire Sans Frontière) a introduit la culture du bourgou dans les périmètres irrigués. Depuis, les éleveurs pratiquent la régénération du bourgou dans les pâturages du DIN.

Pour la pêche on peut noter que pendant 11 ans (1983 à 1993), les lacs périphériques n'ont pas été alimentés par le fleuve (Orange 2002) et de 1979 à 1991 le nombre de réserves de pêche a diminué de 343 à 177 (Koné 1991) en raison de la faiblesse des crues et le comblement des chenaux qui les alimentent. Dans le domaine de la pêche, la réduction des superficies de bourgoutières a eu pour conséquence la diminution de zones propices à l'alimentation et à la reproduction des poissons. La diminution des zones de captures et de frayères a eu pour conséquence la diminution de la ressource halieutique. Cette diminution a

été exacerbée par la pression démographique. La diminution des captures a entraîné la diminution de la taille des mailles qui a évolué de 50 mm avant 1975 à seulement 10 mm en 2007. Ceci a favorisé la capture des stocks juvéniles entravant ainsi le renouvellement de la ressource. Pour s'adapter, les pêcheurs procèdent localement à la mise en défens des mares pour assurer le renouvellement du stock et au creusement et surcreusement des mares et des chenaux pour favoriser l'alimentation des mares et faciliter la migration des poissons vers les mares quand la décrue s'amorce.

Les forêts inondables du DIN sont des espaces écologiques abritant de nombreuses colonies nicheuses d'oiseaux d'eau qui fertilisent l'eau avec leurs déjections. Avec la faiblesse des crues, de nombreuses forêts ont été transformées en forêts sèches, et défrichées car propices à la riziculture. Avec la diminution des bourgoutières, elles ont également subi la pression des éleveurs. Au total, les forêts ne couvrent désormais pas plus de 20 km<sup>2</sup> contre de nombreuses centaines de km<sup>2</sup> avant les années 80, voire plus à l'époque précoloniale (Beintema *et al.* 2007). Les populations ont pris conscience de la dégradation des ressources forestières et mènent des activités de régénération à travers le reboisement, avec l'appui de nombreuses structures comme l'UICN et WI.

#### ***b- Stratégies de gestion des ressources naturelles***

On ne peut assurer une gestion durable des ressources du DIN sans maintenir les moyens d'existence et améliorer la sécurité alimentaire. Cela passe par une augmentation de la productivité du milieu et il y a 3 moyens possibles y parvenir (Liniger *et al.* 2011) : l'expansion, l'intensification et la diversification de l'utilisation des terres.

Dans le DIN, le système de production extensif revêt le risque d'accroître les pressions sur les ressources et les conflits entre usagers car il existe une véritable concurrence foncière à cause de la diminution des superficies inondées dues à la rareté des pluies et de l'explosion démographique. La dynamique de la crue induit une diversification de l'utilisation du milieu : agriculture pendant la crue, puis pêche et élevage pendant la décrue. L'intensification des moyens de production présente l'avantage de réduire les superficies utilisées et d'accroître le rendement. L'intensification pour accroître la productivité implique la maîtrise et la sécurisation de l'eau afin de pallier à l'irrégularité des pluies et à la faiblesse des crues. La maîtrise et la sécurisation de l'eau se font par des aménagements agro-sylvo-pastoraux. Pour l'agriculture, ces aménagements consistent en la réalisation de casiers et de périmètres rizicoles, maraîchers et fruitiers. Pour l'élevage, en plus des traditionnels puits pastoraux, des

périmètres et des casiers à bourgou peuvent être aménagés. La valeur exceptionnelle du bourgou ne réside pas uniquement dans la qualité nutritive en tant que fourrage mais aussi et surtout par le rôle déterminant qu'il joue dans la régulation de l'écologie deltaïque, en termes de nidation et d'alimentation des poissons et dans la fixation du limon et du sol. Les aménagements pour le secteur de la pêche concernent le creusement et le surcreusement des chenaux et des mares.

Plusieurs auteurs décrivent les impacts négatifs des aménagements à but d'irrigation sur la préservation des milieux naturels des zones humides des régions arides et semi-arides (Tchamba *et al.* 1995, Lemly *et al.* 2000, Scholte *et al.* 2000). Ces impacts négatifs sont dus à une dérivation de l'eau pour l'alimentation des habitats en amont extérieurs aux ZH. Cependant, les actions d'irrigation préconisées dans le cas du DIN sont une dérivation de l'eau pour l'alimentation d'une partie de l'écosystème, là où les inondations ne permettent plus une bonne production. Les impacts sont moins sévères quand les eaux sont extraites de la ZH pour irriguer les terres de la ZH (Galbraith *et al.* 2005). L'intensification combinée à la sécurisation et la maîtrise de l'eau permettront d'augmenter les rendements et de diminuer les pressions sur les ressources du DIN.

Pour les espaces déjà dégradés, des actions de régénération peuvent être entreprises ou renforcées comme le repiquage du bourgou et du vétiver dans les pâturages et les mares, le reboisement des forêts et des champs de cultures, et l'empoissonnement des pêcheries.

Le renforcement des capacités des acteurs demeure également une stratégie essentielle pour favoriser le développement des compétences dans les systèmes de production durable mais également dans la gestion rationnelle des écosystèmes.

Les incitations économiques doivent être également associées à ces différentes stratégies afin de traiter les causes anthropiques de la dégradation des ressources du DIN.

## **2. Les incitations économiques**

Des incitations d'ordre économique existent dans les textes législatifs du Mali pour réglementer l'accès et l'usage des ressources naturelles notamment celles du DIN. Malgré l'existence de ce cadre juridique, on note toujours des modes ou des pratiques de production néfastes à la durabilité des ressources. Cela est dû à la faible application des textes sur le terrain, compte tenu souvent du flou juridique, de la complexité du milieu et des faibles moyens financiers et logistiques des collectivités territoriales.



Sur le plan pastoral, de l'avènement de l'indépendance jusqu'à la fin des années 1990, il n'existait pas de législation concernant l'espace pastoral. L'accent porté sur l'agriculture par l'Etat ainsi que les conséquences des sécheresses favorisaient l'occupation de l'espace à des fins de production agricole, les pasteurs étant les exclus du foncier (Maiga 1997, Moseley *et al.* 2002). L'empiètement de l'agriculture sur l'espace pastoral était accepté, et l'élevage n'avait de droit sur l'espace que secondairement car il était jugé moins valorisant (Touré, 1990). Le pastoralisme en raison de sa mobilité dans le temps et dans l'espace n'a pas été reconnu comme une activité qui occupe et met en valeur la terre, donc sans 'domaine' (Sangaré *et al.* 2010). Ce n'est qu'en 2001 qu'une attention particulière fut apportée au domaine pastoral par l'adoption de la loi 01-004 du 27 février portant sur la charte pastorale. Cette charte définit le domaine pastoral ainsi que les principes fondamentaux de l'exercice des activités pastorales. L'article 27 de la charte stipule que les espaces pastoraux relevant du domaine de l'Etat et des collectivités territoriales sont constitués par les pâturages herbacés et aériens, les bourgoutières communautaires, les terres salées, les points d'eau et les gîtes d'étapes. La charte ne fait pas état du domaine privé pastoral, une composante du DIN qui est tenue par les *djoros*. Elle pose également plusieurs interrogations quant à la reconnaissance légale des *djoros* et de leurs pâturages lignagers (Leblon 2011). Fondamentalement, les bourgoutières, qu'elles soient privées ou communautaires, sont des pâturages herbacés à *Echinochloa Stagmina*. **Sur cette base, peut-on dire que toutes les bourgoutières relèvent du domaine de l'Etat ?** La préoccupation intervient lorsque la loi définit les droits d'utilisation du foncier pastoral. Légalement, l'accès à l'espace pastoral de l'Etat est ouvert à tout pasteur. Seul l'accès aux bourgoutières communautaires peut donner lieu à la perception d'une redevance fixée par les collectivités territoriales et un accès prioritaire est accordé aux animaux des communautés détentrices des droits coutumiers. Cependant, la seule redevance perçue sur le terrain est celle réglée de façon informelle aux *djoros* propriétaires des bourgoutières privées. La loi régleme uniquement le domaine public avec un flou juridique autour de la définition du domaine privé car sur la base de sa définition elle peut être apparentée au domaine de l'Etat. La question que l'on pourrait se poser est **pourquoi la redevance payée au *djoro* n'est-elle pas réglementée ou pourquoi une partie n'est-elle pas reversée aux collectivités ?** L'ambiguïté qui subsiste entre le domaine public et privé entrave l'utilisation efficace d'une incitation économique basée sur la redevance d'utilisation. Aussi, un code général ne saurait réglementer l'occupation et l'utilisation des ressources pastorales d'un terroir spécifique comme le DIN qui abritent 20% du cheptel national en

saison sèche. Il est nécessaire de clarifier les espaces pastoraux relevant du privé et réglementer les redevances. Le prix de l'herbe est devenu un véritable moyen d'enrichissement des maîtres de pâturage (Bouaré 2012) et peut expliquer le fait que les *djoros* exploitent leurs domaines au dépens de la durabilité de la ressource. Par ailleurs, il faut noter que les problèmes du domaine pastoral relèvent de deux catégories : les problèmes endogènes liés à la pratique des pasteurs et à leurs comportements et les problèmes exogènes liés aux rapports de l'élevage et des éleveurs avec les autres systèmes de production, agricoles en particulier (Maiga 1997). La réglementation de la redevance d'utilisation est un moyen pour venir à bout des problèmes endogènes qui entraînent souvent le surpâturage. Quant aux problèmes exogènes, il est mentionné dans l'article 37 de la loi 01-004 que l'utilisation des espaces réservés aux pâturages à des fins agricoles doit faire l'objet d'une concertation entre les différents utilisateurs locaux. Les seules entités protégées par la loi sont les pistes pastorales et les gîtes d'étape. L'article 65 de la loi 01-004 mentionne que quiconque occupe ou entrave une piste pastorale ou un gîte d'étape ou empiète sur leur emprise sera sanctionné d'une amende ou d'un emprisonnement. Contrairement au domaine forestier où le défrichage doit faire l'objet d'une autorisation préalable moyennant une redevance, la charte pastorale ne réglemente pas le défrichage sur le foncier pastoral et aucune sanction n'est prévue à cet effet. Il y a une rude concurrence entre l'agriculture et l'utilisation des terres comme pâturages pour une ressource de plus en plus rare (superficie inondée) conduisant à des conflits allant jusqu'à des pertes en vies humaines (Moseley *et al.* 2002). Aussi la voie préconisée par la loi, c'est-à-dire la concertation entre éleveurs et agriculteurs pour le passage du foncier pastoral à l'agriculture, a peu de chance d'aboutir, si toutefois le défrichement du foncier pastoral n'est pas sujet à une sanction sur le plan juridique.

Sur le plan forestier, de 1960 à nos jours, le Mali a adopté 4 générations de lois régissant le domaine forestier. La première génération concerne la loi N°68-8 AN-RM du 17 février 1968 portant code forestier. La désertification et les conséquences désastreuses des sécheresses des années 1970 et 1980 ont conduit l'Etat à la relecture de la loi et à l'adoption de la seconde génération. Ainsi les lois N°86-42/AN-RM du 24 mars 1986 sur le Code forestier, N°86-85/AN-RM du 26 juillet 1986 portant institution et fixant le taux de défrichement et N°86-66/AN-RM du 26 juillet 1986 sur le code de feu ont abrogé et remplacé la loi de 1968. Par la suite, ces textes ont été jugés incomplets et inadaptés (amendes trop élevées pour des infractions courantes, responsabilité civile et conjointe des collectivités villageoises pour des infractions commises dans leur voisinage si les auteurs n'étaient pas découverts). Leur

application a rendu impopulaire le service forestier et c'est ainsi que fut adoptée la troisième génération de la législation forestière. Ce sont les lois N°95-004 du 18 janvier 1995 fixant les conditions de gestion des ressources forestières et N°95-003 du 18 janvier 1995 sur l'organisation du transport et du commerce du bois. Ces textes ont également montré leur insuffisance car la loi N°95-003 avait un caractère restrictif ne traitant que des bois d'énergie ; les amendes prévues par la loi N°95-004 pour la répression des infractions en matière d'exploitation du bois de feu et du charbon de bois en fonction des quantités étaient plus avantageuses pour le contrevenant que le paiement de la redevance en vigueur, ce qui était de nature à encourager l'exploitation frauduleuse du bois. Il y avait également une discordance entre la loi N°95-003 et N°95-004 car cette dernière ne prévoyait aucune disposition relative aux coupons de transport des produits forestiers alors que la loi N°95-003 ne traite que des coupons de transport des bois d'énergie. Après relecture des lois de 1995, une harmonisation des principes de gestion et la prise en compte des obligations découlant de la ratification des conventions internationales furent adoptées : la loi N°10-028 du 12 juillet 2010 qui abroge les lois de 1995 et régit les principes de gestion du domaine forestier. Ainsi, il est mentionné dans l'article 44 de la loi N°10-028 que l'accès aux forêts classées par l'Etat ou les collectivités en dehors de l'exercice des droits d'usage, est subordonné à une autorisation préalable délivrée par le service chargé de la gestion du périmètre concerné. Les autorisations sont délivrées moyennant le paiement d'une redevance dont le taux est fixé par le décret n°10-388/P-RM du 26 juillet 2010. Le défrichement est également réglementé par la même loi car il nécessite une autorisation préalable moyennant une redevance. Cette autorisation est gratuite pour les propriétaires des forêts privées à condition que cela ne compromette pas l'écosystème aux alentours. La législation forestière se résume au domaine forestier de l'Etat, géré par les collectivités territoriales et non à toutes les forêts. Dans l'article 28 de la charte pastorale, il est dit que dans le domaine forestier non-classé, l'accès aux pâturages est libre et ne donne lieu à la perception d'aucune taxe ou redevance. Dembélé (2009) note que moins de 10% des forêts sont gérées par les collectivités territoriales. **Faut-il attendre que les forêts soient sujettes à la dégradation avant de leur apporter une attention particulière ?** Car l'absence de la réglementation des forêts non-classées peut aboutir à une exploitation non rationnelle pouvant conduire à la dégradation ou la disparition surtout dans un contexte où les ressources se font de plus en plus rares.

Dans le domaine de la pêche, la réglementation a également connu une certaine évolution. La première loi portant réglementation de la pêche au Mali depuis l'avènement de

l'indépendance est la loi N°63-7 AN-RM du 11 janvier 1963. Cette loi se limitait à la réglementation des pratiques et matériels de pêche et aucune disposition n'était prise sur la réglementation de l'accès. La fréquence des litiges et le gaspillage de la ressource ont conduit à l'adoption de certains textes venant en appui à la loi de 1963. Ce sont la Convention régionale sur la pêche en 5<sup>e</sup> Région qui se focalisait sur la région du DIN, le Décret N°35/PG-RM du 14 mars 1975 portant réglementation de la pêche au Mali et l'ordonnance N°11/CMLN du 3 mars 1975 portant création des permis de pêche. La Convention régionale sur la pêche en 5<sup>e</sup> Région a aboli l'existence des maîtres des eaux dans son article 1. L'application de ces différents textes a connu des faiblesses dans leur mise en œuvre : difficultés d'application dues à l'hostilité des pêcheurs locaux nostalgiques du règne des maîtres des eaux; interprétation souvent contradictoire de certains aspects des textes tant par ceux chargés de l'application que par les pêcheurs; absence de tout système de contrôle effectif de l'exploitation des pêcheries créant ainsi un vide après l'abolition du règne des maîtres des eaux (Koné 1986). En 1986, fut adoptée la loi N°86-44/AN-RM du 24 mars portant code de la pêche. Malgré cette nouvelle législation, la pêche restait placée sous un régime de règles définies de façon quasi arbitraire par l'État central avec un service, les Eaux et Forêts, chargés d'en assurer l'application (surveillance, contrôle et répression) selon des modalités uniformes sur l'ensemble du territoire (Cissé and Morand 2007). Avec l'avènement de la décentralisation et le transfert de la gestion des ressources naturelles aux collectivités territoriales, le code de la pêche de 1986 fut abrogé par la loi N° 95-032 du 20 mars 1995 fixant les conditions de gestion de la Pêche et de la Pisciculture. L'article 21 de ladite loi stipule que nul ne peut pêcher dans les domaines piscicoles de l'Etat et des collectivités décentralisées s'il n'est muni d'un permis ou d'une autorisation, à l'exception de l'exercice des droits d'usage. Le domaine piscicole de l'Etat comprend toutes les eaux publiques, naturelles ou artificielles, aménagées ou non. Le domaine piscicole des collectivités territoriales décentralisées comprend les aménagements hydrauliques et piscicoles qu'elles réalisent sur leur territoire ainsi que les eaux publiques qui leur sont concédées par l'Etat. Les redevances sont perçues à l'occasion de la délivrance des permis ou des autorisations de pêche et les taux sont fixés par le décret N°95-182/P-RM du 26 avril 1995. Contrairement aux éleveurs, les pêcheurs payent une double redevance. Une aux autorités étatiques pour l'obtention du permis de pêche, et l'autre aux autorités coutumières, les *djitigui* pour l'obtention de l'autorisation de pêche. Cette double tarification du droit de pêche peut induire un effet pervers de l'incitation économique car les pêcheurs chercheront à maximiser leur investissement en prélevant le plus possible d'autant plus que la

législation ne réglementa pas l'effort de pêche. En outre, la loi N° 95– 032 fait état d'obligation de performance environnementale en réglementant les outils et les pratiques de pêche. Toute activité ou tout acte de nature à détruire la faune et la flore aquatiques sont interdits. Il est obligatoire de remettre à l'eau toute prise non utilisée. Les règlements et conventions au niveau régional et local déterminent les maillages réglementaires selon les zones et les périodes de pêche. Il est interdit de pêcher à l'explosif, à l'aide d'engins électrocuteurs, de substances radioactives, de produits chimiques, de poisons, de drogues ou de plantes toxiques. Toutefois, des dérogations peuvent être accordées par le Directeur du service chargé de la pêche à des fins de recherche scientifique. La pêche dans les aires protégées est soumise à l'obtention d'une autorisation spéciale. L'utilisation de la technique des barrages et des clôtures à des fins de pêche est régie par des dispositions réglementaires et conventionnelles. Les outils et les pratiques sont réglementés mais l'insuffisance des contrôles a favorisé le développement des pratiques et l'utilisation de certains outils néfastes.

L'évolution des politiques a montré la volonté de l'Etat de promouvoir la gestion participative et décentralisée en confiant la gestion des ressources naturelles aux collectivités territoriales. Mais depuis le démarrage effectif des communes en 2000 après les élections de 1999 et la réalisation des premiers transferts en 2002, les collectivités sont toujours dans l'attente du transfert de compétences et des ressources, notamment en matière de gestion des ressources naturelles (Djiré and Delville 2012). Ce facteur combiné aux manques de moyens financiers entravent le rôle des collectivités territoriales dans la protection de l'environnement et expliquerait les insuffisances dans les missions de contrôle et de suivi-évaluation.

Pour pallier aux insuffisances de la législation et pour venir en appui aux collectivités territoriales, les populations prennent parfois des initiatives au niveau local pour lutter contre la dégradation de leur milieu. Ces initiatives ou accords environnementaux volontaires sont désignées comme étant des conventions locales. Elles définissent les règles d'accès et d'utilisation des ressources naturelles et facilitent la gestion des conflits. Tout comme la législation, le succès des conventions locales est entravé par quelques contraintes. Sur le plan juridique, les acteurs des conventions ne possèdent pas de personnalité juridique ni publique et à ce titre ne peuvent contracter, ni ester en justice et ne peuvent édicter une réglementation s'imposant à tous, notamment aux intervenants extérieurs (Djiré and Dicko 2007). Sur le plan conceptuel, le diagnostic des ressources et des enjeux locaux est souvent mal posé et cela aboutit à l'élaboration de propositions théoriques, peu opérationnelles aux yeux des usagers et à la marginalisation ou l'exclusion de certains acteurs comme les femmes et les usagers

extérieurs (Dicko 2002). Djiré & Dicko (2007) soulignent que, lorsque les populations s'engagent dans l'élaboration d'une convention, c'est souvent pour protéger «leurs ressources» des exploitants extérieurs. Mais, dès lors qu'elles comprennent que les règles établies leur sont également applicables, elles ne sont plus toujours prêtes à jouer le jeu. La non-rémunération des organes de gestion des conventions, le manque d'appui des autorités administratives, la juxtaposition de nombreuses conventions locales, la précarité des mécanismes de suivi sont autant de facteurs qui entravent le succès des conventions locales. Nonobstant ces contraintes, les conventions locales constituent un outil privilégié de gestion rationnelle des ressources naturelles. L'exemple de la convention locale concernant la gestion de la forêt de Dentaka à Youwaourou, commune de Déboye peut être pris. Les objectifs de cette convention sont : la régénération de la forêt, l'organisation du pâturage, la protection des ressources forestières et fauniques. Cette convention se base sur des accords oraux entre les populations de Youwaourou jusqu'à l'arrivée de l'UICN (Gawler and Bérédogo 2002). L'UICN a apporté un appui aux communautés en améliorant et formalisant ce qui existait. En 2001, fut créée l'Association pour la promotion et la protection de la forêt de Dentaka (NEEMA). Au sein de l'association, il y a un comité et une brigade de surveillance qui agit sur le terrain. La période et les conditions d'accès aux ressources pastorales dans la forêt, ainsi que le nombre de troupeaux, sont déterminées et communiquées par l'Association chaque année.

Le Tableau V-11 résume les pratiques de gestion préconisées pour la gestion durable des ressources du DIN.

**Tableau V-11.** Pratiques de gestion et incitations économiques pour la gestion durable des écosystèmes du delta intérieur du fleuve Niger

Secteur	Stratégies				
	Sécurisation et maîtrise de l'eau	Intensification	Régénération des espaces dégradés	Incitation économique	Renforcement des capacités
<b>Agricole</b>	Aménagement : -Périmètres et casiers rizicoles -Périmètres maraîchers et fruitiers	-Irrigation -Fertilisation -Mécanisation -Semences améliorées -Riz pisciculture -Agroforesterie	-Reboisement  -Mise en défens	-	-Formation  -Organisation et opérationnalisation des organisations paysannes
<b>Elevage</b>	-Création de puits pastoraux -Périmètres irrigués pastoraux	-Bourgouculture -Déstockage -Embouche	-Reboisement -Mise en défens -Repiquage du bourgou et du vétiver	- Accords environnementaux volontaires -Redevances d'utilisation	-Crédit

			-Droit d'utilisation	
<b>Pêche</b>	-creusement de mares artificielles	-Pisciculture -Rizipisciculture	-Reboisement	- Accords environnementaux volontaires
	-Surcreusement de mares et chenaux existants		-Mise en défens -empoissonnement des mares	-Redevances d'utilisation -Obligation de performance
<b>Forêt</b>	-		-Reboisement	- Accords environnementaux volontaires
			-Mise en défens	-Redevances d'utilisation -Subvention environnementales

### Conclusion partielle

Le principal impact des changements climatiques est la baisse des apports en eaux dans le DIN et la baisse de la productivité du milieu. L'augmentation de la productivité des trois systèmes de production est un moyen pour diminuer les pressions sur les ressources. L'augmentation de la productivité passe par des pratiques de sécurisation et de maîtrise de l'eau, puis d'intensification. Les pratiques de régénération sont un moyen de restaurer les espaces déjà dégradés. Le grand défi reste la réglementation de l'usage des écosystèmes du DIN. Les principaux comportements néfastes à la durabilité des ressources du DIN sont : le défrichement des forêts à des fins agricoles et énergétiques, le surpâturage, le défrichement des espaces pastoraux, la surpêche, l'adoption de pratique et outils de pêches néfastes. Les incitations économiques demeurent un moyen pour encourager la gestion rationnelle et celles sélectionnés sont les accords environnementaux volontaires, les redevances d'utilisation, les obligations de performance, le droit d'utilisation et la subvention environnementale.

Les IE retenus pour l'adoption de pratiques durables existent déjà sur le terrain. En effet, au Mali spécifiquement dans le DIN, l'Etat a posé les bases de la réglementation des ressources naturelles en y incluant divers IE, notamment les droits d'utilisation, les redevances d'utilisation, les obligations de performances et a laissé la place aux initiatives locales de gestion rationnelle. La faiblesse de l'effectivité de ces instruments réside dans le flou juridique entourant le foncier, le manque de moyens financiers et logistiques des collectivités territoriales, la mentalité des populations, la superposition de la législation moderne aux règles traditionnelles encore en vigueur. Néanmoins, ces obstacles peuvent être levés par la

sensibilisation des populations sur les textes et lois en vigueur, et un renforcement du système de gouvernance. Le succès de ces instruments repose d'abord sur la sécurisation et la clarification du foncier-environnement tel que défini par Barrière & Barrière (1995), relevant de l'espace et de la ressource. Le transfert des compétences aux collectivités territoriales doit être également effectif pour une gestion efficace à l'échelle locale. Il convient de rappeler qu'en matière de décentralisation, le transfert de ressources, tant humaines, matérielles que financières devrait être concomitant à celui des compétences (Djiré and Delville 2012). Pour pallier aux manques des moyens logistiques et financiers, les collectivités peuvent bénéficier des appuis des partenaires techniques et financiers. Cependant, il faut se rappeler que certaines aides et subventions ont été suspendues pendant la crise de 2012. Il est donc important pour les collectivités d'obtenir l'indépendance financière et cela passera par la perception effective de toutes les taxes et redevances.

Les changements climatiques étant le principal facteur qui mine la productivité du milieu, il est important d'anticiper ses impacts et cela par les prévisions climatiques. Dans un système d'exploitation au rythme de la crue comme le delta, nous présentons dans le chapitre suivant les perceptions et les besoins en information climatique des usagers.



## **Chapitre VI. Perception des prévisions climatiques et besoins en information climatique dans le delta intérieur du fleuve Niger**

### **Introduction**

Les scénarios climatiques prévoient des évolutions lourdes du climat. En effet d'après le 5ème rapport du GIEC (2013), il y aura une augmentation probable des températures, de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes dans les régions sahéliennes. On doit également s'attendre à une réduction du débit des fleuves vu l'accroissement du taux d'évaporation en conjonction avec la hausse des températures. Faire face à l'incertitude inhérente au climat est un défi pour les agriculteurs africains qui doivent s'adapter aux impacts de la variation climatique grâce à des semences améliorées, des champs plus productifs et des calendriers agricoles plus appropriés (Meza *et al.* 2008). Des mesures sont nécessaires pour atténuer la vulnérabilité à l'incertitude climatique. Les prévisions climatiques saisonnières ont été promues comme un moyen de renforcer la résilience des populations africaines (Ziervogel Gina 2004). La notion derrière les prévisions climatiques comme outils de gestion des risques est que les producteurs peuvent utiliser cette information pour adapter leurs stratégies de production de manière à se prémunir contre les risques de pertes économiques ou capitaliser sur les opportunités associées à la variabilité du climat (Crane *et al.* 2011). Plusieurs auteurs ont étudié les potentialités des prévisions climatiques en tant qu'outil approprié pour réduire les risques encourus par les agriculteurs en Afrique subsaharienne (Hulme *et al.* 1992, Jones *et al.* 2000, Kirshen and Flitcroft 2000, Ingram *et al.* 2002, Vogel and O'Brien 2006, Roncoli *et al.* 2009, Cooper and Coe 2011, Hansen *et al.* 2011) et si l'information climatique est utile (Hansen 2002, Sultan *et al.* 2005a, 2008, Hansen *et al.* 2006, Marteau *et al.* 2011, Roudier *et al.* 2011). Mais peu d'auteurs ont mis l'accent sur les besoins et l'utilisation des prévisions climatiques dans les zones humides, même si elles ne couvrent qu'entre 4,7 et 6% de l'Afrique subsaharienne (Lehner and Döll 2004) mais les plaines inondées saisonnières soutiennent l'agriculture, la pêche et l'élevage (Adams 1993). Dans ce chapitre, nous présentons les besoins en informations climatiques des populations du delta intérieur du fleuve Niger (DIN). Nous présenterons d'abord les types de prévisions climatiques et les modes de diffusion de l'information climatique au Mali, ensuite une analyse des perceptions des prévisions climatiques et des besoins spécifiques des principaux utilisateurs du DIN, puis leurs sources d'informations climatiques et enfin leurs stratégies d'adaptation en fonction de l'information reçue.

## **I- Collecte et analyse des données**

Une synthèse préalable a été faite sur la production et la dissémination de l'information climatique au Mali sur la base d'une revue bibliographique. Une enquête de terrain a permis de recueillir les données sur les perceptions des prévisions et les besoins en information climatique. L'enquête s'est basée sur des questionnaires individuels (Annexe 3) adressés à un échantillon des trois communes Diafarabé, Dialloubé et Déboye (Voir Figure V-1, Chapitre V). Les populations enquêtées ont été choisies sur la base d'un échantillonnage raisonné. Les critères pour le choix des villages étaient qu'ils soient encore soumis aux inondations saisonnières.

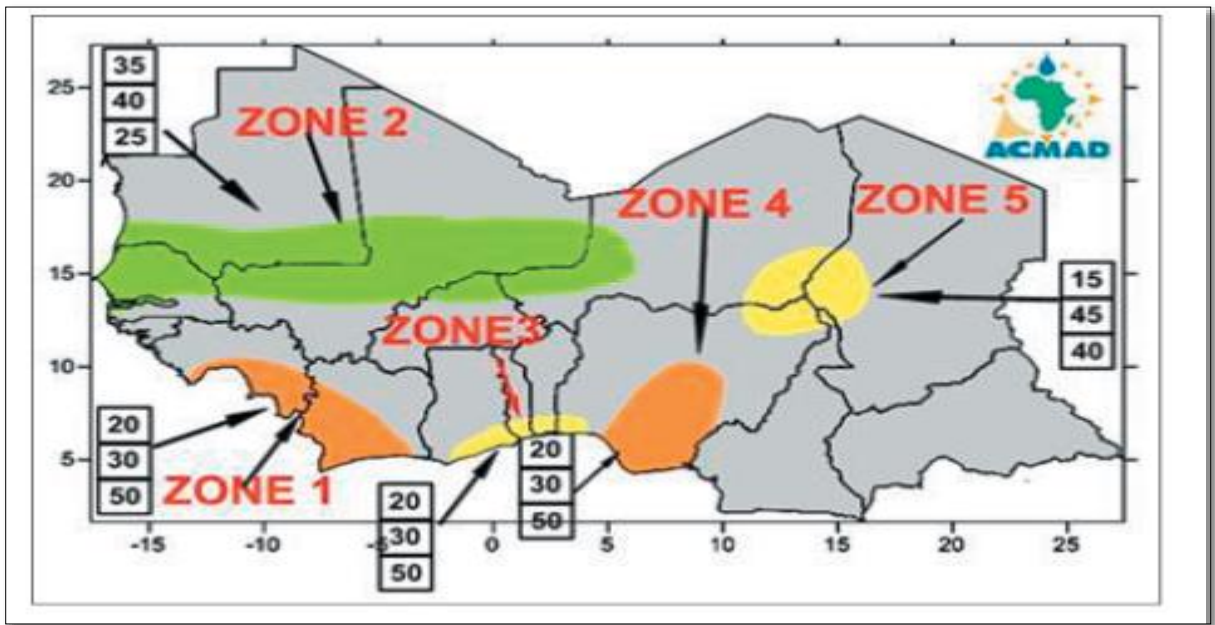
## **II- Types de prévision climatique et dissémination de l'information au Mali**

Les informations de cette section proviennent essentiellement du rapport technique sur les services météorologiques maliens de l'USAID (2004).

Au Mali, la Direction Nationale de la Météorologie (DNM) produit des prévisions quotidiennes de température, de vent et de précipitations ; elle indique de plus les heures de lever et de coucher du soleil. Ces informations sont diffusées trois fois par jour en français et dans les dialectes locaux.

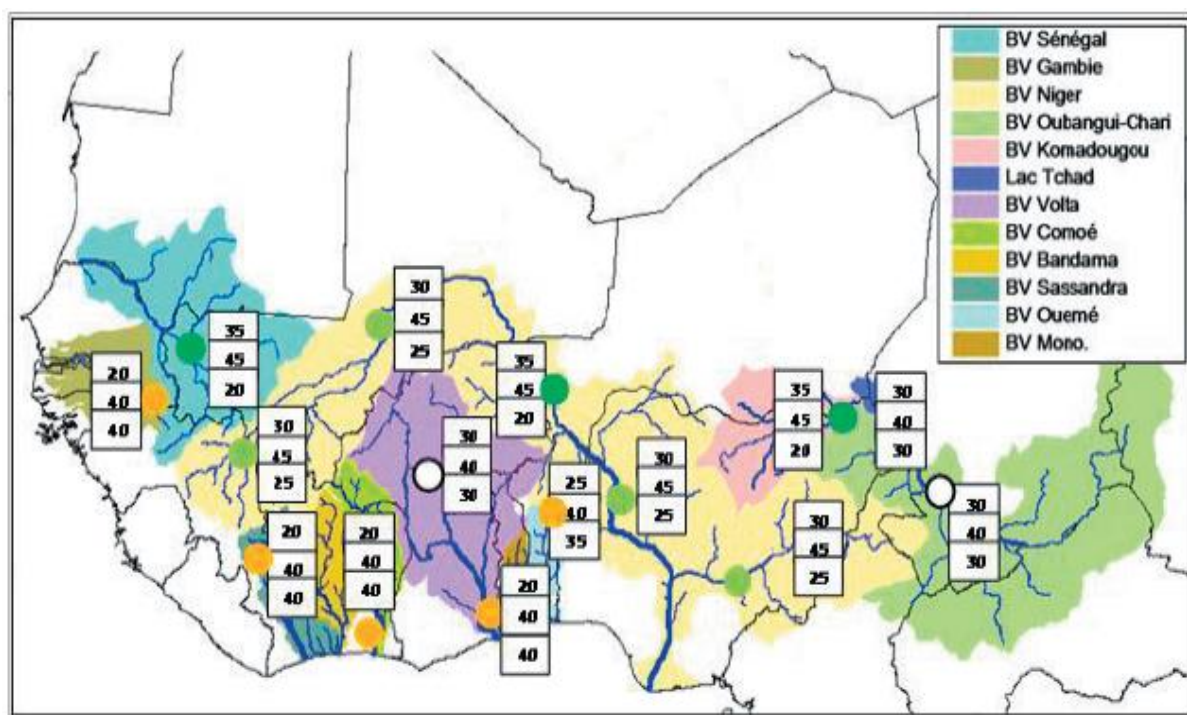
La DNM fournit également des prévisions de température et de précipitations hebdomadaires avec un accent sur les événements météorologiques extrêmes et modérés. Les prévisions de précipitations saisonnières ont commencé au Mali en 1987 en réponse à la demande des populations. Pour fournir ces informations, la DNM exploitait les prévisions expérimentales de l'UK Met Office pour le Sahel issues des travaux de Folland et al. (1986). Cependant les prévisions semblaient peu fiables. Après une décennie, il est apparu un mécanisme concerté de la prévision saisonnière à l'échelle régionale puis déclinée à l'échelle du pays par la DNM. En 1998, l'ACMAD (African Center for Meteorological Application for Development) en collaboration avec divers partenaires (CILSS, ABN, ICRISAT) ont initié le forum sur les Prévisions Saisonnières en Afrique de l'Ouest (PRESAO). Chaque année, le PRESAO réunit des chercheurs, des professionnels de différents secteurs (agriculture, eau, santé, environnement, etc.) et des décideurs pour la production de l'information climatique saisonnière en Afrique de l'Ouest. Les prévisions saisonnières sont basées sur l'analyse de l'influence de la température de la surface de la mer sur la circulation atmosphérique en utilisant des modèles climatiques et des méthodes statistiques de prévision. Le PRESAO

produit un bulletin d'information régulier avec les prévisions saisonnières des précipitations et des écoulements des grands fleuves de la sous-région. Les prévisions de précipitations pour la période Juillet-Août-Septembre ainsi que l'hydraulicité du fleuve sont présentées sous forme de probabilités. Sur des cartes il est attribué par région (Figure VI-1), trois probabilités P1, P2 et P3 correspondant aux catégories pluvieuses, normale et sèche avec  $P1 + P2 + P3 = 100\%$  (Bouali 2009).



**Figure VI-1.** Prévion des précipitations pour la période de Juillet-Aout-Septembre (PRESAO 2015) - probabilités correspondant aux catégories « pluvieux », « normal » et « sec » (resp. haut, milieu, bas du cadre)

Trois critères sont utilisés pour déterminer les prévisions de débit des fleuves: forte, moyenne ou faible hydraulicité. Sur les cartes de prévisions hydrologiques, il est également associé par région des probabilités P1, P2 et P3 correspondantes aux critères : forte, moyenne et faible hydraulicité (illustration Figure VI-2). La somme des trois probabilités étant égale à 100%.



**Figure VI-2.** Prédiction des écoulements sur les principaux bassins fluviaux de l’Afrique de l’Ouest pour la saison des pluies (PRESAO 2015) - probabilités correspondant au critère : forte, moyenne et faible hydraullicité (resp. haut, milieu et bas du cadre)

Des informations supplémentaires sur le début et la fin de la saison des pluies (précoce, normal ou tardif) et sur les périodes de sécheresse (longue, normale ou courte) sont mentionnées dans le bulletin. Ces informations sont diffusées par les Services Nationaux Météorologiques de chaque pays membre. Les services météorologiques du Mali, en collaboration avec le Service National de l’Agriculture et l’appui de l’AGRHYMET, utilisent ces informations pour établir un calendrier culturel qui est diffusé aux ruraux. Aussi, les prévisions saisonnières exprimées en terciles sont converties en prévisions qualitatives (bonne, moyenne ou mauvaise) avant diffusion. En marge de cela il existe un système de suivi agro-hydro-météorologique du monde rural. Tous les 10 jours, pendant la saison des pluies, se réunit un groupe de travail pluridisciplinaire chapeauté par la DNM. Ce groupe analyse les données météorologiques, hydrologiques, satellitaires ainsi que des données sur les cultures et les pâturages et fournit un bulletin d’information agro-hydro-météorologique. Ce bulletin fait état de la situation météorologique, pluviométrique et des cours d’eau, leur impact sur les cultures et les pâturages ainsi que les perspectives pour les 10 prochains jours. Le bulletin est diffusé par la Radio Nationale, et par courrier à l’intention des décideurs, responsables agricoles et partenaires au développement.

Ces informations produites ciblent surtout les producteurs dont les activités dépendent de la pluviométrie locale et rarement les producteurs du DIN dont les activités ne dépendent pas

seulement de la saison des pluies locales mais aussi de la dynamique hydrologique des fleuves. Ainsi à l'échelle du DIN, un outil a été développé pour fournir des prévisions sur les crues.

OPIDIN<sup>13</sup> (Outil de Prédiction des Inondations dans le Delta Intérieur du Niger) a été développé en 2009 par Wetland International en partenariat avec Royal Haskoning et Altenburg & Wymenga Ecological Consultants. C'est un modèle qui permet de prédire la période où la crue atteindra son pic, la côte correspondante et l'étendue de l'inondation et le processus de décrue dans le DIN ; ce modèle utilise les mesures quotidiennes des niveaux d'eau réalisées par la Direction Nationale de l'Hydraulique (Zwarts 2009). Les informations sont fournies à partir du mois d'août et deviennent précises en septembre. Bien que l'outil fournisse des prévisions de l'inondation de tout le DIN, les informations sur les pics de crue ainsi que leurs dates de passage ne concernent que Mopti et Akka. Au stade expérimental jusqu'en 2012, OPIDIN est maintenant fonctionnel mais peu vulgarisé.

### **III- Analyse des perceptions de la prévision climatique et les besoins spécifiques des populations du delta intérieur du fleuve Niger**

#### **1. Description de l'échantillon enquêté**

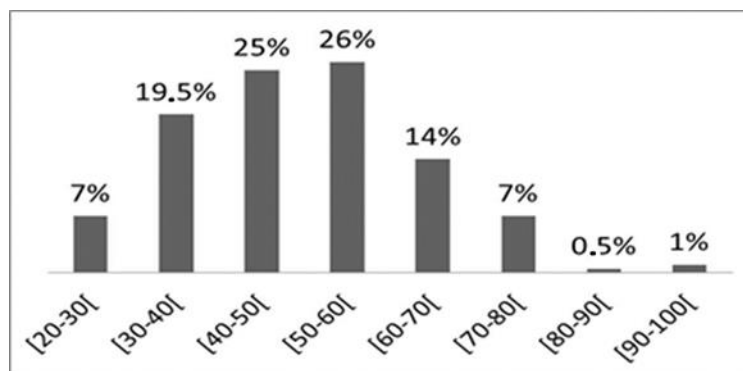
La répartition initiale de l'échantillon à enquêter a été légèrement modifiée car certains n'étaient pas disponibles et certaines fiches d'enquêtes étaient inutilisables. La distribution définitive des répondants est résumée dans le Tableau VI-1.

**Tableau VI-1.** Répartition de l'échantillon selon les groupes socio-professionnels et la municipalité.

<b>Communes</b>	<b>Agriculteurs</b>	<b>Eleveurs</b>	<b>Pêcheurs</b>	<b>Total</b>
Deboye	21	24	21	66
Diafarabe	20	21	21	62
Dialloubé	31	22	14	67
<b>Total</b>	<b>72</b>	<b>67</b>	<b>56</b>	<b>195</b>

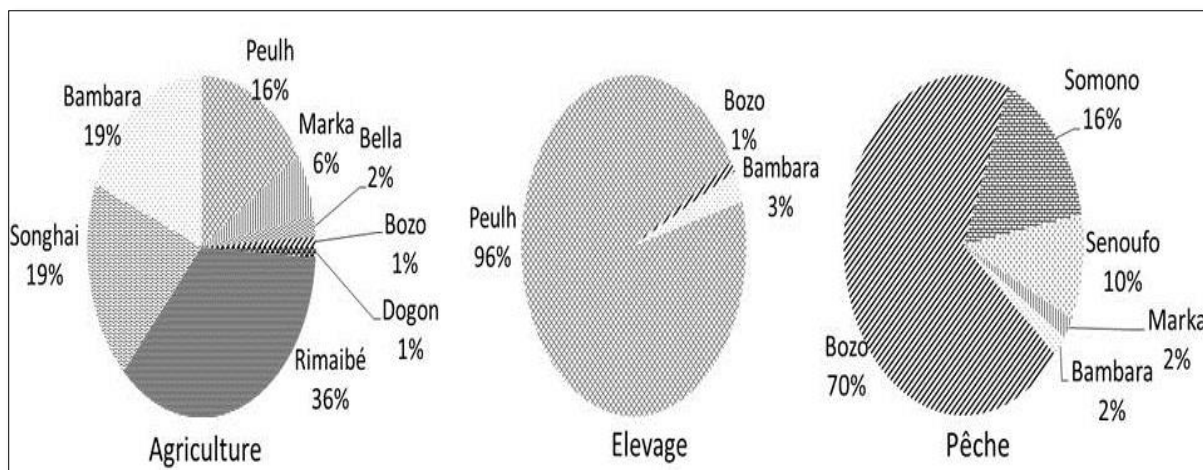
Les populations enquêtées ont une tranche d'âge comprise entre 21 et 93 ans avec une moyenne de 50 ans. La Figure VI-4 présente la répartition des effectifs selon les tranches d'âge.

<sup>13</sup> <http://www.opidin.org/fr/>



**Figure VI-3.** Tranche d'âge des enquêtés

Dans un environnement en perpétuelle mutation comme celui du DIN, les  $\frac{3}{4}$  des enquêtés ont au minimum 40 ans. Ils ont donc un vécu par rapport à leur milieu car ils jouissent de nombreuses années d'expérience. La Figure VI-4 présente la répartition ethnique des enquêtés par activité principale.

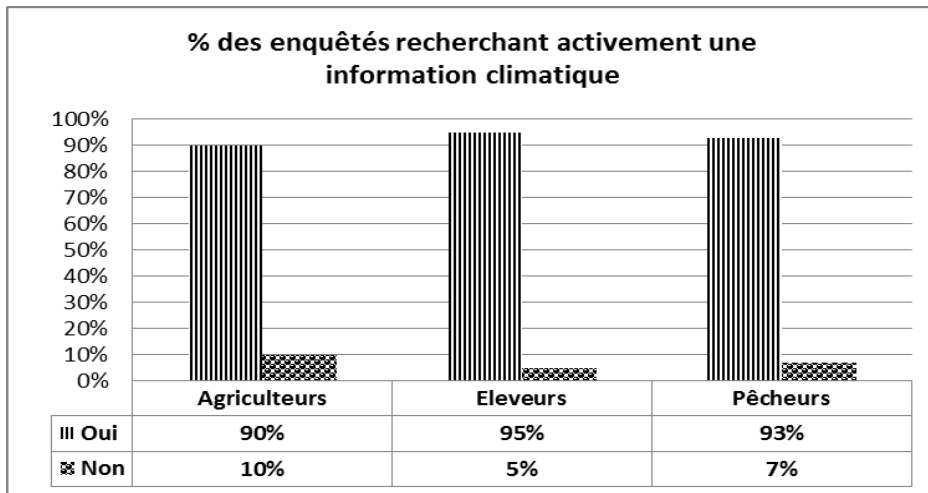


**Figure VI-4.** Répartition ethnique par groupe socio-professionnel

La majorité des agriculteurs sont Rimaibé, Bambara et Songhaï, les éleveurs Peuls et les pêcheurs Bozo. Cette répartition est voisine de celles de travaux anciens et récents (Gallais 1962, Crane *et al.* 2011).

## 2. Information climatique : perception et besoin spécifique

Pour les enquêtés, la prévision climatique est l'information fournie à l'avance concernant le climat et les états de la nature. La Figure VI-5 résume la fraction des enquêtés qui recherche activement à l'avance une information climatique.



**Figure VI-5.** Fraction des enquêtés recherchant à l'avance une information climatique

En moyenne, 93% des enquêtés recherchent activement une information climatique, les autres ne le faisant pas pour des raisons religieuses. La grande partie des enquêtés qui recherche activement une information climatique le justifie par le fait que cela leur permet d'organiser leur travail et de prendre des dispositions importantes en fonction de la qualité de la saison. La notion de qualité se réfère à la productivité des ressources naturelles et peut varier d'un groupe socio-professionnel à l'autre. Le besoin en information climatique diffère aussi avec l'organisation d'activités en fonction du rythme des inondations.

#### *a. Perception des agriculteurs*

Pour les agriculteurs enquêtés, la qualité de la saison est dépendante de la date de début des premières pluies, la date d'arrivée de la crue et les hauteurs d'eau qui conditionnent les superficies totales inondables. Pour eux, une bonne crue est tardive, haute et longue. La notion de crue tardive se rapporte au démarrage de la saison de pluie. Les premières pluies permettant le labour des terres et le semis du riz, une crue tardive doit donc arriver après les premières pluies après un délai de deux semaines. Une crue précoce par rapport au démarrage des saisons de pluie locale entraîne un risque de submersion des rizières et une crue très tardive provoquera l'assèchement ; une crue haute peut permettre l'inondation du maximum de superficie inondable ; une crue longue peut permettre aux plants de boucler leur cycle végétatif.

Par conséquent, en termes de prévision, les informations climatiques nécessaires et utiles pour les agriculteurs sont :

- date de démarrage de la saison hivernale (pluies)
- date d'arrivée de la crue

- durée de submersion

#### ***b. Perceptions des éleveurs***

La définition des éleveurs enquêtés d'une bonne crue est similaire à celle des agriculteurs. Les éleveurs définissent également la qualité de la crue en fonction de la date de démarrage de la saison des pluies, la date d'arrivée et la hauteur de la crue. Les premières pluies favorisent la régénération du bourgou, qui continue à se développer avec la montée des eaux. Les crues hautes conduisent à une inondation de zones de pâturages plus vastes. Bien que les agriculteurs et les éleveurs aient une définition similaire d'une bonne crue, leur besoin en information climatique diffère. Les activités pastorales dépendent du retrait des crues des plaines inondées ou la décrue. Les informations climatiques utiles pour les éleveurs sont :

- les dates de passage du maximum de crue (amorçage de la décrue)
- les hauteurs maximales de crue (permettant d'estimer la productivité des pâturages)

#### ***c. Perception des pêcheurs***

Pour le pêcheur enquêté, une bonne campagne de pêche est fonction de l'étendue des plaines inondées et donc de la hauteur de la crue qui permettra la mise en eau des mares et des lacs. Une bonne crue doit être également longue pour permettre l'accroissement de la ressource halieutique. Implicitement une bonne campagne de pêche est également fonction de l'hivernage car la productivité des pâturages qui constituent les zones de frayères et de la nourriture pour les poissons, en dépendent.

Tout comme l'éleveur, le pêcheur entame ses activités dès la décrue, au moment où les poissons auparavant dispersés dans les plaines migrent vers les bras des fleuves, les mares et les lacs et deviennent facilement capturables. Les informations utiles sont :

- les dates de passage du maximum de crue
- les hauteurs maximales de crue

En résumé, pour les trois activités principales, une bonne crue est synonyme d'une crue haute, longue en durée de submersion des plaines et tardive par rapport au début de la saison des pluies.

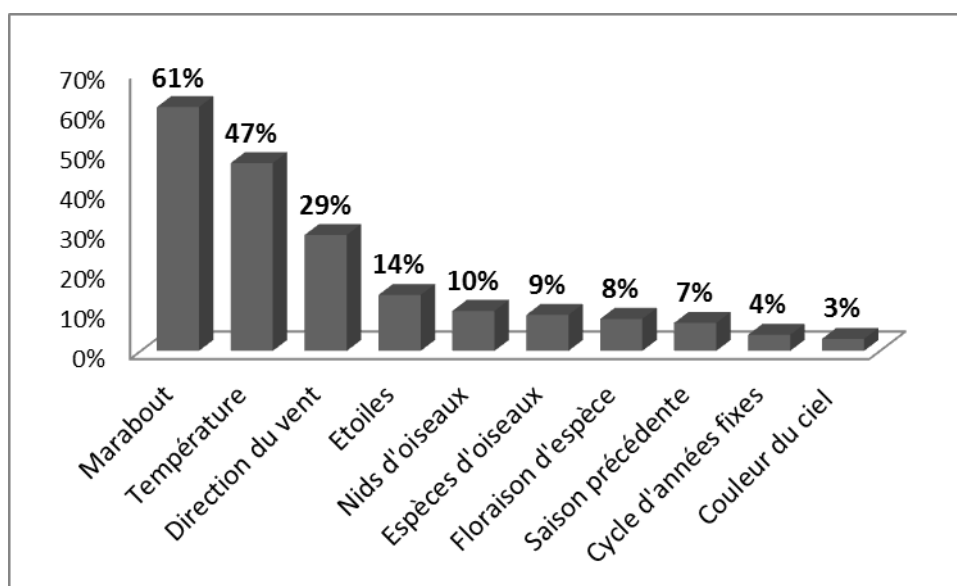


### 3- Analyse des sources de la prévision climatique

Dans le DIN, deux sources de prévision permettent aux enquêtés d'obtenir l'information climatique: la prévision traditionnelle basée sur des observations et des prévisions modernes basées sur l'analyse de données météorologiques.

#### a. Sources traditionnelles

Les enquêtés utilisent une combinaison de sources traditionnelles pour prédire le climat. La Figure VI-6 résume les différentes sources ainsi que la fraction des enquêtés qui y ont recours.



**Figure VI-6.** Sources traditionnelles utilisées et fraction des enquêtés ayant recours

L'interprétation faite des facteurs environnementaux par les enquêtés pour prédire le climat est résumée dans le Tableau VI-2. Une distinction est faite entre l'état de la saison des pluies et des crues.

**Tableau VI-2.** Interprétation des facteurs environnementaux par les enquêtés pour prédire la saison de pluie et de la crue

Facteurs clés	Interprétation faite pour prédire la saison des pluies locale	Interprétation faite pour prédire l'état de la crue
<b>Température</b>	Le froid intense en Décembre-Janvier suivie par une chaleur intense en Avril-mai est un signe d'une saison des pluies humide.	-
<b>Direction du vent</b>	Des vents intenses pendant la saison froide ou qui soufflent majoritairement du sud vers le nord ou de l'ouest vers l'est sont des signes d'une saison des pluies humide.	-

<b>Etoiles</b>	L'apparition de l'étoile "Bawgaladjé" dans le nord est synonyme d'une saison des pluies sèche. Si la descente de l'étoile "Njinabè" est accompagnée par le vent alors la saison des pluies sera humide. L'apparition de certaines étoiles avant les pluies est annonciatrice d'une saison des pluies humide.	L'état de la crue dépend de la luminosité de l'étoile Aldjira.
<b>Nids d'oiseaux</b>	Si l'ouverture du nid est dirigée vers le ciel, alors les pluies se feront rares. Si l'ouverture fait face au sol, alors les pluies seront abondantes	L'interprétation est fonction du niveau des nids sur les arbres près des cours d'eau ou des berges. Si les nids sont perchés très haut alors la crue sera haute et s'ils sont bas alors la crue sera basse.
<b>Espèces d'oiseaux</b>	Les cigognes annoncent l'arrivée de l'hivernage. Si elles construisent leurs nids dans le feuillage et non au-dessus, alors l'hivernage sera bon. Il y a également une espèce saisonnière d'oiseau appelé "banikoro" dont l'apparition en nombre est un indicateur d'un bon hivernage. Le déplacement massif des manges-mil d'ouest en est présage un bon hivernage. Si les éperviers sont très nombreux vers le mois de mai alors l'hivernage sera sec.	-
<b>Floraison d'espèces</b>	Le rônier est un grand arbre dont les fruits sont rares. Si il produit beaucoup de fruits, la saison des pluies suivante sera humide. Si l'arbuste "guiguilé" produit beaucoup de fruits en Mai-Juin, la saison des pluies est susceptible d'être humide.	-
<b>Cycle d'année fixe</b>	Il existe un cycle d'années fixes qui alterne entre années sèches et humides. Certains affirment que ce cycle est de 7 ans et d'autres de 40 ans.	-
<b>Couleur du ciel</b>	Si le ciel est fréquemment couvert (ciel nuageux) en saison sèche, alors l'hivernage sera humide.	-
<b>Saison précédente</b>	-	Si la décrue de la saison précédente a été rapide et que l'étiage a été très sévère alors la crue sera haute la saison suivante.

Le marabout est la source traditionnelle la plus utilisée par les enquêtés pour avoir une idée sur la saison pluvieuse et de la crue. Le marabout est une figure religieuse en mesure de prédire des événements futurs, tels que la qualité de la saison des pluies et les inondations.

Outre les facteurs résumés dans le Tableau VI-2, les populations s'informent sur les hauteurs d'eau en Guinée ou dans des villages en amont des leurs et estiment l'arrivée de la crue dans

leur localité. En sus, suite à l'apparition de l'étoile 'datioui' à l'est, la crue s'amorce généralement 3 jours après.

Les interprétations faites des états de la nature sont discutées en famille, entre groupes socio-professionnels ou entre amis et s'acquiert donc facilement par le canal du 'bouche à oreille'.

Ce mode de prévision traditionnel est un savoir qui se transmet de génération en génération. 97% de ceux qui recherchent activement une information climatique affirment qu'ils utilisent les mêmes sources traditionnelles que leurs pères pour prédire le climat.

Outre les informations climatiques d'ordre traditionnelles, les enquêtés reçoivent des informations dites modernes.

#### ***b. Sources modernes***

Presque tous les enquêtés (98%) affirment recevoir des informations climatiques modernes par le biais de la radio, la télé, les groupements villageois, les techniciens de l'Etat. Ces informations circulent ensuite par le canal du 'bouche à oreille'. La nature des informations transmises portent sur:

- la qualité de l'hivernage.
- les températures au jour J et J+1
- les précipitations au jour J-1, J et J+1
- la direction et la vitesse du vent du jour J
- la hauteur d'eau du jour J

Parmi les personnes qui ont accès à l'information moderne, 89% l'utilisent et 11% ne le font pas parce qu'ils considèrent ces informations peu exactes. L'exactitude de l'information est également remise en cause par 47% des répondants qui l'utilisent.

Les participants qui reçoivent des informations climatiques (traditionnel et / ou moderne), essaient d'adapter leur système de production.

### **IV- Prévisions climatiques et stratégie d'adaptation**

#### **1. Adaptation des pratiques culturelles**

98% des agriculteurs enquêtés adaptent leurs pratiques culturelles, en particulier les techniques et moyens mobilisés, l'emplacement et la taille des champs, la préparation du sol et des périodes de semis. Si une arrivée précoce des crues est annoncée, alors les labours et les semis

seront réalisés également de façon précoce (mai/juin). Par contre si l'arrivée est annoncée tardive, alors les semis seront tardifs (juin/juillet). Le Tableau VI-3 résume les réponses adoptées en fonction de la prévision de hauteur et de durée de la crue.

**Tableau VI-3.** Adaptation des pratiques culturales en fonction de la prévision de la qualité de la crue (hauteur et durée de submersion)

	<b>Longue crue</b>	<b>Courte crue</b>
<b>crue haute</b>	Mise en valeur de <b>grandes</b> surfaces	Mise en valeur de <b>grandes</b> surfaces
	Choix de variétés <b>tardives</b>	Choix de variétés <b>hâtives</b>
	Prédilection pour les zones <b>hautes</b>	Prédilection pour les zones <b>hautes</b>
	Prévision de <b>pirogue</b> pour la récolte	Prévision de <b>pirogue</b> pour la récolte
<b>crue basse</b>	Mise en valeur de <b>petites</b> surfaces	Mise en valeur de <b>petites</b> surfaces
	Choix des variétés <b>tardives</b>	Choix des variétés <b>hâtives</b>
	Prédilection pour les zones <b>basses</b>	Prédilection pour les zones <b>basses</b>
	Récolte à <b>piéd</b>	Récolte à <b>piéd</b>

En cas de crue haute, l'augmentation des superficies cultivées implique une grande mobilisation de moyens techniques et humains. Une main-d'œuvre supplémentaire est employée et le nombre de bœufs pour le labour est revu à la hausse.

## 2. Adaptation des pratiques pastorales

Les prévisions climatiques influencent les pratiques de 83% des pasteurs enquêtés. Elles influencent la période d'entrée des animaux dans le DIN, la gestion du nombre et le traitement sanitaire. Le Tableau VI-4 résume les stratégies employées en fonction de la prévision de hauteur et de durée de la crue.

**Tableau VI-4.** Adaptation des pratiques pastorales en fonction de la prévision de la qualité de la crue (hauteur et durée de submersion)

	<b>Longue crue</b>	<b>Courte crue</b>
<b>crue haute</b>	Entrée tardive dans le DIN	Entrée <b>précoce</b> dans le DIN
	Traitement et surveillance <b>sanitaire</b>	<b>Surveillance</b> accrue pour éviter l'empiétement des rizières
	<b>Embouche</b>	
<b>crue basse</b>	Entrée <b>tardive</b> dans le DIN	Entrée <b>précoce</b> dans le DIN
	<b>Stockage</b> du fourrage	<b>Surveillance</b> accrue pour éviter l'empiétement des rizières
	<b>Achat</b> d'aliment	<b>Stockage</b> du fourrage
	Gestion du <b>nombre</b>	<b>Achat</b> d'aliment
		Gestion du <b>nombre</b>

La gestion concerne le choix du nombre et du type d'animaux qui resteront dans le DIN au lieu de prendre part à la transhumance vers les pâturages des terres arides. Généralement, ce sont les vaches laitières et quelques animaux de trait. Si la crue est prévue faible, donc avec une production moindre des pâturages, alors le nombre des animaux à garder dans les villages est réduit.

La sortie des animaux du DIN est conditionnée par l'arrivée de la crue. Si la saison des pluies est précoce et que la crue vient tôt également, alors la sortie des animaux du DIN est précoce. La sortie est tardive si la crue vient tardivement.

### 3. Adaptation des pratiques de pêche

96% des pêcheurs enquêtés changent leurs pratiques en fonction des prévisions climatiques. Les changements influencent surtout la période démarrage de la saison de pêche, les engins et l'effort de pêche puis le choix des pêcheries. Le Tableau VI-5 précise les réponses adoptées en fonction de la prévision.

**Tableau VI-5.** Adaptation des pratiques de pêche en fonction de la prévision de la qualité de la crue (hauteur et durée de submersion)

	<b>Longue crue</b>	<b>Courte crue</b>
<b>crue haute</b>	Démarrage <b>tardif</b> des activités Achat de filet et de pirogues	Démarrage <b>précoce</b> des activités Prédilection pour les <b>mares</b> , les <b>bras du fleuve</b> et les <b>lacs centraux</b> (Débo-Wallado)
<b>crue basse</b>	Démarrage <b>tardif</b> des activités Augmentation de l' <b>effort de pêche</b> Utilisation des filets à <b>petites mailles</b> Prédilection pour les <b>bras du fleuve</b> et les <b>lacs centraux</b>	Démarrage <b>précoce</b> des activités Augmentation de l' <b>effort de pêche</b> Utilisation des filets à <b>petites mailles</b> Prédilection pour les <b>bras du fleuve</b> et les <b>lacs centraux</b>

Les bonnes années, les pêcheurs acquièrent de nouveaux engins de pêche pour maximiser la campagne. Les mauvaises années, ils réparent uniquement les anciens afin de les réutiliser. Les crues basses qui ne permettent pas le remplissage des lacs périphériques par effet de seuil, conduisent à une préférence de lieux de pêche pour les bras du fleuve et les lacs centraux.

## V- Discussions

La prévision climatique est importante pour les utilisateurs du DIN car ils ont besoin de planifier leurs activités à l'avance en fonction de la prévision. Les perceptions des principaux

groupes socio-professionnels d'une 'bonne crue' peuvent sembler similaires, mais diffèrent lorsque l'on prend en compte la hauteur utile pour une bonne productivité. Par exemple, une hauteur de submersion de 1,5 à 2 m d'eau durant 5 mois est suffisamment haute et longue pour un agriculteur mais courte et basse pour un éleveur car le bourgou nécessite 6 à 8 mois de submersion à des hauteurs d'eau comprises entre 3 et 5 mètres. Cela peut conduire à des appréciations différentes de la même année hydrologique à la fin d'une campagne. En outre, en termes de résultats, une bonne saison peut dépendre des décisions préliminaires faites sur la base d'informations utiles sur le climat. Pour organiser leurs activités dans le temps et l'espace en fonction de la dynamique des crues, différentes informations spécifiques climatiques sont nécessaires pour les différents groupes socio-professionnels. Alors que les agriculteurs ont besoin de connaître la date de départ de la saison des pluies et d'arrivée de la crue pour choisir la date de semis, ainsi que la durée de submersion de la plaine pour choisir les variétés hâtives ou tardives, les éleveurs et les pêcheurs ont besoin de la date de passage du maximum de crue car les activités commencent à la décrue ainsi que de la hauteur maximale de la crue pour rassembler les moyens nécessaires pour la campagne.

La population du DIN utilise la prévision du climat depuis des générations pour faire face à la variabilité climatique. En témoigne l'usage des sources traditionnelles. Les sources locales de prévisions climatiques ont l'avantage d'être observées et interprétées localement. Mais les prévisions traditionnelles ont aussi quelques inconvénients. Les méthodes de prévision traditionnelles sont limitées dans le sens où elles permettent uniquement une évaluation qualitative de la saison et de la crue. L'appréciation d'une bonne ou mauvaise crue en utilisant des méthodes traditionnelles ne fournit pas assez d'informations sur les hauteurs d'eau probables que vont atteindre la crue. L'évaluation qualitative du climat par les méthodes traditionnelles ne peut pas optimiser le calendrier de travail parce qu'elles ne fournissent pas de renseignements utiles nécessaires pour les utilisateurs du DIN. Cette situation devrait inciter les usagers à recourir à des méthodes modernes de prévision climatique.

Mais, bien que les prévisions modernes soient plus précises, elles ont aussi leurs limites. Les prévisions saisonnières sont exprimées en trois probabilités, ce qui peut être problématique pour les utilisateurs locaux. Coe & Stern (2011) soulignent qu'en absence de prévision la probabilité d'une saison sèche est de 33% et avec une prévision cette probabilité varie entre 20 et 50% et jamais au-delà. Ils soulèvent ainsi une question fondamentale sur ce que peut changer un agriculteur sur la base de cette petite variation de probabilité. De plus, il n'est pas rare de lire sur un bulletin PRESAO que, pour une région donnée, l'année sera normale à

excédentaire mais que les probabilités sont faibles et qu'il faudra faire attention aux risques d'inondation et/ou au risque de déficit pluviométrique au cœur de la saison. Ces incertitudes compliquent clairement la prise de décision sur la base de telles prévisions (Sultan 2002). Cette situation peut expliquer pourquoi certains enquêtés soulèvent le fait que les prévisions modernes soient peu exactes. Cette remise en cause de l'exactitude des prévisions du PRESAO a été évoquée par Hamatan *et al.* (2004) qui montrent que les températures de surface de la mer jusqu'ici utilisées lors des PRESAO expliquent mal les précipitations en Afrique de l'Ouest. Pour améliorer les prévisions, ils préconisent l'usage d'autres prédicteurs comme les anomalies de températures de surface de la mer de la fenêtre 8°W-12°W/2°N-2°S.

Il y a également un problème de correspondance entre l'information climatique disponible et les besoins réels des usagers du DIN. Les prévisions climatiques expriment des quantités (cumul pluviométrique) plutôt que des paramètres temporels (Hansen 2002). Pour un même cumul pluviométrique saisonnier, le rendement d'une culture peut être très différent selon que la saison de mousson s'est installée tardivement ou non, selon qu'il y a eu des épisodes secs au sein de la saison ou non et selon que la mousson s'est terminée rapidement ou non (Sultan *et al.* 2008). Roncoli *et al.* (2003) ont montré que les agriculteurs dans les zones sèches perçoivent la pluie comme un processus et non comme une quantité, et pour les agriculteurs; une saison sèche signifie une plus courte saison des pluies plutôt que moins de précipitations. De même, dans une zone humide (ZH) comme le DIN, la perception d'une saison des pluies localement ne peut se dissocier du timing des crues du fleuve. Une saison sèche est celle qui démarrera après l'arrivée de la crue (installation tardive des saisons des pluies) ou celle qui ne permettra pas la germination du riz ou la régénération du bourgou avant l'arrivée de la crue.

Par ailleurs, les informations modernes évoquées par les enquêtés ne mentionnent aucune prévision sur l'état de la crue qui est le moteur de la productivité dans le DIN. Les besoins en information et prévision climatiques sont plus complexes dans les ZH comme le DIN que dans les zones non-humides. En effet, dans les zones non-humides, l'agriculture est essentiellement pluviale ou développée grâce aux aménagements hydroagricoles. La pêche est effectuée dans les points d'eau comme les barrages, les lacs et les mares. Les pâturages sont principalement constitués de prairies dont la productivité dépend de la pluviométrie locale. En revanche, les systèmes de production dans le DIN combinent la saison des pluies locale et les crues des fleuves car la crue est le moteur de la productivité. Ces systèmes de production pluvio-fluvial requièrent des prévisions tant sur la saison des pluies localement que sur les crues. En zone sèche, les variables les plus pertinentes pour la stratégie agricole sont le

démarrage et la fin de la saison des pluies ainsi que la distribution intra-saisonnière des pluies pendant la saison (Sultan *et al.* 2005b, Marteau *et al.* 2011). Dans les zones humides, les indicateurs les plus importants sont le début et la durée des inondations, ainsi que la date du passage du maximum de crue qui est un indicateur de la décrue. Il est vrai que le PRESAO fournit des informations sur les écoulements des grands fleuves dont le Niger mais comment un exploitant peut-il interpréter ou exploiter une prévision d'écoulement de faible ou de forte hydraulité ? Par contre les usagers savent interpréter des informations sur les hauteurs d'eau car ils savent par expérience les hauteurs qui permettent l'inondation des grandes superficies de rizières, de pâturages et les pêcheries. Ainsi, l'outil OPIDIN est susceptible de mieux aider les usagers du DIN car il fournit des prévisions de hauteur de crue et également des superficies maximales inondées pour une année hydrologique.

Les délais de fourniture des prévisions sont un paramètre qui affecte également leur utilisation (Bohn 2000, Orlove *et al.* 2004). Les informations préliminaires du PRESAO sont produites en mai et mises à jour tous les dix jours jusqu'à la fin de la saison (Septembre). Les informations d'OPIDIN sont produites à partir du mois d'août et ne deviennent précises qu'en Septembre. Pour les pêcheurs et les éleveurs du DIN, le timing des prévisions leur laisse une marge suffisante pour prendre les dispositions nécessaires parce que leurs activités commencent à la décrue en Novembre-Décembre. Mais pour les agriculteurs, dont les activités commencent avec les premières pluies (de mai à Juin), ce délai ne leur laisse pas assez de temps pour prendre des dispositions substantielles. Ingram *et al.* (2002) estiment que les agriculteurs tireront plus de profit de prévisions qui sont fournies au moins 1 mois, de préférence 2 mois, avant le début de la saison des pluies. Jones *et al.* (2000) suggèrent 3 à 6 mois.

En plus du timing des prévisions, d'autres paramètres peuvent influencer sur son utilisation parce que les stratégies d'adaptation des utilisateurs nécessitent des moyens et des droits d'accès. Par exemple, un agriculteur peut augmenter la taille de son champ ou le déplacer selon la prévision vers les hautes ou basses zones. Cela implique que l'agriculteur a une garantie des droits de propriété de chaque position et/ou il a les ressources nécessaires pour louer le champ nécessaire. De plus, pour augmenter la taille du champ, un agriculteur a besoin de plus de ressources pour préparer, surveiller et récolter la zone supplémentaire. De même, les éleveurs ont besoin d'avoir les moyens financiers pour l'achat de fourrage, pour traiter leur bétail et surveiller leur état de santé. Les pêcheurs ont aussi besoin de fonds pour acheter de nouveaux



engins de pêche en cas de bonne crue. On peut donc avoir accès aux informations climatiques sans nécessairement avoir les ressources pour s'adapter.

### **Conclusion partielle**

Les usagers des ZH notamment des plaines inondables comme le DIN ont des besoins en informations climatiques plus complexes que les usagers des zones sèches. Ces besoins se rapportent au système de production pluvio-fluvial et concernent les dates de démarrage des saisons de pluie localement, les dates d'arrivée de la crue, la date de passage du maximum et la hauteur maximale de crue. Les pluies locales influencent surtout la germination du riz et la régénération du bourgou. Les usagers du DIN s'appuient sur des méthodes traditionnelles de prévision ainsi que sur des prévisions des Services Nationaux Météorologiques. Ils adaptent leurs pratiques selon les prévisions climatiques. Par exemple, ces prévisions encouragent les agriculteurs à utiliser des techniques plus efficaces pour choisir, préparer et localiser leurs champs et décider quand semer. Pour les pêcheurs, l'adaptation est liée à la fois au moment où ils commencent la campagne de pêche, les engins, l'effort de pêche et le choix des pêcheries. Les éleveurs utilisent les prévisions pour décider de l'entrée et de la sortie des animaux du DIN, la gestion du nombre et le traitement sanitaire. Ces stratégies mettent en évidence l'importance de l'information climatique pour les utilisateurs. Il est important de fournir des prévisions qui sont à la fois accessibles et appropriées pour la compréhension de ces utilisateurs.

Par ailleurs, pour les trois principaux usagers, une bonne crue est haute, longue en termes de durée de submersion des plaines et tardive par rapport au démarrage de la saison des pluies.

La production agricole, piscicole et de l'herbe sont fonction des superficies en eau. Ainsi la hauteur de la crue qui fait référence au maximum que peuvent atteindre les niveaux d'eau a son importance, car elle détermine les superficies maximales inondées.

Les prévisions climatiques sont de plus en plus employées pour faire face à la variabilité du climat. Il paraît ainsi essentiel d'évaluer l'intérêt économique que peut avoir la prévision climatique et hydrologique dans une plaine inondable comme le DIN.

Dans le chapitre suivant nous simulons l'intérêt économique de la prévision dans le DIN.

## **Chapitre VII. Evaluation *ex ante* de l'impact de la prévision saisonnière et de la crue sur un système de riziculture traditionnel dans le delta intérieur du fleuve Niger**

### **Introduction**

Les prévisions climatiques (pluie et crue) peuvent aider les usagers des zones humides comme le delta intérieur du fleuve Niger (DIN) à adapter leurs pratiques aux évènements naturels futurs et ainsi minimiser leurs pertes. Certains usagers du DIN tiennent compte de l'information climatique reçue (Chapitre VI). L'objectif de ces prévisions est de réduire l'incertitude et augmenter la production et les revenus. Il y a cependant peu d'informations sur les potentiels avantages économiques que les usagers peuvent espérer des prévisions climatiques dans les zones humides de la planète. En attendant les évaluations *ex post*, les scientifiques peuvent simuler les impacts économiques *ex- ante* par la modélisation en couplant le fonctionnement des phénomènes biophysiques, climatiques et hydriques avec les comportements socioéconomiques (Vogel 2000). Pour quantifier cette valeur économique de l'information climatique, un modèle hydro-économique basé sur la programmation mathématique a été élaboré pour simuler l'impact probable de la prévision sur un système de production agricole.

Nous avons choisi un système à dominante rizicole car c'est dans ce type de système que les décisions peuvent être prises avant l'occurrence des évènements climatiques ou hydriques (relatifs à la crue). Les autres systèmes de production du DIN, à savoir la pêche et l'élevage, démarrent leurs activités au moment où les évènements climatiques se sont déjà réalisés (voir chapitre précédent) et ne bénéficient donc que très peu d'éventuelles prévisions.

Les modèles basés sur la programmation mathématique ont déjà été utilisés pour estimer la valeur de l'information climatique (Cocks 1968, Hazell *et al.* 1986, Adams *et al.* 1995, Jones *et al.* 2000, Letson *et al.* 2005, Sultan *et al.* 2010). Ces études traitent essentiellement de l'information climatique saisonnière en référence aux conditions pluviométriques. Meza *et al.* (2008) ont réalisé une revue de la littérature en examinant 33 études relatives à l'estimation quantitative de la valeur économique de l'information climatique. Ces études ont porté sur des systèmes de production en conditions uniquement pluviales. Dans le cas spécifique du DIN, nous avons couplé les conditions pluviales et les conditions hydriques puis les données économiques pour maximiser le revenu monétaire sous différents scénarios de prévisions climatiques.

## I- Méthode

### 1- Le site d'étude

Dans le chapitre IV, nous avons montré que l'onde de crue maximale transite bien plus lentement en aval de Mopti qu'à l'amont, ce qui favorise une prévision des niveaux d'eau dans le delta aval avec une plus grande marge de temps à partir des données des hauteurs de crues à Mopti. L'outil OPIDIN développé par l'ONG *Wetland International* sert justement à prédire le niveau d'eau à Mopti et à Akka à partir du mois de juillet et une prévision des pointes de crue à partir du mois d'août. Sur cette base nous avons choisi le village d'Akka pour réaliser cette évaluation économique de l'information climatique et hydrique.

Akka est situé sur la rive droite de l'Issa-Ber, le bras principal du fleuve Niger à la sortie du lac Débo, à une centaine de km au nord de Mopti et à 500 km de Bamako. C'est un village important de la commune de Déboye, situé à une vingtaine de minutes de Youwarou qui lui fait face de l'autre côté du fleuve (Figure VII-1).



**Figure VII-1.** Vue satellitaire du système agricole d'Akka. Points géoréférencés sur le terrain (d'après Google Earth)

Les périmètres irrigués sont situés près du village d'Akka et à proximité des berges du fleuve sur des parcelles exondées. Le riz flottant est semé dans la cuvette située à 4 kilomètres au nord d'Akka en bordure du fleuve et protégée par une petite digue anti poisson rhizophage.

Les différents groupes ethniques installés à Akka sont les Bozo spécialisés dans la pêche, les Bambara et Songhaï pratiquant l'agriculture, les Peuls et les Bela plutôt orientés vers l'élevage. Il existe 4 systèmes de culture à savoir, les cultures pluviales avec le petit mil, les cultures inondées avec le riz flottant dans les cuvettes, le riz de bas-fonds (encore dénommé riz pluvial) et le riz en maîtrise total dans un périmètre aménagé de 20 ha ou périmètre irrigué villageois (PIV). La culture des légumes est pratiquée sur des petites surfaces exondées en bordure du fleuve. La récolte issue de cette agriculture ne couvre pas les besoins alimentaires des populations d'Akka et ceci en raison des dommages causés par la variabilité du climat mais aussi à cause des attaques des insectes, des oiseaux et des poissons rhizophages.

## 2- Les paramètres d'entrée et le modèle

### a- Les paramètres d'entrées

Les deux types de paramètres d'entrée du modèle hydro-économique sont les données socioéconomiques et les données climatiques.

#### ✓ Les données climatiques

Les données climatiques dénommées ici les *états de la nature* sont issues de l'analyse des données hydrologiques et pluviométriques. Le PRESAO classe les saisons de pluie en trois catégories à savoir sèche, normale et humide. Les crues du fleuve sont également classées en trois catégories d'hydraulicité qui sont forte, moyenne et basse. Nous assimilons les fortes hydraulicités à une crue haute, les moyennes à une crue normale et faibles à une crue basse. Nous rappelons que les débits sont dépendants de la pluviométrie des bassins supérieurs du Niger et du Bani. Croisant pluies et crues, on a donc 9 combinaisons possibles du couple pluie locale et hauteur des crues. Dans le modèle, nous considérons 9 états de la nature résumés dans le Tableau VII-1.

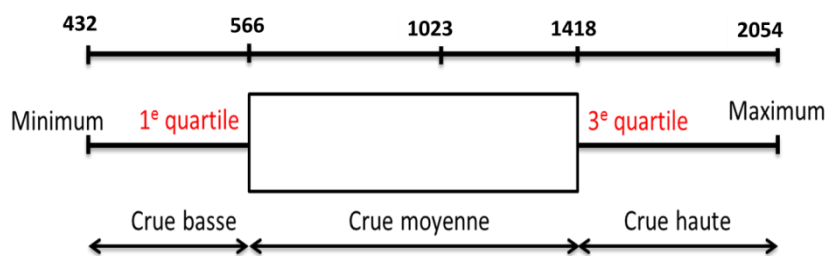
**Tableau VII-1.** Les états de la nature : combinaison entre les types de saison de pluie locale et les types de crue

Crue	Saison de pluie locale		
	Sèche	Normale	Humide
Basse	ss	ms	hs
Normale	sm	mm	hm
Haute	sh	mh	hh

Pour déterminer les probabilités d'occurrence des différents états de la nature, nous définissons au préalable les intervalles permettant de caractériser les types de crue et de saison. Sur la base de ces intervalles, nous caractériserons les années et déterminons les probabilités d'occurrence des différents états sur la période de données disponibles. Pour les crues, nous considérons les séries de débit de la station d' Akka, et pour les pluies, en absence de station pluviométrique à Akka nous considérons celle de Korientzé proche d' Akka. La série de données de débit dont nous disposons couvre la période de 1955 à 2011, soit 45 ans mais avec 12 années en lacune : 1961, 1966, 1967, 1969, 1971, 1974, 1975, 1978, 2002, 2003, 2007 et 2009. La série pluviométrique porte sur 49 années de données disponibles allant de 1950-2000 avec une année en lacune (1995). Nous avons mené l'étude sur les périodes communes de données qui portent sur 36 années.

### Caractéristiques de la série chronologique de débit

Minimum: 432 m<sup>3</sup>/s; Maximum: 2 054 m<sup>3</sup>/s; 1<sup>e</sup> quartile = 566 m<sup>3</sup>/s; 3<sup>e</sup> quartile = 1 418 m<sup>3</sup>/s. Nous utilisons la 'boîte à moustache' pour définir les intervalles des types de crue (Figure VII-2).



**Figure VII-2.** Boîte à moustache de la série de débit moyen annuel d' Akka

Ainsi nous considérons une crue basse comme étant celle dont le débit est compris entre 432 m<sup>3</sup>/s et 566 m<sup>3</sup>/s, une crue moyenne de 567 m<sup>3</sup>/s à 1 418 m<sup>3</sup>/s et une crue haute de 1 418 m<sup>3</sup>/s à 2 054 m<sup>3</sup>/s.

Pour caractériser les saisons de pluie nous calculons les indices pluviométriques  $i$  tels que définis par Lamb (1982).

$i = (X_i - X) / E$  avec  $X_i$  correspondant à la pluviométrie de l'année  $i$ ,  $X$  la moyenne de la série et  $E$  l'écart-type de la série.

### Caractéristiques de la série des indices pluviométrique

Minimum : -2,14 ; Maximum : 2,83 ; 1<sup>e</sup> quartile = -1,54 ; 3<sup>e</sup> quartile = 1,05

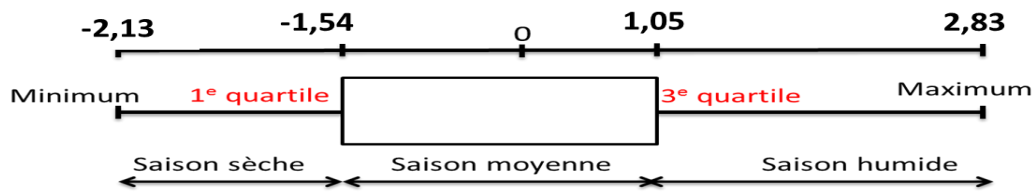


Figure VII-3. Boîte à moustache de la série des indices pluviométriques de la station de Korientzé

La saison sèche est la saison dont l'indice pluviométrique est compris entre -2,13 et -1,54 ; moyenne si l'indice est compris entre -1,55 et 1,054 et humide si l'indice est compris entre 1,06 et 2,83.

Ces différents intervalles nous permettent alors de caractériser les types d'années sur la série de données communes (Figure VII-4)

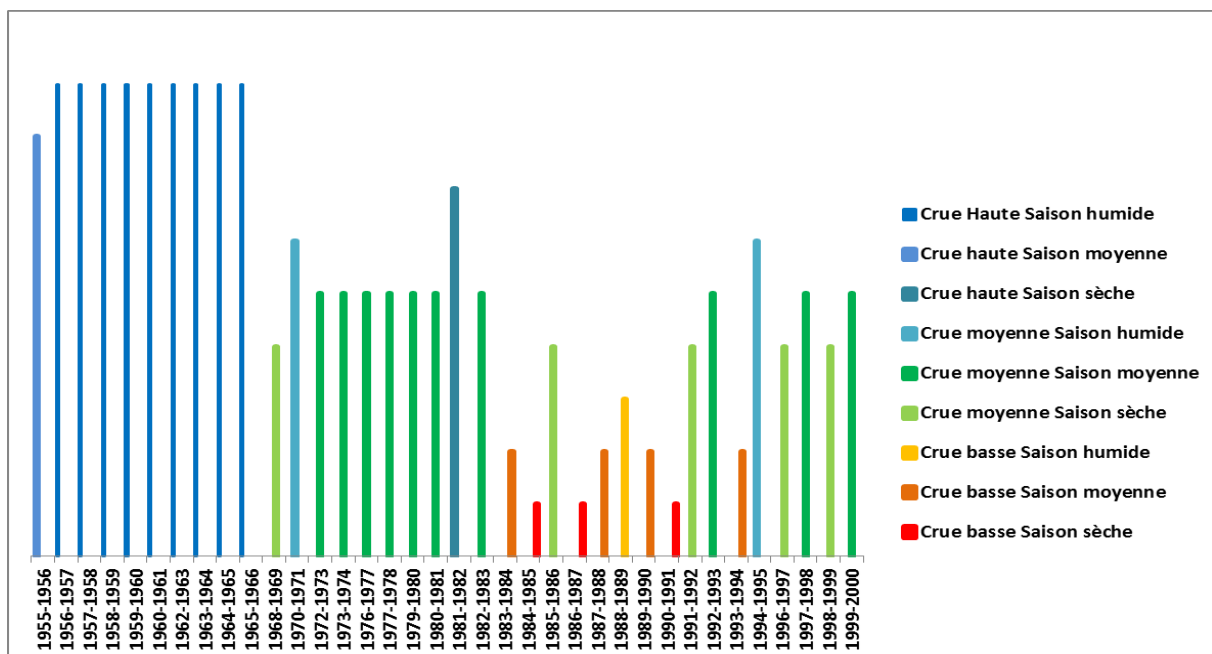


Figure VII-4. Caractéristiques des différents types d'années

Pour obtenir les probabilités des différents états de la nature, nous faisons le décompte des types d'année et ensuite un rapport du total par type d'année sur la taille de l'échantillon de données qui est de 36 années. Le Tableau VII-2 résume les différentes probabilités d'occurrence des 9 états de la nature.

Tableau VII-2. Probabilité d'occurrence des 9 états de la nature

	Saison sèche	Saison moyenne	Saison humide
<b>Crue basse</b>	3/36 = <b>0,08</b>	4/36 = <b>0,11</b>	1/36 = <b>0,025</b>
<b>Crue moyenne</b>	5/36 = <b>0,14</b>	10/36 = <b>0,28</b>	2/36 = <b>0,05</b>
<b>Crue haute</b>	1/36 = <b>0,025</b>	1/36 = <b>0,025</b>	9/36 = <b>0,25</b>

### ✓ Les données socio-économiques

Pour acquérir des données socio-économiques, nous avons réalisé des focus groupes sur le terrain et des entretiens individuels auprès de 8 producteurs. Nous avons comparé leurs réponses avec celles de la littérature et des enquêtes agricoles nationales. Les entretiens ont permis de définir le calendrier moyen des producteurs (Figure VII-4), les superficies disponibles et cultivées (les types de cultures pratiquées) (Tableau VII-3).

Types de culture	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Riz flottant						Semis à la volée		Désherbage/ Surveillance			Fauchage et battage	
Riz en maîtrise totale (PIV)				Labour et hersage/ préparation pépinière		Repiquage	Désherbage/ Surveillance		Récolte			
Mil						Nettoyage du champs	Semis et 1 <sup>e</sup> labour	2 <sup>e</sup> labour	Surveil- lance	Récolte		

Figure VII-5. Calendrier moyen des activités des riziculteurs de Akka

Tableau VII-3. Superficies cultivées et disponibles (Source: enquêtes de terrain).

Superficies disponibles en (ha)		Producteurs							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Superficies cultivées	Riz flottant	3	2	1,5	40	5	2	10	3
	Riz PIV	2,5	1	0,75		0,75	2	2	
	Mil	3		2,5	9	1,5	4	3	3
Superficies libres			3	5			2		4
<b>Total</b>		8,5	6	6,75	49	7,25	10,5	15	10

#### b- Le modèle

##### ✓ L'exploitation moyenne simulée

Nous avons créé une exploitation agricole type inspirée des enquêtes réalisées à Akka auprès d'exploitations pratiquant la riziculture inondée dans les cuvettes. L'exploitation type modélisée ci-dessous compte 10 personnes dont le tiers est actif. Elle possède 10 ha, dont (i) 1,5 ha en PIV ou s0, (ii) 5 ha de terre exondée ou s1 (iii) 2 ha de cuvette peu profonde ou S2,

1 ha de cuvette partiellement inondable ou S3 et 0,5 ha de cuvette profonde ou S4 pour un total de la superficie de la cuvette égale à 3,5 ha.

La ferme compte 5 Unité de Bétail Tropical (chèvres et bovins) qui peuvent consommer les fourrages issus de la cuvette, les pâturages exondés et les résidus de cultures. L'exploitation a accès au crédit pour 140 000 FCFA pour l'achat d'intrants pour le périmètre irrigué et dispose d'un capital privé de 80 000 F en début de campagne.

### ✓ Les équations du modèle

Le modèle maximise la *fonction objectif* de l'exploitant et les contraintes habituelles de terre, travail, capital, consommation en grain du ménage et en fourrage des animaux et en eau d'irrigation. La *fonction objectif* maximise le revenu net monétaire de l'exploitation  $Z$  qui est la somme, pour tous les états de la nature  $a$ , des probabilités de chaque état de la nature multiplié par le revenu monétaire net espéré.

$$\begin{aligned}
 Z &= \sum_s (pr(a) * R(a)) \\
 R(a) &= \sum_{(c)} (VEN(c, a) * px(c)) - [bc(c, s) * X(c, s)] + [ma * AN(a)] \\
 &+ \sum_{(c)} [VENms(c, a) * pxms(c)] - \sum_{(c)} [1,5 * ACms(c, a) * prms(c)] - \\
 &* \sum_{(c)} [pr(c) * 1,3 * AC(c, a)] - \sum_{(f)} [pxf(f) * CONC(f, a)] + [dior \\
 &* ANS(a)] - [cout(a) * EAU(a)] - \sum_{(p)} [sl * SAL(p, a)] - tc * CRED
 \end{aligned}$$

Le revenu monétaire  $R(a)$  est égal aux ventes moins les dépenses.  $VEN(c, a)$  les ventes de céréales;  $px$  est le prix de vente des céréales;  $bc$  le besoin en capital pour les intrants par ha de culture;  $X(c, s)$  les superficies des cultures  $c$  sur les sol  $s$ ;  $AN$  les animaux en UBT,  $ANS$  les animaux extérieurs en UBT,  $VENms$  vente de matière sèche de fourrage;  $ACms$  les achats de matière sèche fourragère;  $AC$  les achats de céréales; ;  $pxa$  le prix d'achat de céréales;  $pxf$  le prix d'achat des fourrages industriels;  $CONC$  achat de concentré fourrager,  $EAU$  est l'eau pompée dans le fleuve pour irrigation du riz intensif;  $SAL$  journées de salariés et  $sl$  le salaire journalier.

La contrainte de terre stipule que la terre cultivée doit être inférieure ou égale à la surface totale disponible, et cela par type de terre ( $s$ ).  $XS$  est une variable d'ajustement qui tient compte du plan des 3 réalisations de crue possibles (basse, normale, haute). En d'autres termes, le plan de production  $X$  est décidé au départ car le producteur ignore les états de la



nature de la saison qui vient. La variable  $XS$  est aussi décidée au départ mais en fonction des probabilités de crue.  $XS$  sert donc uniquement à réduire la partie de la production prévue mais qui va échouer. Pour un  $X$  on a 9  $XS$  (avec 3 crues différentes).  $cru(s,a)$  est le paramètre donné au départ de la proportion de la surface qui ne sera pas inondée, et variable selon les types d'années.  $S4$ , au fond de la cuvette, sera plus souvent inondé que  $S3$ ,  $S2$  ne sera inondé que les bonnes années et  $S1$  ne sera partiellement inondé que les années exceptionnelles.

$$\sum_{(c)} (X(c, s) - XS(c, s, a)) = cru(s, a) * ter(a) \text{ pour tout } a \text{ et } s.$$

La contrainte de travail  $bw(c, p)$  par hectare de culture plus le travail nécessaire à la collecte et à la vente de fourrage  $VENDms$  plus le travail nécessaire pour l'élevage indique que les besoins en travail doivent être satisfaits par la main-d'œuvre disponible  $mod$  en jours multipliés par les membres du ménage  $pop$  multipliés par le nombre d'actif  $act$  plus la main-d'œuvre salariée ( $SAL$ ).

$$\sum_{(c,s)} bw(c, p) * X(c, s) + bwms(p) * VENms(c, a) + wan(p) * AN(a) < mod(p) * pop * act + SAL(p, a) \text{ pour chaque saison } p.$$

Le coût des intrants de culture, du pompage de l'eau, des salariés doit être couvert par le capital disponible plus le crédit de campagne octroyé par la banque pour les intrants.

$$\sum_{(c,s)} [bc(c, s) * X(c, s)] + ct(a) * EAU(a) + \sum_{(c,s)} [sl * SAL(p, a)] = cap + CRED$$

La production est vendue et/ou autoconsommée. La consommation de grain par la population  $AU$  et les ventes de grain  $VEND$  doivent être satisfaites par les rendements de cultures multipliés par la surface espérée de la culture  $X$ , moins la zone semée mais non inondée  $XS$  et qui ne produira donc rien plus les achats de grains  $AC$ .

$$\sum_{(s)} [rd(c, s, a) * (X(c, s) - XS(c, s, a))] = AU(c, a) + VEND(c, a) \text{ pour tout } c \text{ et } a.$$

Les achats de grain  $AC$  et l'autoconsommation  $AU$  de la production doivent être égale au besoin total du ménage.

$$AC(c, a) + AU(c, a) - \sum_{(m)} [menu(c, m) * pop * COND(m)] = 0 \text{ pour tout } c \text{ et } a$$

Le total des proportions des menus doit être égal à 1.

$$\sum_{(m)} COND(m) = 1$$

Les besoins en eau  $be(c)$  des cultures sont exprimés selon l'équation suivante :

$$\sum_{(c,s)} [be(c) * X(c, s,)] = EAU(a) \text{ pour tout } a$$

La matière sèche fourragère multipliée par les surfaces doit être égale au total vendue et/ou consommée par les animaux plus le surplus de fourrage. Le surplus étant laissé dans les champs.

$$\begin{aligned} \sum_{(s)} [ms(c, s, a) * (X(c, s, ) - XS(c, s, a))] + \sum_{(s)} [mss(c, s, a) * XS(c, s, a)] \\ = VENms(c, a) + AUms(c, a) + SURF(c, a) \text{ pour tout } c \text{ et } a \end{aligned}$$

Les fourrages consommés plus ceux qui sont achetés, doivent être supérieurs à la consommation des animaux des paysans et des éventuels animaux extérieurs.

$$\sum_{(c)} [AUms(c, a) + ACms(c, a)] + \sum_{(c)} CONC(f, a) > ba * (AN(a) + ANS(a)) \text{ pour tout } a$$

## II- Résultats

Les résultats présentés ici sont d'abord ceux du scénario myope<sup>14</sup>, que nous comparons ensuite aux scénarios des 9 états de la nature possibles. Nous analysons ensuite les valeurs marginales des facteurs de production, puis des simulations basées sans l'accès aux éléments suivants : la cuvette pour le riz flottant, le crédit et le PIV.

### 1- Le scénario myope

Le scénario de référence est le scénario myope ou le modèle n'a pas de prévision. Il dispose des probabilités subjectives des producteurs quant à l'occurrence des états de la nature. Nous avons utilisé les perceptions sur les probabilités d'occurrence des saisons proposées par l'échantillon de producteurs enquêtés (Tableau VII-4). Il leur était demandé de compter, sur les 10 dernières années, le nombre de crues hautes, moyennes et basses. Ils ont estimé que près de la moitié des crues étaient moyennes et environ un quart étaient respectivement hautes ou basses.

---

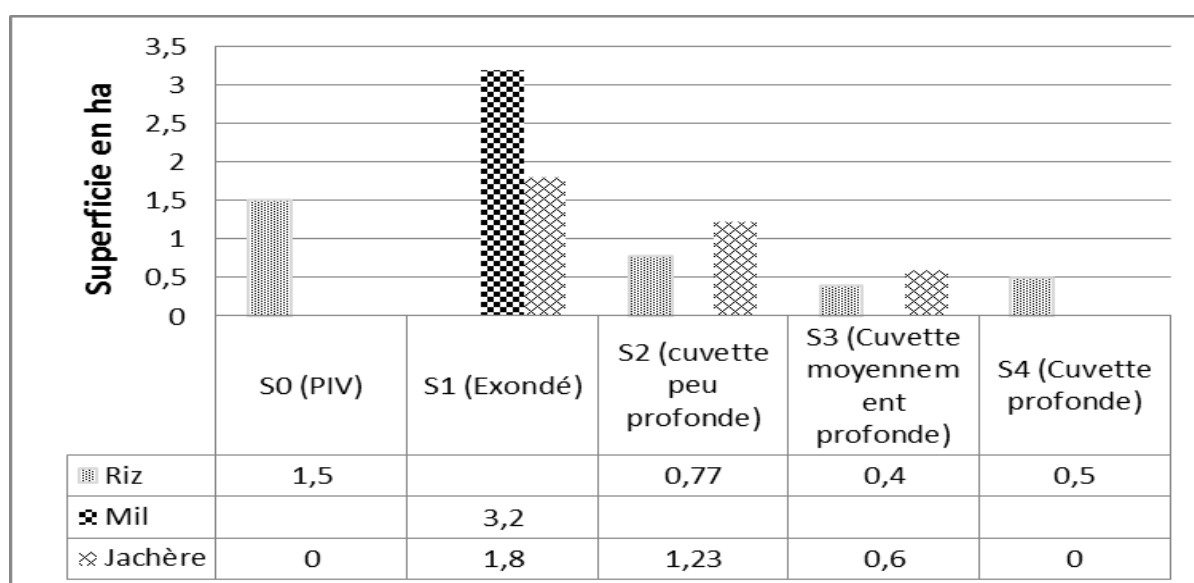
<sup>14</sup> Absence de prévision

**Tableau VII-4.** Perception moyenne de 8 producteurs des probabilités d'occurrence des types crues sur les 10 dernières années.

	<b>Crues hautes</b>	<b>Crues moyennes</b>	<b>Crues basses</b>	<b>Total</b>
<b>Probabilité</b>	0,3	0,45	0,25	1

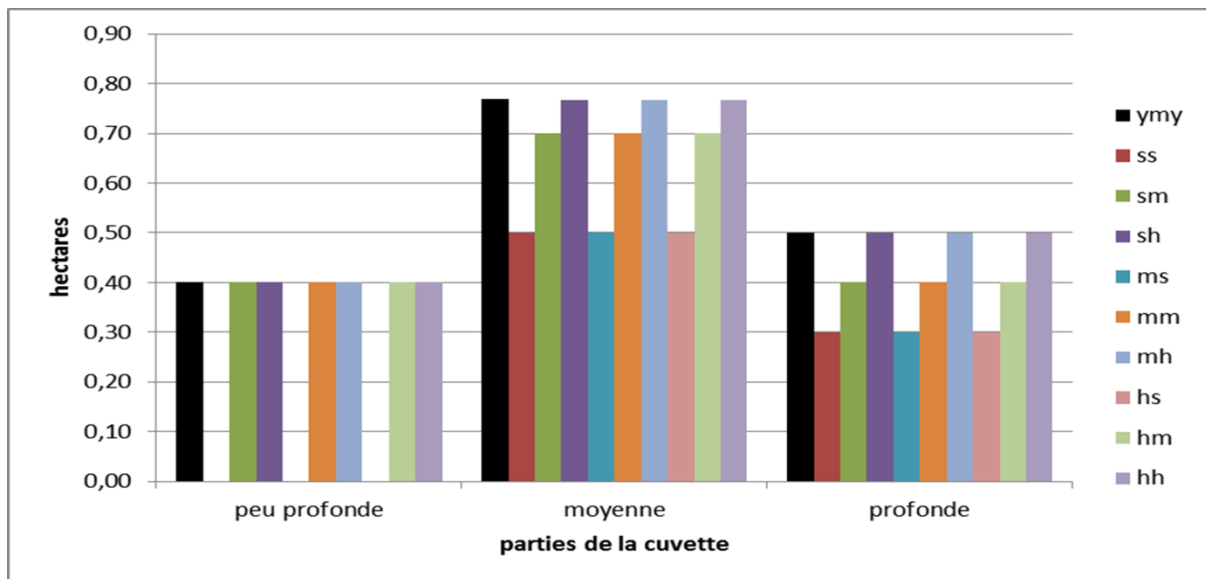
*a. Allocation optimale des terres*

Dans le scénario de simulation myope le modèle propose un plan optimal qui consiste à cultiver près de 6,37 ha sur les 10 ha disponibles. Sur ces 6,37 ha hectares, le producteur cultive 1,5 de riz intensif sur sa parcelle irriguée (PIV), plus de 3,2 hectares de mil sur les terres exondées et 1,67 ha de riz flottant dans la cuvette d'inondation. Il plante toute la surface disponible dans le fond de la cuvette (0,5 ha), là où il est pratiquement sûr de récolter chaque année. Il plante 0,4 ha dans la partie moyennement profonde alors qu'il y dispose de 1 ha. Il ne sème que 0,77 ha dans la partie peu profonde où il dispose de 2 ha (soit à peu près un tiers). La Figure VII-6 résume les différentes répartitions des cultures sur les différents types de sol.



**Figure VII-6.** Assolement des différentes cultures sous le scénario myope

La Figure VII-7 résume les superficies récoltées selon l'occurrence des saisons. Les PIV étant en maîtrise totale, avec la possibilité d'irriguer même pendant les mauvaises années, nous allons considérer uniquement la cuvette dont les superficies inondées dépendent du niveau de crue.



**Figure VII-7.** Surfaces semées en noir et surface récoltée dans les cuvettes selon les scénarios – ymy scenario myope, *ss* pour saison sèche et crue basse, *sm* saison sèche et crue moyenne, *sh* saison sèche et crue haute, *ms* saison moyenne et crue basse, *mm* saison moyenne et crue moyenne, *mh* saison moyenne et crue haute, *hs* saison humide et crue basse, *hm* saison humide et crue moyenne, *hh* saison humide et crue haute.

L'observation de la figure VII-7 montre que pendant les années où la crue est basse l'exploitant ne récolte rien en s2 (cuvette peu profonde), la crue étant insuffisante pour submerger cette partie de la cuvette. Pour les autres types d'années (crue moyenne et humide), il récolte la totalité des superficies mises-en en valeur soit 0,4 ha.

En s3 (cuvette moyennement profonde), il récolte 65% des superficies mises en valeur pendant les années de basse crue. Pendant les années où la crue est moyenne ou haute, il récolte respectivement 91% et 100% des superficies mises en valeur sur s3 car les crues moyennes et hautes favorisent l'inondation de grande superficie de s3.

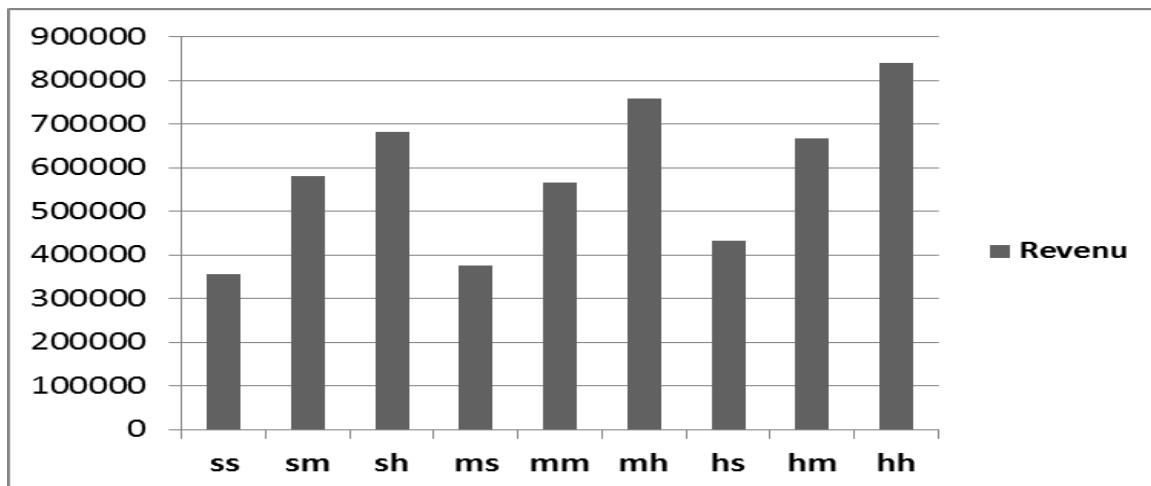
En s4 (la cuvette profonde), pendant les années de crue basse, crue moyenne et crue haute, il récolte respectivement 60%, 80% et 100% des superficies mises en valeur soit 0,5 ha.

Les superficies non mises en valeur ou jachère, produisent du fourrage. Les résidus des cultures et les fourrages issus des quelques hectares de jachères permettent de nourrir les 5 UBT du producteur.

Pour le PIV, le producteur utilise le crédit de 140 000 FCFA pour les intrants et pour le carburant de la pompe en plus d'un autofinancement de 80 000 FCFA pour les intrants et pour le paiement de quelques journées de salariés à 1 500 FCFA par jour en plus de la main

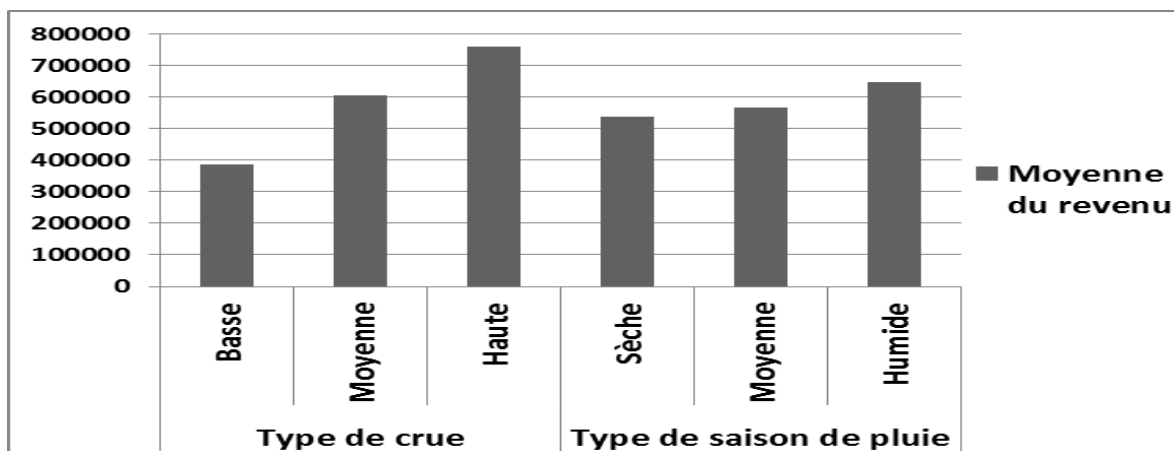
d'œuvre familiale (3 actifs). Les contraintes de travail se situent à l'installation des cultures et à la récolte du mil et du riz. Il achète du mil en cas de mauvaise saison des pluies.

**b. Revenu**



**Figure VII-8.** Revenus espérés sous le scénario myope et selon l'occurrence des états de la nature \_ *ss* pour saison sèche et crue basse, *sm* saison sèche et crue moyenne, *sh* saison sèche et crue haute, *ms* saison moyenne et crue basse, *mm* saison moyenne et crue moyenne, *mh* saison moyenne et crue haute, *hs* saison humide et crue basse, *hm* saison humide et crue moyenne, *hh* saison humide et crue haute

Le revenu moyen pour le scénario myope est de 584 150 FCFA. Mais avec l'assolement initial et selon les superficies récoltées, selon l'occurrence des différents états de la nature, le revenu varie de 354 903 FCFA pour une saison sèche et crue basse à 839 925 FCFA pour une saison humide et crue haute soit une différence de 58%.



**Figure VII-9.** Moyenne des revenus selon l'occurrence des états de la nature, par type de crue puis par type de saison locale

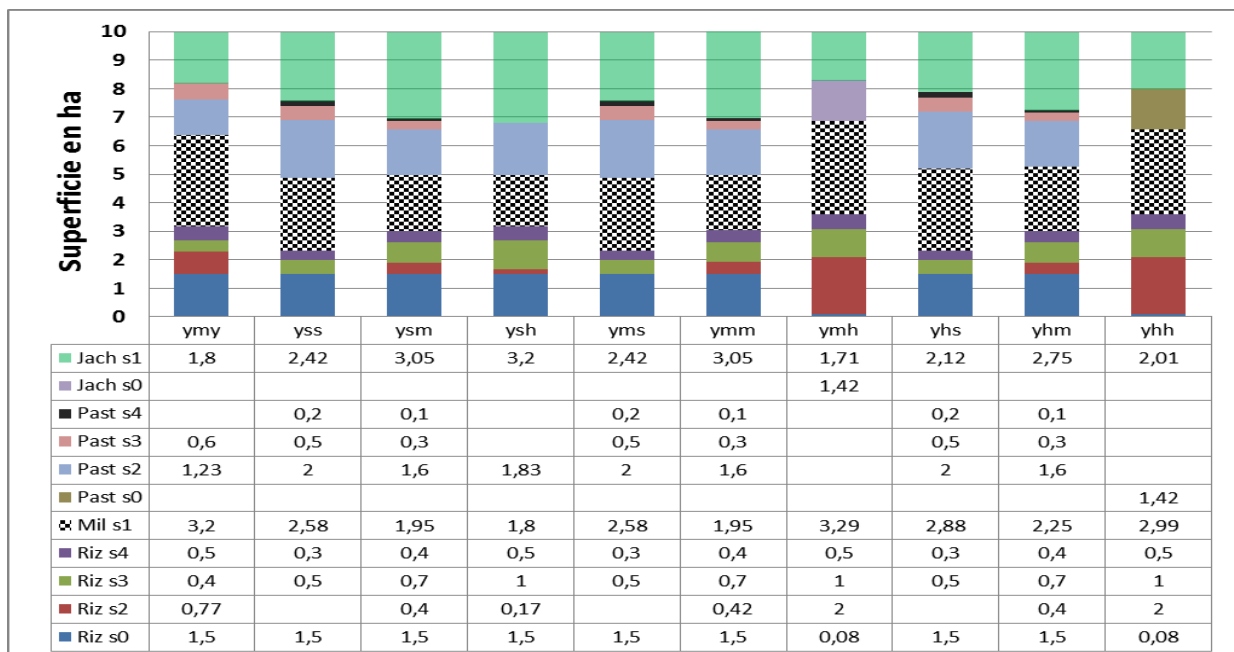
L'observation de la Figure VII-10 montre que le revenu varie sensiblement quand on fait la moyenne par type de saison de pluie locale. Cette variation de la moyenne va de 539 299 FCFA pour les états de la nature avec saison sèche à 646 265 CFA pour les saisons humides soit une différence de 16%. Par contre le revenu moyen par type de crue varie fortement. Il varie entre 388 010 FCFA pour les états de la nature avec crue basse à 760 200 FCFA pour les états de la nature avec crue humide, soit une différence d'environ 50%. Cela confirme que dans le DIN, c'est la crue qui est le moteur de la production.

## 2- Scénarios avec prévisions

Les scénarios avec prévisions donnent un résultat pour une hypothèse de prévision qui serait sûre à 100%, *yss* pour saison sèche et crue basse, *ysm* saison sèche et crue moyenne, *ysh* saison sèche et crue haute, *yms* saison moyenne et crue basse, *ymm* saison moyenne et crue moyenne, *ymh* saison moyenne et crue haute, *yhs* saison humide et crue basse, *yhm* saison humide et crue moyenne, *yhh* saison humide et crue haute.

### a- Allocation des terres

La Figure VII-11 présente l'allocation optimale des terres selon les 9 scénarios de prévision climatiques plus le scénario myope.



**Figure VII-10.** Allocation optimale des terres selon le type de scénario - ymy scénario myope, ss pour saison sèche et crue basse, sm saison sèche et crue moyenne, sh saison sèche et crue haute, ms saison moyenne et crue basse, mm saison moyenne et crue moyenne, mh saison moyenne et crue haute, hs saison humide et crue basse, hm saison humide et crue moyenne, hh saison humide et crue haute

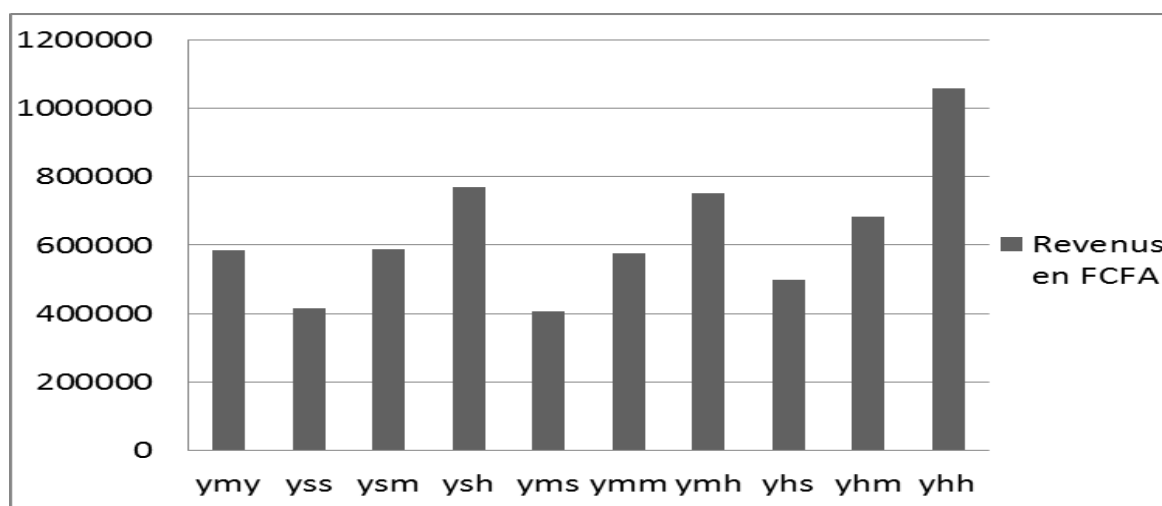
Sur la Figure VII-11 on note que pour les prévisions avec crue basse (yss, yms, yhs) les allocations de terres sont identiques sauf pour le scénario yhs (saison humide crue basse) où on a 0,3 ha de mil en plus que le scénario yss et yms. Pour les scénarios avec une crue moyenne (ysm, ymm, hm), on note également des assolements identiques sauf 0,3 ha de mil supplémentaire pour le scénario yhm (saison humide crue moyenne). Pour les scénarios avec crue haute (ysh, ymh, yhh) l'assolement varie. En ysh la totalité de s0 (PIV) est mise en valeur tandis qu'en ymh et yhh seulement 0,08 ha sont mis en valeur avec une jachère de 1,42 ha en ymh et 1,42 ha pâturage (bourgou) en yhh. En s2 (cuvette peu profonde), 0,17 ha sont mis en valeur dans le scénario ysh et 2 ha pour ymh et yhh. Les superficies totales de s3 et s4 sont mises en valeur pour les 3 scénarios de crue haute. Pour le mil (s1), on a respectivement 1,8 ha 3,29 ha et 2,88 ha pour ysh, ymh et yhh.

Les surfaces optimales proposées par le modèle augmentent légèrement avec les conditions climatiques favorables car plus la crue est abondante plus il est possible de cultiver du riz inondé dans la cuvette et plus la pluie est abondante plus il est intéressant de semer du mil sur les terres exondées. Par ailleurs les superficies non mises en valeur en s1 sont laissées en jachère et pour les autres types de sol elles sont exploitées pour le pâturage.

Dans les scénarios ymh et yhh, le PIV n'est pas entièrement cultivé car le modèle va employer la main-d'œuvre pour la culture de la cuvette dont la superficie inondée est plus importante pendant les crues hautes. En absence d'une main d'œuvre suffisante le modèle choisit de réduire les superficies mises en valeur sur le PIV au profit de l'extension du riz flottant et du mil.

#### ***b- Revenus***

Les revenus moyens espérés selon les 9 scénarios de prévisions climatiques avec une hypothèse d'occurrence de 100% sont représentés sous la Figure VII-13 en plus du revenu moyen du scénario myope ymy.



**Figure VII-11.** Revenus espérés par scénario de prévision climatique-ymy scenario myope, ss pour saison sèche et crue basse, sm saison sèche et crue moyenne, sh saison sèche et crue haute, ms saison moyenne et crue basse, mm saison moyenne et crue moyenne, mh saison moyenne et crue haute, hs saison humide et crue basse, hm saison humide et crue moyenne, hh saison humide et crue haute

Avec l'hypothèse de réalisation des états de la nature à 100% par scénario, le revenu varie de 414 196 FCFA pour les scénarios drastiques (yss et yms) à 1 058 077 FCAF pour le scénario humide yhh. Les plus faibles revenus sont ceux des scénarios avec crue basse (yss, yms, et yhs) et les plus élevés sont obtenus dans les scénarios de prévisions avec crue haute (ysh, ymh et yhh) même si les pluies sont insuffisantes (ysh).

Comparons ces revenus à celui du scénario myope (Tableau VII-5). Pour le scénario myope, le revenu est fonction de l'occurrence des crues, l'assolement étant indépendant d'une prévision. Pour les autres scénarios, l'assolement dépend de l'information climatique reçue en faisant l'hypothèse que l'information est à 100% fiable.

**Tableau VII-5.** Revenus du scénario myope et des différents scénarios de prévision climatique et comparaison

Revenus (FCFA)	yss	ysm	ysh	yms	ymm	ymh	yhs	yhm	yhh
<b>Scénario myope</b>	354903	581380	681615	376693	564903	759059	432435	666435	839925
<b>Avec prévision</b>	414196	588887	770516	414196	574750	750523	497590	682100	1058077
<b>Gain économique</b>	17%	1,3%	13%	10%	1,7%	-1%	15,1%	2,5%	26%

L'analyse du Tableau VII-5 montre que la prévision a des impacts modestes les années de crue moyenne (ysm, ymm, yhm). Pour les prévisions avec crue basse on observe un gain économique allant de 10% pour le scénario yms à 17% pour yss. Pour les scénarios avec crue haute il y a une infime perte économique de 1% en ymh mais le gain économique est de 13%



pour ysh et 26% pour yhh. La prévision permet donc de réduire les risques de pertes pendant les années de basse crue et améliore le revenu les années de crue haute. Les années de crue moyenne le gain de la prévision est relativement modeste car le modèle optimise l'assolement des cultures en privilégiant le scénario moyen dont la probabilité est supérieure aux deux autres types de crue (Tableau VII-4). En moyenne, le gain de la prévision climatique est de 10%.

Nous rappelons que ces gains sont obtenus pour une hypothèse de fiabilité totale des prévisions. Cependant **quel peut être l'impact en cas de mauvaise prévision ?**

### 3- Impacts d'une prévision erronée

La Figure VII-14 présente les résultats des revenus dans le cas de prévisions erronées, par scénario et par type d'occurrence. Le Tableau VII-6 présente le coût d'une prévision erronée selon l'occurrence de la saison.

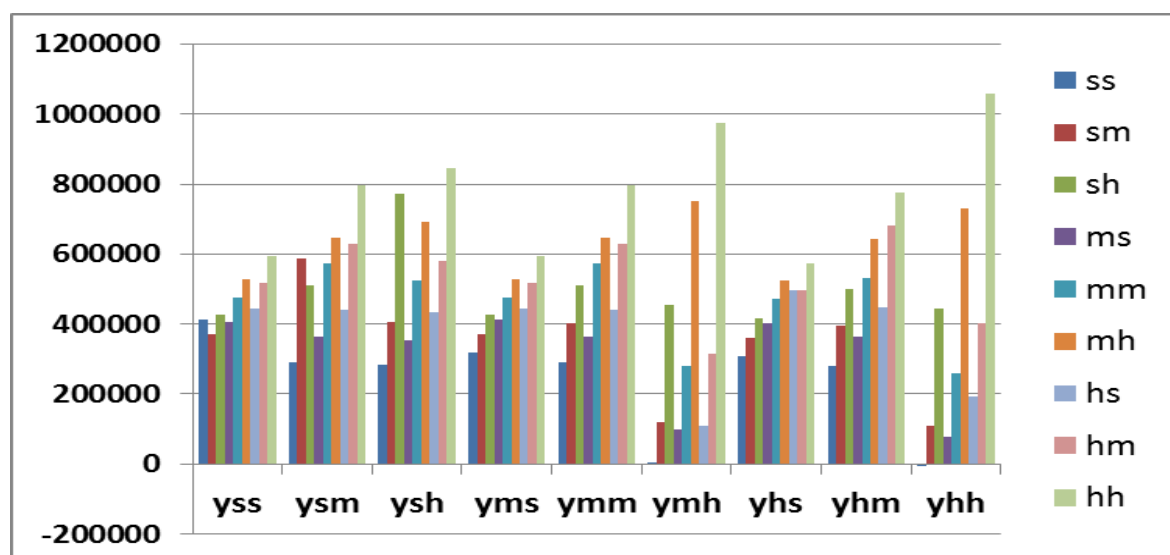


Figure VII-12. Les revenus espérés selon les prévisions

Tableau VII-6. Coût en % d'une prévision erronée par rapport au scénario myope

Occurrence	Scénario prévu								
	yss	ysm	ysh	yms	ymm	ymh	yhs	yhm	yhh
ss	-	-18	-20	-11	-18	-100	-13	-21	-102
sm	-36	-	-30	-36	-31	-80	-38	-32	-81
sh	-38	-25	-	-38	-25	-33	-39	-26	-35
ms	8	-3	-6	-	-3	-74	7	-4	-79
mm	-16	2	-7	-16	-	-50	-17	-6	-54
mh	-31	-15	-9	-31	-15	-	-31	-15	-4
hs	3	2	0	3	2	-74	-	4	-55
hm	-23	-5	-13	-23	-5	-53	-26	-	-40

<b>hh</b>	-29	-5	1	-29	-5	16	-32	-8	-
<b>Moyenne</b>	<b>-20</b>	<b>-9</b>	<b>-9</b>	<b>-23</b>	<b>-12</b>	<b>-56</b>	<b>-25</b>	<b>-14</b>	<b>-50</b>

L'analyse du Tableau VII-6 montre qu'une prévision erronée entraîne en général un manque à gagner par rapport au revenu du scénario myope (comparaison faite par type d'occurrence des états de la nature).

En cas de prévision de crue basse, le manque à gagner s'explique par le fait que les superficies mises en valeur sont moindres par rapport au scénario myope. En effet, les superficies de s1 (exondée) et s4 (fond de cuvette) mises en valeur représentent respectivement 81-90% et 60% des superficies mises en valeur au niveau du scénario myope. Sous ce scénario également, s2 n'est pas mis en valeur contre 0,77 ha pour le scénario myope. Donc en cas de réalisation de conditions climatiques plus favorables (crue moyenne, crue haute), le scénario myope génère plus de revenus que le scénario de prévision de crue basse.

En cas de prévision de crue moyenne, le manque à gagner d'une prévision erronée s'explique par le fait que les superficies exondées mises en valeur sous le scénario myope sont supérieures. Sous les scénarios de crue moyenne les superficies mises en valeur en s1, s3, s4 représentent respectivement 61 - 70%, 52 - 54% et 80% de celles du scénario myope. En cas de réalisation de crue moyenne ou basse, les superficies récoltées dans la cuvette sont les mêmes pour le scénario myope et le scénario de prévision mais le déficit de revenu s'explique par la différence des superficies en s1 mises en valeur.

En cas de réalisation de crue haute, le scénario de prévision de crue moyenne génère moins de revenus que le scénario myope car les superficies mises en valeur sont plus grandes et toutes les superficies mises en valeur dans la cuvette (s2, s3 et s4) seront inondées.

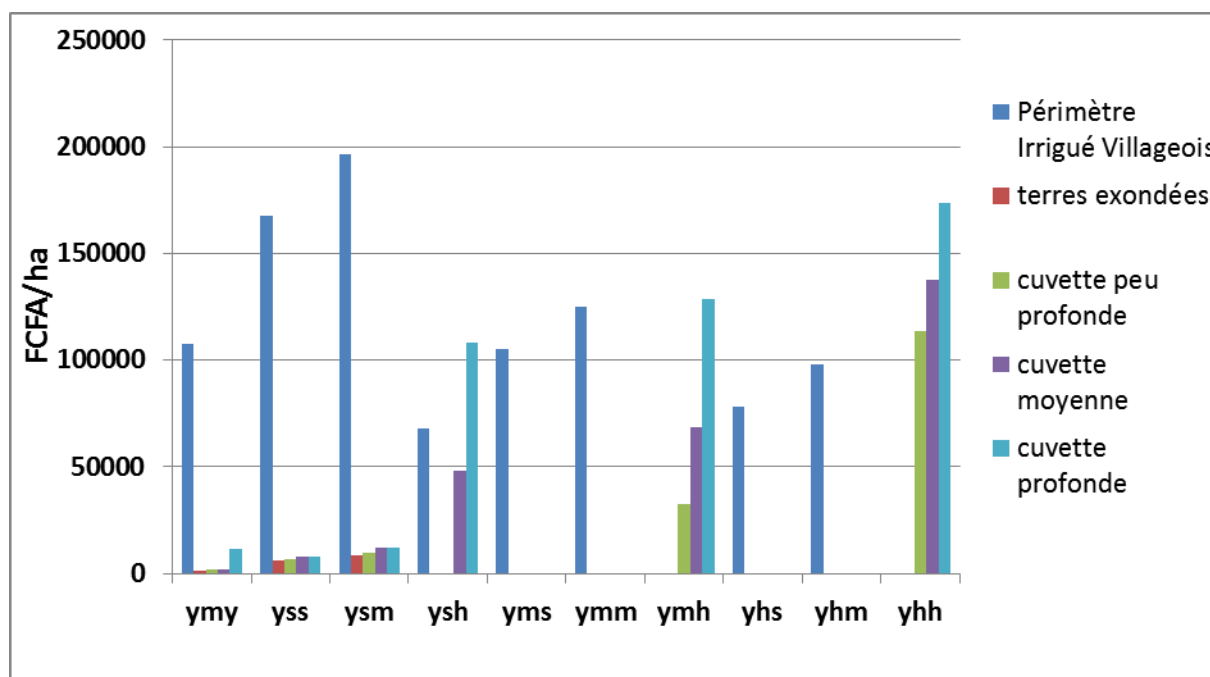
Pour les scénarios de prévision avec crue haute, le manque à gagner d'une prévision erronée s'explique par les grandes superficies mises en valeur dans la cuvette, les faibles superficies exploitées en s1 et l'abandon du PIV (ymh et yhh) par rapport au scénario myope. En effet, la valorisation du PIV sous le scénario myope permet de sécuriser les productions et combler le manque à gagner au niveau de la cuvette lors des crues basses. Les plus grandes superficies mises en valeur en s1 (7 à 44% en plus) sous ymy permettent de générer également un revenu supplémentaire par rapport à ysh et yhh. Par contre en cas de prévision de crue haute, la réalisation d'une crue basse ou moyenne ne permettra pas l'inondation totale des grandes superficies mises en valeur.

Globalement, le cout d'une prévision erronée présente en moyenne un déficit de 24% par rapport au revenu qu'un exploitant aurait espéré s'il n'avait pas reçu d'information climatique (scénario myope).

#### 4. Valeurs marginales des contraintes

La valeur marginale<sup>15</sup> permet de comprendre le poids des contraintes sur le système de production et permet de déterminer la valeur économique des facteurs comme la terre, le travail, le capital ou l'eau. L'eau d'irrigation n'a pas de valeur marginale car l'eau provient directement du fleuve, le coût du pompage collectif reste limité et fait partie du crédit de campagne. La valeur marginale du capital est faible à cause du crédit mis à disposition qui additionné au capital de départ permet de couvrir les frais des intrants de production.

La terre par contre présente une certaine valeur marginale (Figure VII-18).



**Figure VII-13.** Valeur marginale de la terre - ymy scénario myope, ss pour saison sèche et crue basse, sm saison sèche et crue moyenne, sh saison sèche et crue haute, ms saison moyenne et crue basse, mm saison moyenne et crue moyenne, mh saison moyenne et crue haute, hs saison humide et crue basse, hm saison humide et crue moyenne, hh saison humide et crue haute

L'analyse de la Figure VII-18 montre qu'en moyenne la valeur marginale de la terre sur les périmètres irrigués est de 107 414 FCFA/ha, c'est dire que pour chaque ha mis en valeur sur

<sup>15</sup> C'est l'utilité qu'un agent économique tirera de la consommation d'une quantité supplémentaire d'un bien ou d'un service.

un PIV le revenu supplémentaire occasionné est de 107 414 CFA. Les autres types de terres pour ce scénario présentent de faibles valeurs marginales allant de 1 470 FCFA/ha pour les terres exondées à 11 400 FCFA/ha pour la cuvette profonde.

Pour les scénarios de prévision, les valeurs marginales des périmètres irrigués les plus élevées correspondent aux scénarios de crue basse (yss, yms, yhs) et crue moyenne (ysm, ymm, yhm). Les valeurs les plus faibles correspondent aux scénarios avec crue haute et varie de 0 FCFA/ha pour yhh et ymh à 68 180 CFA pour ysh.

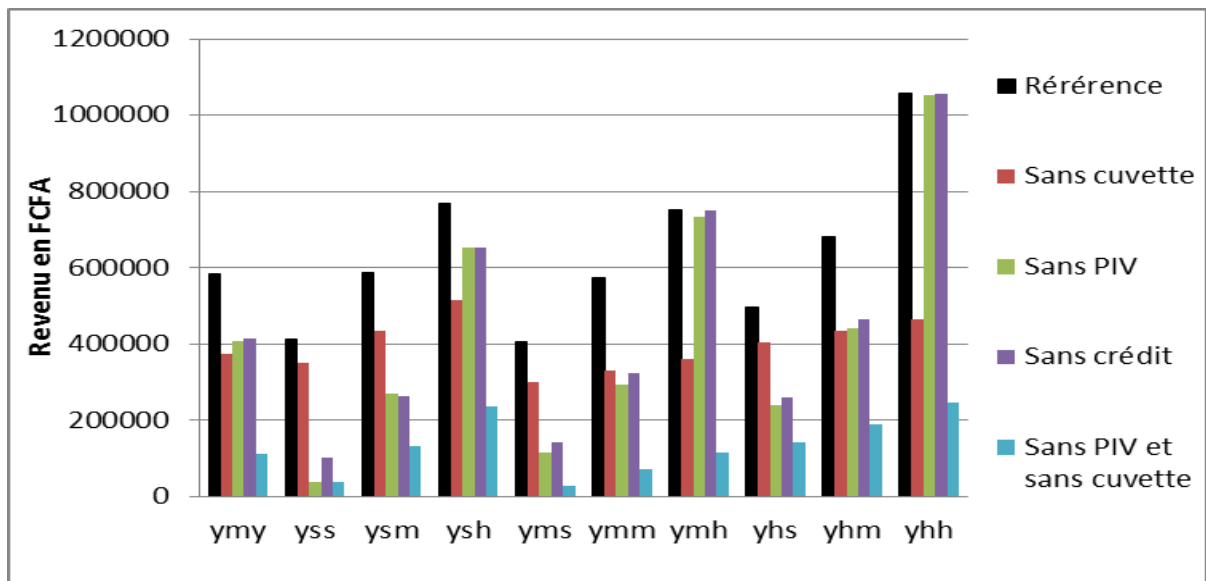
Cependant, pour les scénarios de crue haute, les cuvettes ont une valeur marginale élevée par rapport aux PIV soit 173 522 CFA/ha en s4, 137 522 FCFA/ha en s3 et 113 522 FCFA/ha en s2 pour yhh ; 128 607 FCFA/ha en s4, 68 607 FCFA/ha en s3 et 32 607 FCFA/ha en s2 pour ymh puis 108 000 FCFA/ha en s4 et 48 000 FCFA/ha en s3 pour ysh. Par contre pour les scénarios de crue basse et moyenne les valeurs marginales des cuvettes sont quasi nulles. Les terres exondées ont une valeur marginale nulle pour tous les scénarios sauf pour yss et ysm où la valeur marginale est respectivement de 5 743 FCFA/ha et 8 143 FCFA/ha.

Pendant les années de crues hautes où de grandes superficies de plaines sont inondées, les périmètres irrigués ont peu de valeur car les crues suffisent à inonder les rizières. Pendant les années de crues basse et moyenne, l'irrigation permet de pallier à la faiblesse des crues et sécuriser les cultures. La valeur marginale des terres exondées est quasi nulle, ce qui démontre une fois de plus que les crues représentent le facteur déterminant de production dans le DIN.

Le coût d'opportunité de la terre peut cependant être entravé par les contraintes de capital et de travail car la valorisation de superficies supplémentaires nécessite au préalable la main-d'œuvre salariale et le capital nécessaire.

## **5. Impacts des différents éléments de production : le crédit, le PIV et la cuvette**

La Figure VII-19 montre l'importance sur le revenu des facteurs entrant dans la production comme le crédit, les terres aménagées (PIV), ainsi que la cuvette inondable. Le scénario de référence représente le revenu espéré sous l'optimisation des allocations de terre.



**Figure VII-14.** Revenus générés en l'absence des principaux facteurs de production- ymy scénario myope, ss pour saison sèche et crue basse, sm saison sèche et crue moyenne, sh saison sèche et crue haute, ms saison moyenne et crue basse, mm saison moyenne et crue moyenne, mh saison moyenne et crue haute, hs saison humide et crue basse, hm saison humide et crue moyenne, hh saison humide et crue haute

Pour le scénario myope, les revenus en l'absence de cuvette, de PIV et de crédit sont sensiblement les mêmes et présentent en moyenne un déficit de 32% par rapport au revenu de référence. En l'absence de PIV et de cuvette, c'est-à-dire pour une mise en valeur unique des terres exondées le revenu ne représentera que 19% du revenu de référence.

Pour les scénarios avec prévision de crue basse, le revenu est faible en absence de PIV, de crédit, puis en absence de PIV + cuvette soit respectivement un déficit moyen de 72%, 62% et 83%. Par contre le revenu est moins impacté en absence de cuvette uniquement soit un déficit moyen de 20%.

Pour les scénarios de prévision de crue moyenne, l'absence de cuvette impacte relativement moins le revenu avec un déficit moyen 35% par rapport au scénario de référence. En absence de PIV, crédit, PIV + Cuvette, le déficit moyen par rapport au revenu de référence est respectivement de 46%, 44% et 79%.

Pour les scénarios avec crue haute, l'absence de cuvette et PIV + Cuvette impactent le plus le revenu avec un déficit moyen par rapport au scénario de référence de 47% contre 6% et 5% pour l'absence de PIV et de crédit.

En résumé, pendant les années de crue basse, la ferme qui n'a pas accès au PIV dégage un revenu faible car la faiblesse des crues ne permet pas une grande production importante dans la cuvette d'inondation. C'est pourquoi l'impact du scénario sans cuvette est moins important sur le revenu dans ce cas de figure. L'absence de crédit génère également un revenu faible pendant les années de crue basse car sans le crédit, l'accès aux intrants pour le riz intensif sur le PIV devient difficile. Pendant les années de crue moyenne, l'impact de l'absence de la cuvette sur le revenu est plus important que pendant les années de crue basse, car les superficies inondées de la cuvette sont plus grandes. Pour les années de crue haute de grande superficie de cuvette sont mises en valeur contre de faible superficie de PIV ce qui explique l'impact faible de l'absence de PIV et de crédit sur le revenu. Dans tous les scénarios de prévision, l'exploitation unique des terres exondées (absence de PIV + Cuvette) génère de faibles revenus. L'agriculture pluviale est peu rentable à Akka.

### **III- Discussions**

Les résultats des simulations paraissent similaires avec ce que les producteurs font sur le terrain même si nous n'avons pas la possibilité de valider le modèle avec un échantillon suffisamment grand d'exploitations. Le groupe des producteurs enquêtés et modélisés ne sont pas forcément très représentatifs de l'ensemble des producteurs d'Akka car un nombre relativement limité de producteurs a accès au PIV et au crédit.

Le modèle ci-dessus peut paraître exagérément complexes et les résultats difficiles à interpréter. Toutefois il est difficile de simplifier d'avantage sans altérer le véritable fonctionnement de ces systèmes. Le système agraire étudié est complexe et le modèle réalisé devait conserver les différentes activités réalisées par les producteurs et conserver les principales contraintes. Ces systèmes rizicoles du DIN intègrent des sous-systèmes de cultures inondées, irriguées ou pluviales mais aussi des systèmes d'élevage, qui se chevauchent dans un calendrier incertain. Le modèle élaboré reste une simplification de la réalité mais le résultat des simulations montre qu'il est en phase avec les observations de terrain.

Les résultats du modèle ont permis de mettre en exergue l'importance de la prévision climatique dans un système agricole du DIN.

En absence de prévision, un exploitant agricole doit prendre des décisions qui sont un compromis optimal pour l'ensemble des probabilités d'occurrence d'évènement climatique (Meza *et al.* 2008). La prévision climatique permet de choisir une solution optimale pour une

année en fonction de l'information reçue, ce qui permet de générer un gain économique par rapport au scénario myope. Dans notre étude, la prévision climatique permet de générer un gain moyen de 1,8%, 14% 13% respectivement pour les années de crue moyenne, basse et haute. De façon globale, le gain économique moyen de la prévision climatique pour le système rizicole simulé est de 10%. La prévision climatique permet de minimiser les pertes les années de mauvaise crue en évitant de mettre en valeur les superficies qui ne seront pas inondées, et permet de générer un revenu supplémentaire les années de crue haute par l'exploitation optimale des grandes superficies inondées.

Ce gain de la prévision doit être nuancé car elle suppose une fiabilité totale de l'information climatique. Alors que la fiabilité des prévisions climatiques est remise en question par les agriculteurs du DIN (Chapitre VI) mais également par certains auteurs tels que Hamatan *et al.* (2004), Roncoli *et al.* (2009) et Hansen *et al.* (2011).

Dans le cas d'une prévision erronée de crue basse et haute, le déficit peut atteindre respectivement 20-25% et 50-56%. De façon globale le déficit engendré par les prévisions erronées par rapport au revenu espéré dans le cas d'une absence de prévision est de 24% en moyenne. Ce déficit moyen est supérieur au gain économique moyen espéré par la prévision climatique.

Les conséquences probables que peuvent engendrer les prévisions erronées sur le revenu peuvent expliquer pourquoi une certaine fraction des agriculteurs enquêtés ne prend pas en compte l'information climatique reçue (Chapitre VI).

Certains paramètres peuvent également influencer l'intérêt économique de l'information climatique. En effet l'absence de PIV, de cuvette, de crédit, puis de cuvette + PIV influence le revenu en fonction du scénario de prévision de crue. Pour les crues basse et moyenne, l'absence de la cuvette impacte moins le revenu mais pour les crues hautes, elle génère un faible revenu. Pendant les crues basse et moyenne, le PIV permet d'assurer la production du riz avec des rendements nettement supérieurs à ceux de la cuvette. La mise en valeur des PIV sous-entend également un accès au capital pour supporter les coûts d'exploitation. Ainsi, l'absence de crédit agricole entrave la mise en valeur du PIV qui, sous les scénarios de crue basse et moyenne, conduit à un faible revenu. Pourtant à Akka comme partout dans le DIN, tout le monde n'a pas accès au PIV et ceci constitue un frein en matière d'adaptation lors des prévisions de crue basse et moyenne. Il faut également noter que les paysans qui ont accès au PIV dans le DIN sont soumis à d'autres types de risques tels qu'une panne de motopompe ou

un arrêt du système de crédit ou de subvention des intrants (Ducrot *et al.* 2002). En cas de panne en cours de campagne, les producteurs peuvent se retrouver lourdement endettés et reviendront alors aux pratiques traditionnelles sans achats d'intrant. Cette situation contraint les potentialités de la prévision climatique.

Par ailleurs, l'accès au crédit agricole est difficile et insuffisant (Ingram *et al.* 2002, Klopper *et al.* 2006), ce qui peut également entraver ou limiter l'utilisation des prévisions climatiques. Le crédit agricole favorise l'emploi d'une main d'œuvre supplémentaire pour couvrir les besoins de travail, l'accès aux intrants pour le riz intensif, l'achat des semences et les frais de fonctionnement des périmètres irrigués (carburant, entretien,...).

L'intérêt économique que l'on peut tirer de la prévision climatique ne dépend pas uniquement de la fiabilité de l'information mais également de la capacité à pouvoir répondre ou s'adapter en fonction de l'information reçue. L'intérêt engendré par l'utilisation des prévisions climatiques survient dans les situations où il y a une combinaison de la prévisibilité climatique, de la réponse du système et de la capacité de décision (Hansen 2002).

### **Conclusion partielle**

La simulation *ex ante* à partir d'un modèle hydroéconomique a permis de mettre en évidence les potentialités de l'information climatique dans une exploitation agricole du DIN. L'information climatique permet d'ajuster le plan de campagne par une allocation optimale des terres en fonction de l'information reçue. Pour les prévisions de crue basse, les superficies inondables de façon naturelle (cuvette) mise en valeur sont réduites et un accent est mis sur les PIV qui permettent de sécuriser les cultures par le pompage. Pour les crues moyennes, de plus grandes superficies inondables sont mises en valeur en plus du PIV. Si les prévisions de crue sont hautes, la main-d'œuvre est employée pour la mise en valeur de grandes surfaces inondables avec de faibles surfaces de PIV. Cette allocation des terres en fonction de la prévision permet de générer un gain moyen global de 10% par rapport à un revenu obtenu en absence de prévision.

Ce gain généré suppose une fiabilité totale de la prévision climatique car une prévision erronée induit un manque à gagner par rapport aux revenus obtenus en absence de prévision. Le manque à gagner s'explique par la différence des superficies mise en valeur. Les plus grandes superficies valorisées en absence de prévision par rapport aux scénarios avec crue basse et moyenne permettent de générer des revenus supplémentaires dans le cas d'une



réalisation de conditions climatiques plus favorables. A l'inverse, les grandes superficies mises en valeur dans les scénarios avec crue haute par rapport à celles valorisées en absence de prévision génèrent plus de pertes en cas de réalisation de conditions climatiques moins favorables. Le déficit moyen engendré par les prévisions erronées est de 24%.

En plus de la fiabilité de l'information, les gains engendrés par l'information climatique pour l'exploitation simulée dépendent de l'accès au PIV, au crédit et à la cuvette d'inondation. Dans les cas de prévisions de crue basse et moyenne, l'absence de PIV et de crédit entrave le gain espéré par la prévision climatique. Pour les prévisions de crue haute, l'absence de PIV et de crédit impacte peu le revenu car les fortes hydraulicités permettent d'exploiter de grandes surfaces dans la cuvette.

Les prévisions climatiques permettent de limiter les pertes lors des crues basses et moyennes et permettent de générer des revenus supplémentaires lors des crues hautes. Ces avantages de l'information climatique dépendent de sa fiabilité mais également la capacité d'adaptation de l'exploitant.

## Conclusions et perspectives

### *Conclusion générale*

L'étude menée sur la problématique centrale de la gestion durable des ressources naturelles du DIN dans un contexte de variabilité climatique et de pression démographique a nécessité une association de méthode qualitative et quantitative et l'implication des parties prenantes à différentes échelles. En effet, une série d'ateliers avec les parties prenantes a permis de définir les stratégies de gestion plus durable comprenant les pratiques de gestion mais également des incitations économiques. La gestion durable des ressources du DIN passe par une atténuation des effets de la variabilité climatique. A cet effet, nous avons mené des enquêtes auprès des populations pour recueillir leur perception et leur besoin en information climatique. Nous avons également simulé à travers un modèle hydroéconomique la valeur économique que peut représenter les prévisions climatiques dans le DIN. Au préalable de tout ceci, une analyse statistique a été faite sur les séries de données hydrologiques, précisément les maximums de crues et leur date de passe.

Le delta intérieur du fleuve Niger est un écosystème complexe où se superposent les activités et les systèmes de gestion. Les modes de production sont étroitement associés à la dynamique de la crue qui a été impactée par les changements climatiques. Les impacts se sont traduits par un déficit des apports en eau fluviaux mais également par une évolution des caractéristiques des pointes de crue.

**L'étude menée sur les maximums** de crue dans le cadre de ce travail a mis en évidence deux particularités du fonctionnement hydrologique du DIN : l'existence de l'effet de seuil déjà évoqué par des études antérieures et l'impact du Bani qui, quand bien même apporte moins de volume au DIN par rapport au Niger, influence les dates de passage des maximums.

En effet, lors des années de forte hydraulité, les crues du Niger et du Bani sont écrêtées à Ké-Macina, Tilembeya et Kara ; celles du Bani à Bénény-Kégny et à Sofara. Cet écrêtement se justifie d'une part par les déversements latéraux des crues du Niger et du Bani dont l'importance croît avec les niveaux de crues et, d'autre part, par un changement de valeur des paramètres hydrauliques régissant le transfert de la crue. Les seuils avoisinent 5 500 m<sup>3</sup>/s pour Ké-Macina, 3 300 m<sup>3</sup>/s pour Tilembeya, 1 700 m<sup>3</sup>/s pour Kara et tourne autour de 2 800 m<sup>3</sup>/s à Bénény-Kégny et 1 640 m<sup>3</sup>/s à Sofara. Les valeurs maximums peuvent se maintenir plusieurs jours au niveau de ces stations.

Par ailleurs, on note un caractère différent entre le Bani et le Niger dans le delta amont. Les dates de passage du maximum de crue varient peu pour les stations situées sur le Niger supérieur à Koulikoro et sur le Niger amont, et ce, quel que soit l'hydraulicité de l'année. Cependant, le Bani diffère du Niger, en ayant des dates d'apparition précoces les années sèches par rapport aux années humides. Il est difficile d'apporter une justification précise à cette différence entre les deux cours d'eau mais elle peut s'expliquer par un transfert très lent du maximum pendant les années de forte hydraulicité, probablement dû aux importantes pertes de volumes du Bani (inondation de la Mésopotamie Niger-Bani et dérivation des eaux vers le Niger). La différence peut également s'expliquer par le fait qu'une importante part des pluies qui arrosent le Bani se produit en situation de type ligne de grain dont la variabilité est liée au régime sahélien plutôt qu'en type mousson plus en liaison avec la climatologie de l'Atlantique équatorial, dont le rythme saisonnier a été probablement moins perturbé qu'au Sahel. Le caractère du Bani s'observe également à la confluence avec le Niger à Mopti et jusqu'à la sortie du DIN à Diré. Le Bani dicte ainsi à partir de Mopti le signal des dates d'apparition des maximums de crue. Ce signal influence également les temps de transferts qui sont plus longs en années humides. Ces dernières années sèches sont donc caractérisées par des dates de passage de maximum de crue précoce qui induisent un retrait des eaux des plaines d'inondation ou décrue également précoce. Sur le plan socioprofessionnel, ceci est une information utile pour les populations de pêcheurs et d'éleveurs dont les calendriers d'activité sont calés par rapport à la décrue. Aussi, la réduction du décalage temporel entre l'aval et l'amont du delta tend à rendre les migrations aléatoires pendant les années sèches car les pêcheurs migrants doivent réduire la durée de la période de migration d'un mois environ pour rejoindre la région des lacs en aval du delta plus propice à la pêche. Egalement, le temps d'attente de l'éleveur dans la partie amont peut être réduit car il peut accéder très tôt aux pâturages du delta aval.

Les changements climatiques n'ont pas seulement réduit les superficies inondées et la productivité du milieu mais également ont impacté les dates de passage des maximums qui influencent les calendriers d'activité.

La réduction des superficies inondées et la baisse de la productivité du milieu combinées à la croissance démographique dans le DIN ont entraîné une certaine surexploitation et dégradation des ressources naturelles. Pour une gestion plus durable des ressources du DIN, deux aspects sont essentiels : l'atténuation et l'adaptation aux effets de la variabilité

climatique mais aussi des incitations à une gestion plus rationnelle. Les parties prenantes du DIN ont identifié un certain nombre de stratégies de gestion plus durable.

Tout d'abord, il y a la sécurisation et la maîtrise de l'eau par des aménagements agro-sylvo-pastoraux. Ces aménagements vont de la réalisation de périmètres irrigués et casiers pour la riziculture et la bourgouculture, au creusement et surcreusement des chenaux et des mares pour améliorer l'inondation et les capacités de stockage. Cette stratégie s'accompagne d'une intensification des systèmes de production par la mécanisation, la fertilisation et l'utilisation de semences améliorées en agriculture ; la bourgouculture, l'embouche et le déstockage pour l'élevage ; la pisciculture et la rizipisciculture pour la pêche. La sécurisation et la maîtrise permettent de pallier aux effets de la variabilité climatique et l'intensification permet d'accroître les rendements en réduisant les pressions sur le foncier.

Ensuite, il y a la stratégie de régénération pour la restauration des espaces dégradés comme les forêts, déboisées à des fins énergétiques ou défrichées pour l'agriculture, les pâturages, également défrichés pour l'agriculture, et les mares. Les actions à mettre en place vont de la mise en défens des espaces dégradés au reboisement des forêts, au repiquage du bourgou et du vétiver dans les pâturages puis à l'empoissonnement des mares.

Enfin, il y a le renforcement des capacités des acteurs locaux, d'abord sur le plan organisationnel, ensuite sur le plan technique puis sur le plan financier avec l'octroi des crédits.

Ces différentes stratégies sont des mesures palliatives aux effets de la mauvaise gestion. Pour solutionner les causes qui sont liées aux comportements néfastes des usagers, nous avons sélectionné avec les parties prenantes des incitations économiques à la gestion durable des ressources naturelles du DIN.

Les principaux comportements néfastes dans le DIN sont : le défrichement des forêts et des pâturages, pratiques et outils de pêche néfastes puis le surpâturage et la surpêche.

Les incitations économiques identifiées privilégient en premier lieu les initiatives locales par les conventions locales de gestion ou accords environnementaux volontaires. Elles définissent les règles d'accès et d'utilisation des ressources forestières, pastorales et halieutiques et facilitent la gestion des conflits. Il y a également les redevances d'utilisation pour régler l'accès et l'utilisation des ressources forestières, pastorales et halieutiques. Les incitations économiques supplémentaires identifiées sont les subventions environnementales pour inciter le reboisement, le droit d'utilisation pour sécuriser le foncier pastoral qui fait face à

l'extension du foncier agricole, les obligations de performances sur le plan halieutique afin d'encourager l'utilisation d'outils et des pratiques de pêche adéquats.

Ces différentes incitations économiques sont déjà prévues dans la législation malienne réglementant l'usage des ressources naturelles. La faiblesse de l'effectivité de ces incitations sur le terrain réside dans le flou juridique entourant le foncier, le manque de moyens financiers et logistiques des collectivités territoriales, la mentalité des populations, la superposition de la législation moderne aux règles traditionnelles encore en vigueur dans le DIN. Toutefois ces obstacles peuvent être levés par la sensibilisation des populations sur les textes et lois en vigueur, et le renforcement du système de gouvernance par le transfert effectif des compétences, des ressources humaines et financières aux collectivités territoriales ; et surtout par la sécurisation et la clarification du foncier-environnement.

Dans l'optique de faire face à la variabilité climatique, les prévisions climatiques sont de plus en plus utilisées au Mali pour améliorer les stratégies de production. Fortement orienté vers les systèmes de production pluviale, nous avons investigué les populations du DIN pour identifier les besoins en informations climatiques dans un système de production fluvo-pluvial.

Ces besoins concernent les dates de démarrage des saisons de pluie locale, la date d'arrivée et la durée de submersion des crues pour les agriculteurs.

Les informations sur la date de démarrage des saisons des pluies et la date d'arrivée des crues permettent aux agriculteurs de décider quand semer, et la durée de submersion permet de choisir et préparer de façon efficiente les champs.

Les besoins des éleveurs et des pêcheurs sont la date de passage du maximum (amorce de la décrue) et la hauteur maximale de crue qui leur permettent de décider de la date d'entrée des animaux dans le DIN et d'indiquer aux pêcheurs le démarrage de leur activité. La hauteur maximale de crue qui renseigne sur les superficies totales inondables et la productivité du milieu permet aux éleveurs de gérer le nombre des animaux et leur traitement sanitaire. La prévision de la hauteur maximale permet au pêcheur de choisir les pêcheries et préparer ou acquérir les engins de pêche. Les éleveurs utilisent les prévisions pour décider de l'entrée et de la sortie des animaux du delta, la gestion du nombre et le traitement sanitaire.

Pendant longtemps, les usagers du DIN se sont appuyés sur les systèmes de prévision traditionnels axés sur l'observation et l'interprétation des éléments de la nature, pour obtenir une information climatique. Avec les mutations environnementales dues aux changements

climatiques, les usagers ont de plus en plus recours aux prévisions modernes. L'information climatique revêt une importance capitale pour les usagers du DIN mais doit être suffisamment accessible et appropriée.

En absence d'évaluation *ex post* de l'utilité de l'information climatique, les simulations *ex ante* à partir d'un modèle hydroéconomique a permis de mettre en évidence son intérêt économique pour les agriculteurs du village de Akka. Les prévisions climatiques permettent d'optimiser les superficies mises en valeur en fonction de l'information. En absence de l'information climatique, les superficies mises en valeur sont optimisées pour tous les différents types de saison et de crue. Le gain économique moyen obtenu en utilisant l'information climatique est de 10% et peut atteindre 26% pour les saisons humides et les crues hautes. Les prévisions peuvent être utilisées dans le DIN pour améliorer le revenu des producteurs en réduisant le risque climatique et en s'adaptant en fonction de l'information. Mais il est primordial que ces prévisions soient fiables car le gain généré peut se muer en une perte plus importante en cas de prévision erronée. En effet, les pertes dues aux prévisions erronées représentent en moyenne 24% et peuvent valoir 50 à 56% lors des prévisions erronées de crue haute.

Pour tirer un avantage des prévisions climatiques il est nécessaire que le producteur dispose de moyens d'adaptation tels que les PIV pour pouvoir sécuriser sa production par pompage lors des faibles crues. Il est également nécessaire d'avoir accès au crédit pour supporter le cout de fonctionnement du PIV, l'achat d'intrants et de semence et surtout l'emploi d'une main d'œuvre supplémentaire.

Pour tirer un avantage économique des prévisions climatiques dans un système de production fluvo-pluvial comme le DIN, il faut au préalable une fiabilité de l'information mais également la mise à disposition de moyens d'adaptation. La condition primordiale est un accès aux terres inondées, car une simple mise en valeur des terres exondées dans le DIN génère de faibles revenus.

Au terme de ce travail, nous avons répondu aux différentes questions de recherche émises au départ :

- ✓ En ce qui concerne le fonctionnement hydrologique du delta, nous avons mis en évidence une particularité qui se réfère au caractère des dates de passages des maximums de crue imprimé par le Bani.

- ✓ Les stratégies de gestion durable des ressources nécessitent des actions d'intensification et de maîtrise de l'eau pour augmenter la productivité et diminuer la pression sur les ressources. Les incitations nécessaires pour des comportements de gestion durable des usagers du DIN existent dans la législation malienne mais nécessite une amélioration et/ou clarification des textes et leur mise en œuvre effective sur le terrain.
- ✓ L'étude sur la perception sociale des prévisions climatiques a permis de souligner la particularité des besoins en informations climatiques des usagers d'une plaine inondable comme celui du DIN. Ces besoins sont relation avec le système de production fluvo-pluvial.
- ✓ La simulation de l'intérêt économique a permis de souligner les potentialités des prévisions climatiques. Elles permettent de réduire les pertes pendant les sécheresses et de générer un revenu supplémentaire pendant les années humides.

La méthodologie adoptée présentait cependant quelques faiblesses que sont :

- ✓ Les ateliers ont permis d'élaborer les stratégies de gestion durable mais il a manqué leur simulation afin d'évaluer les impacts probables sur l'écosystème et sur les conflits.
- ✓ Les outils utilisés pour l'identification des instruments économique semblent complexes et peu adapté pour la sélection d'instruments économique dans le cas du delta. Mais cela ne remet pas en cause les résultats car les outils ont permis d'ouvrir la discussion avec les acteurs et de choisir les instruments autres que ceux proposés par les outils, mieux adaptés au contexte du DIN.

Ainsi, quelques pistes d'amélioration se présentent.

D'abord une étude supplémentaire sur le fonctionnement hydrologique du DIN s'avère nécessaire pour identifier les causes tangibles du caractère particulier du Bani concernant les dates de passage des maximums de crue. Ensuite, il sera intéressant d'explorer la possibilité d'inclure les stations du Bani dans l'outil OPIDIN afin d'améliorer le temps de prévision des maximums de crue ainsi que leur date probable de passage.

Ensuite, une simulation des impacts des stratégies à travers des jeux de rôle avec les parties prenantes du DIN. Pour terminer, il sera judicieux de valider le modèle sur le terrain par le suivi d'un groupe de riziculteurs en ayant un groupe témoin qui n'utiliseront pas les prévisions et un autre qui feront usage des prévisions climatiques.

## Bibliographie

- Adams, R.M., Bryant, K.J., McCarl, B.A., Legler, D.M., O'Brien, J., Solow, A., and Weiher, R., 1995. Value of improved longirange weather information. *Contemporary Economic Policy*, 13 (3), 10–19.
- Adams, W.M., 1993. Indigenous use of wetlands and sustainable development in West Africa. *Geographical Journal*, 209–218.
- Auvray, C., 1960. *Monographie du Niger, B : la cuvette lacustre*. Paris: Ors.
- Bâ, A.H. and Daget, J., 1984. *L'empire Peul du Macina (1818-1853)*. Ecole des . Paris: Mouton.
- Ba, B., 2010. *Pouvoir, ressources et développement dans le delta central du Niger*. l'Harmattan.
- Le Barbé, L., Lebel, T., and Tapsoba, D., 2002. Rainfall variability in West Africa during the years 1950-90. *Journal of climate*, 15 (2), 187–202.
- Barrière, O., 2001. *Gestion des ressources naturelles renouvelables et conservation des écosystèmes au Sahel: le foncier-environnement*. Presses universitaires du Septentrion.
- Barrière, O., 2002. *Un droit à inventer: foncier et environnement dans le delta intérieur du Niger (Mali)*. IRD Editions.
- Barrière, O. and Barrière, C., 1995. Le foncier-environnement: pour une gestion viable des ressources naturelles renouvelables au Sahel: 1. Approche interdisciplinaire dans le delta intérieur du Niger (Mali). 2. Répertoire des conflits fonciers du delta intérieur du Niger (Mali). 3. Index et.
- Barrière, O. and Barrière, C., 1996. Approches environnementales: systèmes fonciers dans le delta intérieur du Niger: de l'implosion du droit traditionnel à la recherche d'un droit propice à la sécurisation foncière.
- Beintema, A., Van Der Kamp, A., and Koné, B., 2007. *Les forêts inondées: trésor du delta intérieur du Niger au Mali*.
- Bélières, J.F., N'Diaye, M.K., and N'Djim, H., 2007. Variables et régulation de l'eau. In: *Avenir du fleuve Niger*.
- Berkes, F. and Folke, C., 1992. A systems perspective on the interrelations between natural, human-made and cultural capital. *Ecological economics*, 5 (1), 1–8.
- Bohn, L.E., 2000. The use of climate information in commercial agriculture in southeast Africa. *Physical Geography*, 21 (1), 57–67.
- Bootsma, H.A. and Hecky, R.E., 1993. Conservation of the African Great Lakes: a limnological perspective. *Conservation Biology*, 644–656.
- Bouali, L., 2009. Prévisibilité et prévision statistico-dynamique des saisons des pluies associées à la mousson ouest africaine à partir d'ensembles multi-modèles.
- Bouaré, K.N., 2012. Dynamiques spatiales et mobilités paysannes: les relations agriculture-élevage dans deux terroirs agro-pastoraux du Delta intérieur du fleuve Niger (Mali). Université de Poitiers.
- Bricquet, J.-P., Bamba, F., Mahe, G., Toure, M., and Olivry, J.-C., 1997. Evolution récente des ressources en eau de l'Afrique atlantique. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 10 (3), 321–337.
- Brunet-Moret, Y., Chaperon, P., Lamagat, J.P., and Molinier, M., 1986. Monographie hydrologique du Fleuve Niger. Tome I: Niger supérieur; Tome II: Cuvette lacustre et Niger moyen. *Monographies Hydrologiques*, (8).
- Bugenyi, F.W.B., 1993. Some considerations on the functioning of tropical riparian ecotones. *Hydrobiologia*, 251 (1-3), 33–38.
- Bühlera, È.A., Cavaillé, F., and Gambino, M., 2006. Le jeune chercheur et l'interdisciplinarité en sciences sociales. *Natures Sciences Sociétés*, 14 (4), 392–398.



- Bullock, A., Gilman, K., McCartney, M., Waughray, D., Blyth, K., and Andrews, A., 1998. Hydrological strategy to develop and manage African wetland resources for sustainable agricultural use.
- Bureau, D., 2005. Economie des instruments de protection de l'environnement. *Revue française d'économie*, 19 (4), 83–110.
- Carbonnel, J.-P. and Hubert, P., 1985. Sur la sécheresse au Sahel d'Afrique de l'Ouest. Une rupture climatique dans les séries pluviométriques du Burkina Faso (ex Haute-Volta). *Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'univers, Sciences de la Terre*, 301 (13), 941–944.
- Cissé, C. and Morand, P., 2007. Cadre institutionnel et juridique de gestion de l'activité liée au fleuve Niger. *In: Avenir du fleuve Niger*.
- Cisse, S., 1986. Les territoires pastoraux du delta Interieur du Niger. *Nomadic Peoples*, 21–32.
- Cissé, S., 1986. Le delta intérieur du Niger: organisation spatiale. *Pastoralists of the West African Savanna, Manchester*, 283–297.
- Cocks, K.D., 1968. Discrete stochastic programming. *Management science*, 15 (1), 72–79.
- Coe, M.T. and Foley, J.A., 2001. Human and natural impacts on the water resources of the Lake Chad basin. *Journal of geophysical research*, 106 (D4), 3349–3356.
- Coe, R. and Stern, R.D., 2011. Assessing and addressing climate-induced risk in sub-Saharan rainfed agriculture: Lessons learned. *Experimental Agriculture*, 47 (02), 395–410.
- Cooper, P.J.M. and Coe, R., 2011. Assessing and addressing climate-induced risk in sub-Saharan rainfed agriculture. *Experimental Agriculture*, 47 (02), 179–184.
- Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., and Paruelo, J., 1998. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological economics*, 1 (25), 3–15.
- Crane, T., Roncoli, C., and Hoogenboom, G., 2011. Adaptation to climate change and climate variability: the importance of understanding agriculture as performance. *JNAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 57, 179–185.
- Daget, J., 1949. La pêche dans le Delta Central du Niger. *Journal de la Société des Africanistes*, 19 (1), 1–79.
- Daly, H.E., 1992. Allocation, distribution, and scale: towards an economics that is efficient, just, and sustainable. *Ecological Economics*, 6 (3), 185–193.
- Dembélé, C., 2009. La décentralisation et les réformes de tenure forestière au Sahel: Mali, Niger et Burkina Faso. *Forest Tenure, Governance and Enterprise—New Opportunities for Central and West Africa*, 25–29.
- Dezetter, A., Paturel, J.-E., Ruelland, D., Ardoin-Bardin, S., Ferry, L., Mahé, G., Dieulin, C., and Servat, E., 2010. Prise en compte des variabilités spatio-temporelles de la pluie et de l'occupation du sol dans la modélisation semi-spatialisée des ressources en eau du haut fleuve Niger. *In: Global Change: facing risks and threats to water resources (Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010)*, IAHS Publ. 340, 544–552.
- Dicko, A.K., 2002. Les conventions locales comme cadre de référence pour l'exercice des compétences des acteurs de la décentralisation dans la GRN au Mali-Bilan et perspectives. *Rapport d'étude, Coopération allemande au développement GTZ, PACT (Programme d'appui aux collectivités territoriales gestion des ressources naturelle, ronéotypé, Bamako)*.
- Dixon, A.B. and Wood, A.P., 2003. Wetland cultivation and hydrological management in eastern Africa: Matching community and hydrological needs through sustainable wetland use. *Natural Resources Forum*, 27, 117–129.

- Djiré, M. and Delville, P.L., 2012. Réaliser le transfert de compétences en GRN pour assurer l'effectivité de la décentralisation et consolider la démocratie- Le cas du Mali [online]. *Numéro 21 \* Novembre 2012*. Available from: [http://www.labo-citoyennete.org/attachments/article/82/Note-politique-Negos\\_21.pdf](http://www.labo-citoyennete.org/attachments/article/82/Note-politique-Negos_21.pdf) [Accessed 20 Aug 2015].
- Djiré, M. and Dicko, A.K., 2007. *Les conventions locales face aux enjeux de la décentralisation au Mali*. KARTHALA Editions.
- Drijver, C.A. and Marchand, M., 1985. Taming the floods: Environmental aspects of floodplain development in Africa.
- Ducrot, R., Zaslavsky, J., and Magassa, H., 2002. Dynamismes et contraintes du développement de la petite irrigation: cas du delta intérieur du Niger au Mali.
- Dugan, P., 1992. *Wetlands in danger*. Mitchell Beazley London Ltd.
- Dugan, P.J., 1990. *Wetland conservation: A review of current issues and required action*. IUCN.
- Durand, J.-R., 1994. Dynamique actuelle de la ressource. In: *Lapêche dans le delta central du Niger*. 209–212.
- Ellison, A.M., 2004. Wetlands of central America. *Wetlands Ecology and Management*, 12 (1), 3–55.
- Fay, C., 1989a. Sacrifices, prix du sang, «eau du maître»: fondation des territoires de pêche dans le delta central du Niger (Mali). *Cahiers des sciences humaines*, 25, 1–2.
- Fay, C., 1989b. Systèmes halieutiques et espaces de pouvoirs: transformation des droits et des pratiques de pêche dans le delta central du Niger (Mali): 1920-1980. *Cahiers des Sciences Humaines*, 25, 1–2.
- Fay, C., 1995. La démocratie au Mali, ou le pouvoir en pâture (Democracy in Mali, or the Wandering Power). *Cahiers d'études africaines*, 19–53.
- Fay, C., 1997. La ruralité revue et corrigée par l'Etat: représentations et traitements du paysannat dans le delta central du Niger (Mali), 53–77.
- Fay, C., 2005. Paradigmes de la ' coutume ' et réalité des pouvoirs au Maasina (Mali): une matrice coloniale qui perdure?
- Folland, C.K., Palmer, T.N., and Parker, D.E., 1986. Sahel rainfall and worldwide sea temperature. *Nature*, 320, 602–606.
- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S., and Walker, B., 2002. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. *AMBIO: A journal of the human environment*, 31 (5), 437–440.
- Galbraith, H., Amerasinghe, P., and Huber-Lee, A., 2005. The Effects of Agricultural Irrigation on Wetland Ecosystems in Developing Countries: A Literature Review. *Agriculture*, 1–30.
- Gallais, J., 1962. Signification du groupe ethnique au Mali. *l'homme*, 106–129.
- Gallais, J., 1967. *Le delta intérieur du Niger: étude de géographie régionale*. Ifan Dakar.
- Gallais, J., 1984. Hommes du Sahel. Espaces-Temps et Pouvoirs. Le Delta intérieur du Niger. 1960-1980.
- Gawler, M. and Bérédogo, B., 2002. *Support Project for Wetland Management in the Inner Niger Delta*.
- Gourou, P., 1969. Le delta intérieur du Niger. *L'Homme*, 74–77.
- Gumbrecht, T., McCarthy, J., and McCarthy, T.S., 2004. Channels, wetlands and islands in the Okavango Delta, Botswana, and their relation to hydrological and sedimentological processes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29 (1), 15–29.
- Hamatan, M., Mahe, G., Servat, É., Patrel, J.-E., and Amani, A., 2004. Synthèse et évaluation des prévisions saisonnières en Afrique de l'Ouest. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 15 (3), 279–286.

- Hamerlynk, O., Luke, Q., Nyange, T.M., Duvail, S., and Leauthaud, C., 2012. Range Extension, Imminent Threats and Conservation Options for Two Endangered Primates: The Tana River Red Colobus *Procolobus rufomitratus rufomitratus* and the Tana River Mangabey *Cercocebus galeritus* in the Lower Tana Floodplain and Delta, Kenya. *African Primates*, 7 (2), Pp–211.
- Hansen, J.W., 2002. Realizing the potential benefits of climate prediction to agriculture: issues, approaches, challenges. *Agricultural Systems*, 74 (3), 309–330.
- Hansen, J.W., Challinor, A., Ines, A.V.M., Wheeler, T., and Moron, V., 2006. Translating climate forecasts into agricultural terms: advances and challenges. *Climate Research*, 33 (1), 27–41.
- Hansen, J.W., Mason, S.J., Sun, L., and Tall, A., 2011. Review of seasonal climate forecasting for agriculture in sub-saharan Africa. *Experimental Agriculture*.
- Hardin, G., 1968. The tragedy of the commons. *science*, 162 (3859), 1243–1248.
- Hazell, P.B.R., Norton, R.D., Hazell, P.B.R., and Hazell, P.B.R., 1986. *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. Macmillan New York.
- Hoekstra, J.M., Boucher, T.M., Ricketts, T.H., and Roberts, C., 2005. Confronting a biome crisis: global disparities of habitat loss and protection. *Ecology letters*, 8 (1), 23–29.
- Hollis, G.E., 1990. Environmental impacts of development on wetlands in arid and semi-arid lands. *Hydrological Sciences Journal*, 35 (4), 411–428.
- Hubert, P., Carbonnel, J.P., and Chaouche, A., 1989. Segmentation des séries hydrométéorologiques—application à des séries de précipitations et de débits de l’Afrique de l’ouest. *Journal of hydrology*, 110 (3), 349–367.
- Hulme, M., 1992. Rainfall changes in Africa: 1931–1960 to 1961–1990. *International Journal of Climatology*, 12 (7), 685–699.
- Hulme, M., Biot, Y., Borton, J., Buchanan-Smith, M., Davies, S., Folland, C., Nicholds, N., Seddon, D., and Ward, N., 1992. Seasonal rainfall forecasting for Africa part II—application and impact assessment. *International Journal of Environmental Studies*, 40 (2-3), 103–121.
- Ingram, K.T., Roncoli, M.C., and Kirshen, P.H., 2002. Opportunities and constraints for farmers of west Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study, 74, 331–349.
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013. *Fifth Assessment Report (AR5)*.
- Jones, J., Hansen, J.W., Royce, F., and Messina, C., 2000. Potential benefits of climate forecasting to agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*.
- Junk, W.J., Bayley, P.B., and Sparks, R.E., 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences*, 106 (1), 110–127.
- Junk, W.J. and Wantzen, K.M., 2004. The flood pulse concept: new aspects, approaches and applications-an update. In: *Second International Symposium on the Management of Large Rivers for Fisheries*. Food and Agriculture Organization and Mekong River Commission, FAO Regional Office for Asia and the Pacific, 117–149.
- Junk, W.J. and Welcomme, R.L., 1990. Floodplains. *Wetlands and shallow continental water bodies*, 1, 491–524.
- Kairu, J.K., 2001. Wetland use and impact on Lake Victoria, Kenya region. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 6 (2), 117–125.
- Kamaté, C., 1980. Climat. *Atlas du Mali, Les Atlas jeune Afrique, les éditions ja*, 64.
- Karsenty, A. and Weber, J., 2004. Les marchés de droits pour la gestion de l’environnement: Introduction générale: Marché de droits et environnement. *Revue Tiers monde*, (177).
- Kassibo, B., 1997. La décentralisation au Mali: état des lieux. *Bulletin de l’APAD*, (14).

- Kgathi, D.L., Kniveton, D., Ringrose, S., Turton, A.R., Vanderpost, C.H.M., Lundqvist, J., and Seely, M., 2006. The Okavango; a river supporting its people, environment and economic development. *Journal of Hydrology*, 331 (1), 3–17.
- Kirshen, P.H. and Flitcroft, I.D., 2000. Use of seasonal precipitation forecasting to improve agricultural production in the Sudano-Sahel: an institutional analysis of Burkina Faso. *In: Natural resources forum*. Wiley Online Library, 185–195.
- Klopper, E., Vogel, C.H., and Landman, W.A., 2006. Seasonal climate forecasts–potential agricultural-risk management tools? *Climatic Change*, 76 (1-2), 73–90.
- Kodio, A., Morand, P., Dienepo, K., and Laë, R., 2002. Dynamique de la pêche du delta intérieur du Niger revisitée à la lumière des données récentes: implications en terme de gestion. *In: Gestion intégrée des Ressources Naturelles en zone inondable tropicale. Éditions de l'IRD, Colloques et séminaires*.
- Kolberg, H., Griffin, M., and Simmons, R., 1997. The ephemeral wetlands of central Northern Namibia. *In: Hails, A.J. (Ed.), Wetlands, Biodiversity and the Ramsar Convention. Ramsar Convention Bureau, Gland*. 4–6.
- Koné, A., 1986. Traditional fishing rights in the central delta of the Niger and the lake region: conflicts and recommendations with a view to equitable and rational management of fishery resources. *In: Summary of proceedings and selected papers: Symposium on the Planning and Implementation of Fisheries Management and Development Programmes in Africa, Lusaka, Zambia, 7-11 October 1985*. Food & Agriculture Org, 95.
- Koné, M., 1991. Pêches collectives et aménagement des mares dans le Delta Central du Niger. *Rapport de stage, Montpellier, USTL-CREUFOP*.
- Koné, S., 2007. *Rapport d'étude sur l'inventaire et analyse des conflits fonciers et initiatives existantes dans la région de Mopti. Forum des peuples, 6ème édition*.
- Koohafkan, P., Nachtergaele, F., and Antoine, J., 1998. Use of agro-ecological zones and resource management domains for sustainable management of African wetlands. *Wetland Characterization and Classification for Sustainable Agricultural Development, FAO/SAFR, Rome*.
- Kouamé, B., Paturol, J.E., Servat, E., Lubès, H., Fritsch, J.M., and Masson, J.M., 1997. Variations hydroclimatiques en Afrique de l'Ouest et Centrale. *Climate Variability, Water Resources and Agricultural Productivity: Food Security Issues in Tropical Sub-Saharan Africa*, 260.
- Kruskal, W.H. and Wallis, W.A., 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American statistical Association*, 47 (260), 583–621.
- Kuper, M., Hassane, A., Orange, D., Chohin-Kuper, A., and Sow, M., 2002. Régulation, utilisation et partage des eaux du fleuve Niger: Impact de la gestion des aménagements hydrauliques. *In: Gestion intégrée des Ressources Naturelles en zone inondable tropicale. Éditions de l'IRD, Colloques et séminaires*. 411–430.
- L'Hôte, Y. and Mahé, G., 1995. Afrique de l'ouest et centrale: précipitations moyennes annuelles (période 1951-1989). Echelle 1/6 000 000 ème. Collection des cartes ORSTOM, ORSTOM Ed., Bondy.
- Laë, R., Maïga, M., Raffray, J., and Troubat, J.-J., 1994. Évolution de la pêche.
- Lamagat, J.-P., Sambou, S., and Albergel, J., 1996. Analyse statistique de l'écoulement d'un fleuve dans une plaine d'inondation: application aux cotes maximales du fleuve Niger dans la cuvette lacustre. *IAHS Publication*, 367–380.
- Lamb, P.J., 1982. Persistence of Subsaharan drought. *Nature*, 299, 46–48.
- Léauthaud-Harnette, C., 2013. De l'influence des crues sur les services écosystémiques des prairies inondables. Université de Montpellier II.
- Leblon, A., 2011. Le patrimoine pastoral au prisme de la décentralisation politique. Les fêtes du yaaral et du degal au Mali. *Géographie et cultures*, (79), 11–28.

- Lehner, B. and Döll, P., 2004. Development and validation of a global database of lakes, reservoirs and wetlands. *Journal of Hydrology*, 296 (1), 1–22.
- Lemly, A.D., Kingsford, R.T., and Thompson, J.R., 2000. Irrigated agriculture and wildlife conservation: conflict on a global scale. *Environmental management*, 25 (5), 485–512.
- Letson, D., Podestá, G.P., Messina, C.D., and Ferreyra, R.A., 2005. The uncertain value of perfect ENSO phase forecasts: stochastic agricultural prices and intra-phase climatic variations. *Climatic Change*, 69 (2-3), 163–196.
- Lewis, F., Interwies, E., Giuliani, G., Guigoz, Y., and Görlitz, S., 2014. Developing and applying a Decision Support Tool and Design Matrix for selecting and designing Economic Instruments for INRM. *Environmental Planning and Management*.
- Lima, S., 2003. Découpage entre espace et territoire: la fin des limites? La fabrication des territoires communaux dans la Région de Kayes (Mali).
- Liniger, H.P., Studer, R.M., Hauert, C., and Gurtner, M., 2011. *Sustainable Land Management in Practice – Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa. TerraAfrica, World Overview of Conservation Approaches and Technologies (WOCAT) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*.
- Loth, P. and Acreman, M.C., 2004. *The return of the water: restoring the Waza Logone Floodplain in Cameroon*. IUCN.
- Lubes-Niel, H., Masson, J.M., Paturel, J.-E., and Servat, E., 1998. Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 11 (3), 383–408.
- Mahé, G., 2009. Surface/groundwater relationships in two great river basins in West Africa, Niger and Volta. *Hydrological Sciences Journal*, 54 (4), 704–712.
- Mahé, G., Bamba, F., Orange, D., Fofana, L., Kuper, M., Marieu, B., Soumaguel, A., and Cissé, N., 2002. Dynamique hydrologique du delta intérieur du Niger (Mali). In: *Séminaire International GIRN-ZIT, Colloques et séminaires*. IRD, 179–195.
- Mahé, G., Bamba, F., Soumaguel, A., Orange, D., and Olivry, J.-C., 2009. Water losses in the Niger river inner delta: water balance and flooded surfaces. *Hydrological Processes*, 23 (22), 3157–3160.
- Mahé, G., Lienou, G., Bamba, F., Paturel, J.-E., Adeaga, O., Descroix, L., Mariko, A., Olivry, J.-C., Sangaré, S. 2011. Niger river and climate change over 100 years. In: *Hydro-climatology: Variability and Change*, S.W. Franks, E. Boegh, E. Blyth, D.M. Hannah, K.K. Yilmaz (Eds.). Proceedings of symposium J-H02 held during IUGG2011 in Melbourne, Australia, July 2011, IAHS Publ. 344, 131-137..
- Mahé, G., Mariko, A., and Orange, D., 2013. Relationships between water level at hydrological stations and inundated area in the River Niger Inner Delta, Mali. In: *Deltas: landforms, ecosystems and human activities*, (G. Young, G. Perillo, A. Haksoy, J. Bogen, A. Gelfan, G. Mahe, P. Marsh, H. Savenije, Eds). IAHS Publ. 358, 110–115.
- Mahé, G., Olivry, J.-C., Dessouassi, R., Orange, D., Bamba, F., and Servat, E., 2000. Relations eaux de surface–eaux souterraines d'une rivière tropicale au Mali. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences-Series IIA-Earth and Planetary Science*, 330 (10), 689–692.
- Mahe, G., Olivry, J.C., Servat, E., Franks, S., Wagener, T., Bøgh, E., Gupta, H. V, Bastidas, L., Nobre, C., and de Galvão, C.O., 2005. Sensibilité des cours d'eau ouest-africains aux changements climatiques et environnementaux : extrêmes et paradoxes. *Proc. AISH Conf. Int. Regional Hydrological Impacts of Climate Change – Hydroclimatological Variability, Foz do Iguaçu, Brésil*. AISH Publ. 296, 169-177.
- Mahé, G., Orange, D., Mariko, A., and Bricquet, J.P., 2011. Estimation of the flooded area of the Inner Delta of the River Niger in Mali by hydrological balance and satellite data. In:

- Hydro-climatology*, S.W. Franks, E. Boegh, E. Blyth, D.M. Hannah, K.K. Yilmaz (Eds.). Proceedings of symposium J-H02 held during IUGG2011 in Melbourne, Australia, July 2011, IAHS Pub. 344, 138-143.
- Mahé, G. and Paturel, J.-E., 2009. 1896–2006 Sahelian annual rainfall variability and runoff increase of Sahelian Rivers. *Comptes Rendus Geoscience*, 341 (7), 538–546.
- Maiga, A., 1997. Analyse de la problématique du foncier pastoral et de sa législation dans les zones sahélienne et soudanienne du Mali. In: A. Bourbouze, B. Msika, N. Nasr, and M. Sghaier Zaafouri, eds. *Pastoralisme et foncier: impact du régime foncier sur la gestion de l'espace pastoral et la conduite des troupeaux en régions arides et semi-arides*. Montpellier, 51–56.
- Maltby, E., 2013. *Waterlogged wealth: why waste the world's wet places?* Routledge.
- Marie, J., 2002. Enjeux spatiaux et fonciers dans le Delta intérieur du Niger (Mali): Delmasig, un SIG à vocation locale et régionale.
- Mariko, A., 2004. Caractérisation et suivi de la dynamique de l'inondation et du couvert végétal dans le delta intérieur du Niger (Mali) par télédétection. Montpellier 2.
- Mariko, A., Mahé, G., and Servat, E., 2003. Les surfaces inondées dans le delta intérieur du Niger au Mali par NOAA/AVHRR. *Bulletin-Société française de photogrammétrie et de télédétection*, (172), 61–68.
- Marteau, R., Sultan, B., Moron, V., Alhassane, A., Baron, C., and Traoré, S.B., 2011. The onset of the rainy season and farmers' sowing strategy for pearl millet cultivation in Southwest Niger. *Agricultural and forest meteorology*, 151 (10), 1356–1369.
- Matthews, E. and Fung, I., 1987. Methane emission from natural wetlands: global distribution, area, and environmental characteristics of sources. *Global biogeochemical cycles*, 1 (1), 61–86.
- McCarthy, T.S., McIver, J.R., and Verhagen, B.T., 1991. Groundwater evolution, chemical sedimentation and carbonate brine formation on an island in the Okavango Delta swamp, Botswana. *Applied Geochemistry*, 6 (6), 577–595.
- McNeely, J.A., 1988. *Economics and biological diversity: developing and using economic incentives to conserve biological resources*. IUCN.
- McNeely, J.A., 1993. Economic incentives for conserving biodiversity: lessons for Africa. *Ambio*, 144–150.
- MDRE-Ministère du développement rural et de l'environnement, 1992. *Recensement du cheptel national*. Bamako.
- Meza, F.J., Hansen, J.W., and Osgood, D., 2008. Economic value of seasonal climate forecasts for agriculture: Review of ex-ante assessments and recommendations for future research. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*.
- Mitsch, W.J. and Gosselink, J.G., 1993. Wetlands, 722 pp. *VanNostrand Reinhold, New York*.
- Mitsch, W.J. and Gosselink, J.G., 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. *Ecological economics*, 35 (1), 25–33.
- Moseley, W.G., Earl, J.A., and Diarra, L., 2002. L et les conflits entre agriculteurs et éleveurs dans le delta intérieur du Niger. *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*, 101.
- Mumba, M. and Thompson, J.R., 2005. Hydrological and ecological impacts of dams on the Kafue Flats floodplain system, southern Zambia. *Physics and chemistry of the Earth, parts A/B/C*, 30 (6), 442–447.
- Murray-Hudson, M., Wolski, P., and Ringrose, S., 2006. Scenarios of the impact of local and upstream changes in climate and water use on hydro-ecology in the Okavango Delta, Botswana. *Journal of Hydrology*, 331 (1), 73–84.
- Nadio, M., 1984. L'évolution du delta intérieur du Niger (Mali): 1956-1980 d'une région sous peuplée à une région sur-exploitée?

- De Noray, M.-L., 2003. Delta intérieur du fleuve Niger au Mali—quand la crue fait la loi: l'organisation humaine et le partage des ressources dans une zone inondable à fort contraste. *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 4 (3).
- Odada, E.O., Onyando, J.O., and Obudho, P.A., 2006. Lake Baringo: Addressing threatened biodiversity and livelihoods. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 11 (4), 287–299.
- Ogilvie, A., Belaud, G., Delenne, C., Bailly, J.-S., Bader, J.-C., Oleksiak, A., Ferry, L., and Martin, D., 2015. Decadal monitoring of the Niger Inner Delta flood dynamics using MODIS optical data. *Journal of Hydrology*, 523, 368–383.
- Ogutu-Ohwayo, R. and Balirwa, J.S., 2006. Management challenges of freshwater fisheries in Africa. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 11 (4), 215–226.
- Olivry, J.-C., 1987. Les conséquences durables de la sécheresse actuelle sur l'écoulement du fleuve Sénégal et l'hypersalinisation de la basse Casamance. *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources*, 501–512.
- Olivry, J.-C., 1995. Fonctionnement hydrologique de la Cuvette Lacustre du Niger et essai de modélisation de l'inondation du Delta intérieur. *Grands bassins fluviaux périalantiques: Congo, Niger, Amazone. ORSTOM, Paris*, 267–280.
- Olivry, J.C., Bricquet, J.P., Bamba, F., and Diarra, M., 1995. Le régime hydrologique du Niger supérieur et le déficit des deux dernières décennies. In: 'Grands Bassins Fluviaux' (J.C. Olivry et J. Boulègue Ed. Sci.), *Actes du Colloque PEGI, 22-24 Novembre 1993. Séminaires, Colloques et ORSTOM*, 251–266.
- Olivry, J.-C., Bricquet, J.-P., and Mahé, G., 1998. Variabilité de la puissance des crues des grands cours d'eau d'Afrique intertropicale et incidence de la baisse des écoulements de base au cours des deux dernières décennies. In: *Servat E., Hugues D., Fritsch J.M. & Hulme M. (Eds): Water Resources Variability in Africa during the XXth Century*. 1 Proceedings de la conférence ABIDJAN'98, ORSTOM/AISH/UNESCO, Publ. AISH 252, 189-197.
- Orange, D., 2002. *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*. IRD Editions.
- Orange, D., Mahé, G., Dembélé, L., Diakité, C.H., Kuper, M., and Olivry, J.-C., 2002. Hydrologie, agro-écologie et superficies d'inondation dans le delta intérieur du Niger. *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales (D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand, and Y. Poncet, eds.)*. Editions de l'IRD, Collection Colloques et Séminaires, Paris, France, 209–229.
- Orlove, B.S., Broad, K., and Petty, A.M., 2004. Factors that influence the use of climate forecasts: Evidence from the 1997/98 El Niño event in Peru. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85 (11), 1735–17433.
- Ostrovskaya, E., Douven, W., Schwartz, K., Pataki, B., Mukuyu, P., and Kaggwa, R.C., 2013. Capacity for sustainable management of wetlands: Lessons from the WETwin project. *Environmental Science & Policy*, 34, 128–137.
- Paturel, J.-E., Diawara, A., Kong, A., Siou, L., Talin, E., Ferry, L., Mahé, G., Dezetter, A., Muther, N., and Martin, D., Rouché, N., L'Aour-Cres, A., Seguis, L., Coulibaly, N., Bahire-Kone, S., Koité, M., 2010. Caractérisation de la sécheresse hydropluviométrique du Bani, principal affluent du fleuve Niger au Mali. In: *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources*. Proc. of the Sixth World FRIEND Conference, Fez, Morocco, October 2010), IAHS Publ. 340, 661-667.
- Pepper, D., 1996. *Modern environmentalism: an introduction*. Routledge. London: Psychology Press.

- Pettitt, A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied statistics*, 126–135.
- Picouet, C., 1999. Géodynamique d'un hydrosystème tropical peu anthropisé: le bassin supérieur du Niger et de son delta intérieur.
- Picouet, C., Orange, D., Mahé, G., and Olivry, J.-C., 2002. Rôle du delta intérieur du fleuve Niger dans la régulation des bilans de l'eau et de sédiments. *Orange et al.: Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales, Colloques et séminaires, Ed. IRD, Paris*, 245–258.
- Polanyi, K., 1983. La grande transformation. Aux origines politiques et économiques de notre temps. *Paris. Gallimard*.
- Poncet, Y., 1994. Les milieux du delta central. In: *n Quensière J. (éd.): La pêche dans le delta central du Niger*. Paris: IER Orstom-Karthala, 58–66.
- Poncet, Y., 2002. Hydrosystèmes, sociosystèmes. D. Orange, RK Arfi, P. Morand, & Y. Poncet, *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*, 33–48.
- Poncet, Y., Kuper, M., Mullon, C., Morand, P., and Orange, D., 2001. Représenter l'espace pour structurer le temps: la modélisation intégrée du delta intérieur du Niger au Mali.
- PRESAO, 2015. Prévisions des caractéristiques Agro-Hydro-Climatiques de la grande saison des pluies 2015 en Afrique de l'Ouest et dans le Sahel [online]. *Bulletin spécial N°02 - Mai 2015*. Available from: [http://www.agrhymet.ne/PDF/BM2015/Bulletin specialPRESAO\\_Mai 2015.pdf](http://www.agrhymet.ne/PDF/BM2015/Bulletin%20specialPRESAO_Mai%202015.pdf).
- Quensière, J., 1994. *La pêche dans le Delta central du Niger: cartes hors-texte*. KARTHALA Editions.
- Quensière, J. and Poncet, Y., 2000. L'organisation de la pêche dans le delta central du Niger (Mali). *Du bon usage des ressources renouvelables. Paris (France), Editions de l'IRD*, 257–284.
- Rebelo, L.-M., McCartney, M.P., and Finlayson, C.M., 2009. Wetlands of Sub-Saharan Africa: distribution and contribution of agriculture to livelihoods. *Wetlands Ecology and Management*, 18 (5), 557–572.
- Rebelo, L.-M., McCartney, M.P., and Finlayson, C.M., 2010. Wetlands of Sub-Saharan Africa: distribution and contribution of agriculture to livelihoods. *Wetlands Ecology and Management*, 18 (5), 557–572.
- Reij, C. and Waters-Bayer, A., 2001. *Farmer innovation in Africa: a source of inspiration for agricultural development*. Earthscan.
- Robert, C., 1983. Rural development: Putting the last first.
- Roggeri, H., 2013. *Tropical freshwater wetlands: a guide to current knowledge and sustainable management*. Springer Science & Business Media.
- Roncoli, C., Ingram, K., Kirshen, P., and Jost, C., 2003. Meteorological meanings: understandings of seasonal rainfall forecasts by farmers of Burkina Faso. *Weather, climate and culture*, 181–202.
- Roncoli, C., Jost, C., Kirshen, P., Sanon, M., Ingram, K.T., Woodin, M., Somé, L., Ouattara, F., Sanfo, B.J., and Sia, C., 2009. From accessing to assessing forecasts: an end-to-end study of participatory climate forecast dissemination in Burkina Faso (West Africa). *Climatic Change*, 92 (3-4), 433–460.
- Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., and Berg, A., 2011. The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 21 (3), 1073–1083.
- Sakané, N., Alvarez, M., Becker, M., Böhme, B., Handa, C., Kamiri, H.W., Langensiepen, M., Menz, G., Misana, S., Mogha, N.G., Mösel, B.M., Mwita, E.J., Oyieke, H. a., and



- van Wijk, M.T., 2011. Classification, Characterisation, and Use of Small Wetlands in East Africa. *Wetlands*, 31 (6), 1103–1116.
- Sangaré, S., Mahé, G., Paturel, J.-E., and Banwura, Y., 2002. Bilan hydrologique du fleuve Niger en Guinée de 1950 à 2000. *Sud Sciences et Technologies*, 9, 21–33.
- Sangaré, Y., Cornu, F., and Chapon, M., 2010. *Le schéma d'aménagement pastoral: un outil de reconnaissance et de securisation du foncier pastoral dans le delta intérieur du Niger (Mopti, Tombouctou)?*
- Scholte, P., de Kort, S., and van Weerd, M., 2000. Floodplain rehabilitation in Far North Cameroon: expected impact on bird life. *Ostrich*, 71 (1-2), 112–117.
- Schuyt, K.D., 2005. Economic consequences of wetland degradation for local populations in Africa. *Ecological Economics*, 53 (2), 177–190.
- Scoones, I., 1991. Wetlands in drylands: key resources for agricultural and pastoral production in Africa. *Ambio*, 366–371.
- Shamir, U. and Verhoeven, J.T. a., 2013. Management of wetlands in river basins: The WETwin project. *Environmental Science & Policy*, 34, 1–2.
- Silvius, M.J.I., Oneka, M., and Verhagen, A., 2000. Wetlands : Lifeline for People at the Edge, 25 (7), 645–652.
- Sircoulon, J., 1987. Variation des débits des cours d'eau et des niveaux des lacs en Afrique de l'Ouest depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle= variation of river discharges and lake levels in West Africa since the beginning of the twentieth century.
- Smart, M., 1996. The Ramsar Convention: Its role in conservation and wise use of wetland biodiversity. In: *Wetlands, Biodiversity and the Ramsar Convention: The role of the Convention on Wetlands in the Conservation and Wise Use of Biodiversity*. Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland, and Ministry of Environment and Forests, New Delhi, India. 18–31.
- Sorensen, J.H., Soderstrom, J., and Carnes, S.A., 1984. Sweet for the sour: incentives in environmental mediation. *Environmental Management*, 8 (4), 287–294.
- Sultan, B., 2002. Etude de la mise en place de la mousson en Afrique de l'Ouest et de la variabilité intra-saisonnière de la convection: Applications à la sensibilité des rendements agricoles.
- Sultan, B., Barbier, B., Fortilus, J., Mbaye, S.M., and Leclerc, G., 2010. Estimating the Potential Economic Value of Seasonal Forecasts in West Africa: A Long-Term Ex-Ante Assessment in Senegal. *Weather, Climate, and Society*.
- Sultan, B., Baron, C., Dingkuhn, M., Sarr, B., and Janicot, S., 2005a. Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon. *Agricultural and Forest Meteorology*, 128 (1-2), 93–110.
- Sultan, B., Baron, C., Dingkuhn, M., Sarr, B., and Janicot, S., 2005b. La variabilité climatique en Afrique de l'Ouest aux échelles saisonnière et intra-saisonnière. II : applications à la sensibilité des rendements agricoles au Sahel. *Sécheresse*, 16 (1), 23–33.
- Sultan, B. and Janicot, S., 2003. The West African monsoon dynamics. Part II: The 'preonset' and 'onset' of the summer monsoon. *Journal of climate*, 16 (21), 3407–3427.
- Sultan, B., Janicot, S., Baron, C., Dingkuhn, M., Muller, B., Traoré, S., and Sarr, B., 2008. Les impacts agronomiques du climat en Afrique de l'Ouest : une illustration des problèmes majeurs. *Sécheresse*, 19 (1), 29–37.
- Suret-Canale, J., 1977. L'Afrique noire: de la colonisation aux indépendances 1945-1960.
- Tchamba, M.N., Drijver, C.A., and Njiforti, H., 1995. The impact of flood reduction in and around the Waza National Park, Cameroon. *Managing Water Resources. Parks Special Issue*, 5 (2), 6–14.

- Thompson, J.R. and Hollis, G.E., 1995. Hydrological modelling and the sustainable development of the Hadejia-Nguru wetlands, Nigeria. *Hydrological Sciences Journal*, 40 (1), 97–116.
- Tockner, K., Bunn, S.E., Gordon, C., Naiman, R.J., Quinn, G.P., and Stanford, J.A., 2008. *Flood plains: critically threatened ecosystems*. N. Polunin. Aquatic Ecosystems. Published by Cambridge University Press.
- Turner, B.L., Lambin, E.F., and Reenberg, A., 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (52), 20666–20671.
- Turner, R.K., Bergh, J.C.J.M. Van Den, and So, T., 2000. The values of wetlands : landscape and institutional ecological-economic analysis of wetlands : scientific integration for management and policy, 35, 7–23.
- USAID, 2004. *Assessing Mali's Direction Nationale de la Météorologie Agrometeorological Advisory Program. Preliminary Report on the climate science and farmer use of advisories*.
- Vogel, C., 2000. Usable science: An assessment of long-term seasonal forecasts amongst farmers in rural areas of South Africa. *South African Geographical Journal*, 82 (2), 107–116.
- Vogel, C. and O'Brien, K., 2006. Who can eat information? Examining the effectiveness of seasonal climate forecasts and regional climate-risk management strategies. *Climate Research*, 33 (1), 111–122.
- Ward, J. V and Stanford, J.A., 1995. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. *Regulated Rivers: Research & Management*, 11 (1), 105–119.
- Warren, D.M., Slikkerveer, L.J., and Brokensha, D., 1995. *The cultural dimension of development: indigenous knowledge systems*. Intermediate Technology Publications Ltd (ITP).
- WOCAT, 2012. No Title [online]. Available from: <https://www.wocat.net/> [Accessed 26 Jul 2012].
- Wood, A., Dixon, A., and McCartney, M., 2013. *Wetland management and sustainable livelihoods in Africa*. Routledge.
- Woodhouse, P., Bernstein, H., and Hulme, D., 2000. *African enclosures? The social dynamics of wetlands in drylands*. James Currey Ltd.
- Wuillot, J., 1994. Les phytocénoses aquatiques. *La pêche dans le delta central du Niger: approche pluridisciplinaire d'un système de production halieutique*, 66–70.
- Wunder, S., 2005. *Payments for environmental services: some nuts and bolts*.
- Yue, S. and Pilon, P., 2004. A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection/Une comparaison de la puissance des tests t de Student, de Mann-Kendall et du bootstrap pour la détection de tendance. *Hydrological Sciences Journal*, 49 (1), 21–37.
- Ziervogel Gina, 2004. Targeting seasonal climate forecasts for integration into household level decisions: the case of smallholder farmers in Lesotho. *The Geographical Journal*.
- Zwarts, L., 2009. *Vers une nouvelle extension de l'outil OPIDIN*.
- Zwarts, L., 2010. État des lieux du Delta Intérieur: vers une vision commune de développement. *Rapport. Bamako: Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement*.
- Zwarts, L., van Beukering, P., Kone, B., and Wymenga, E., 2005. The Niger, a lifeline. *Effective Water Management in the Upper Niger Basin*. RIZA, Lelystad.

## Les lois, décrets et ordonnances

- Décret N°35/PG-RM du 14 mars 1975 portant réglementation de la pêche au Mali.
- Décret N°95 – 182/P-RM du 26 avril 1995 fixant les taux de redevance perçus à l’occasion de la délivrance des permis ou des autorisations de pêche.
- Décret N°10-388/P-RM du 26 juillet 2010 fixant les taux de redevance perçus à l’occasion de l’exploitation des ressources forestières.
- Loi N°63–7 AN-RM du 11 janvier 1963 portant réglementation de la pêche au Mali.
- Loi N°68-8 AN-RM du 17 février 1968 portant code forestier.
- Loi N°86-42/AN-RM du 24 mars 1986 portant Code forestier qui abroge la loi N°68-8 AN-RM du 17 février 1968.
- Loi N°86 –44/AN –RM du 24 mars 1986 portant code de la pêche qui abroge la loi N°63–7 AN-RM du 11 janvier 1963.
- Loi N°86-85/AN-RM du 26 juillet 1986 portant institution et fixant le taux d’une taxe de défrichement
- Loi N°86-66/AN-RM du 26 juillet 1986 portant code de feu.
- Lois N°95-004 du 18 janvier 1995 fixant les conditions de gestion des ressources forestières qui abroge la loi N°86-42/AN-RM du 24 mars 1986.
- Loi N°95-003 du 18 janvier 1995 portant organisation du transport et du commerce du bois.
- Loi 95-032 du 20 mars 1995 fixe les conditions de la pêche et de la pisciculture qui abroge la loi N°86 –44/AN –RM du 24 mars 1986.
- Loi N°95-034/AN-RM du 12 avril 1995 portant sur le code des collectivités territoriales.
- Loi N°10-028 du 12 juillet 2010 fixant les conditions de gestion des ressources du domaine forestier national qui abroge les lois N°95-004 du 18 janvier 1995 et N°95-003 du 18 janvier 1995.
- Loi N° 01-004 du 27 février 2001 portant charte pastorale.
- Loi N°02- 006 du 31 janvier 2002 portant Code de l’Eau.
- Loi 06-40 du 26 août 2006 portant Loi d’Orientation Agricole
- Ordonnance N°11/CMLN du 3 mars 1975 portant création des permis de pêche.
- Ordonnance N° 91-039/P-CTSP du 8 Août 1991 déterminant les circonscriptions administratives et les collectivités territoriales de la République du Mali.

# Annexes

**Annexe 1 : Enquêtes sur les stratégies locales de restauration des écosystèmes dégradés dans le DIN**

Date :

Nom de l'enquêteur :

Commune :

Village :

Quartier :

Groupe socio-professionnel :

Nbr de participant :

<b>Type de problème</b>	<b>Causes du problème</b>	<b>Stratégies de gestion</b>	<b>Technique de mise en œuvre</b>	<b>Zones d'intervention</b>

**Annexe 2 : les pratiques de gestion durable des terres (Synthèse du WOCAT (*World Overview of Conservation Approaches and Technologies*))**

Type de problème	Stratégie de gestion	Domaines d'application	Résultats attendus	Technologies de mise en œuvre
<p>Erosion hydrique</p> <p>Erosion éolienne</p> <p>Détérioration chimique du sol</p> <p>Détérioration physique du sol</p> <p>Dégradation biologique</p> <p>Dégradation hydrique</p>	<p><b>Gestion intégrée de la fertilité des sols</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zones aux sols de faible fertilité</li> <li>- Zones arides</li> <li>- Perte de la couche arable du sol</li> <li>- Applicable principalement sur les terres de cultures annuelles et les terres mixtes (systèmes de cultures et d'élevage).</li> <li>- Ne convient pas pour les parcours.</li> <li>- Pratique à mener chaque année/ saison</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Réapprovisionnement en éléments nutritifs et le maintien de la fertilité des sols</li> <li>- Réduction de l'érosion des sols (éolienne et hydrique)</li> <li>- Accroissement des rendements des récoltes</li> <li>- Augmentation de la sécurité alimentaire, des moyens de subsistance et du bien-être.</li> </ul>	<p>Compostage et épandage de fumier</p> <hr/> <p>Intégration de cultures fixatrices d'azote (engrais vert ou les cultures de couverture)</p> <hr/> <p>Micro fertilisation ou « microdosage » par apport d'engrais minéraux</p>
<p>Dégradation physique : asphyxie, scellage, encroûtement, compaction, et pulvérisation</p> <p>Dégradation hydrique : aridification due au ruissellement et à l'évaporation</p>	<p><b>L'agriculture de conservation</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Perturbation minimale du sol</li> <li>-Couverture permanente du sol</li> <li>-Rotation des cultures ou associations de cultures</li> <li>-Appropriée à l'agriculture pluviale et aux systèmes irrigués</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Diminution de la contamination agrochimique de l'environnement</li> <li>-Réduction des émissions de gaz à effet de serre</li> <li>- Minimisation du ruissellement et de l'érosion des sols</li> <li>-Amélioration de la capacité d'absorption et de rétention de l'eau</li> </ul>	<p>Labour et sous-solage</p> <hr/> <p>utilisation de petites cuvettes de plantation qui récoltent les premières pluies</p> <hr/> <p>Utilisation de semences améliorées</p> <hr/> <p>Paillage</p> <hr/> <p>semis selon les courbes de niveau</p>

Détérioration chimique et biologique : réduction des matières organiques du sol et baisse de la fertilité, réduction de la biodiversité et risque phytosanitaire			-Accroissement de la sécurité alimentaire												
variations saisonnières : poches de sécheresse  Dégradation hydrique : aridification à travers la réduction du taux moyen d'humidité du sol	<b>Collecte des eaux de pluie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pertinente pour les régions semi-arides et subhumides</li> <li>- Les sols argileux ou peu profonds, avec des taux faibles d'infiltration dans la zone de collecte et les sols profonds avec une forte capacité de stockage d'humidité dans les zones de stockage</li> <li>- Les captages de toit, les macro-captages et les petits barrages nécessitent de forts intrants de main d'œuvre initiaux, alors que généralement les micro-captages ont principalement besoin d'un intrant moyen de main d'œuvre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Diminution du ruissellement, dépôt de sédiments et enrichissement du sol</li> <li>-Réduction des risques de perte de production et augmentation du rendement</li> <li>-Amélioration de la productivité des cultures et du bétail</li> <li>-Amélioration de l'efficacité d'utilisation et l'accès de l'eau</li> <li>-Amélioration de la recharge des eaux de surface et souterraines</li> <li>-Contribution à la sécurité alimentaire</li> </ul>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Micro-captages</td> <td>Zai /tassa (fosses de plantation)</td> </tr> <tr> <td>Demi-lunes</td> </tr> <tr> <td>Diguettes semi-circulaires / trapézoïdales,</td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Macro-captage</td> <td>Barrages de contrôle</td> </tr> <tr> <td>Canaux / fossés de dérivation d'eau</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Petits barrages / bassins</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Les captages des toits</td> </tr> </table>	Micro-captages	Zai /tassa (fosses de plantation)	Demi-lunes	Diguettes semi-circulaires / trapézoïdales,	Macro-captage	Barrages de contrôle	Canaux / fossés de dérivation d'eau	Petits barrages / bassins		Les captages des toits	
Micro-captages	Zai /tassa (fosses de plantation)														
	Demi-lunes														
	Diguettes semi-circulaires / trapézoïdales,														
Macro-captage	Barrages de contrôle														
	Canaux / fossés de dérivation d'eau														
Petits barrages / bassins															
Les captages des toits															
Dégradation hydrique : aridification, diminution de l'humidité du sol,	<b>Gestion de l'irrigation à petite échelle</b>	- La principale contrainte : la disponibilité de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation du rendement</li> <li>-Accroissement des revenus des</li> </ul>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>L'irrigation goutte - à - goutte</td> </tr> <tr> <td>Système d'irrigation californien à basse pression</td> </tr> </table>	L'irrigation goutte - à - goutte	Système d'irrigation californien à basse pression									
L'irrigation goutte - à - goutte															
Système d'irrigation californien à basse pression															

<p>surexploitation des eaux</p> <p>Détérioration physique des sols : engorgement, scellage et encroûtement</p> <p>Détérioration chimique: salinisation par une gestion inappropriée de l'irrigation et par une mauvaise qualité de l'eau d'irrigation.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'accès aux services financiers</li> <li>- Ne convient pas aux zones sujettes à la salinisation, quand le sel ne peut être lessivé par drainage.</li> <li>- Accès au microcrédit</li> </ul>	<p>agriculteurs</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Réduction des risques de la production agricole</li> <li>- Augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'eau</li> <li>-Réduction de la pression sur les ressources en eau à travers une utilisation plus efficace de l'eau</li> </ul>	<p>L'irrigation de surface</p> <p>L'irrigation informelle (arrosoirs d'eau...)</p>
<p>L'érosion hydrique des sols : perte de sol arable / érosion de surface, en partie érosion en ravine / ravinement</p>	<p><b>Les barrières en travers de la pente</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les diguettes en terre: pentes faibles à modérées ; Les cordons pierreux: pentes faibles à raides ; Les terrasses Fanya juu : pentes modérées à raides (jusqu'à 50%) ; Les terrasses Fanya Chini : pentes modérées à vallonnées (jusqu'à 35%) ; Les bandes végétales : pentes faibles à raides</li> <li>- Coûts initiaux élevés</li> <li>- Principalement sur les terres agricoles de cultures annuelles et / ou en partie sur des terres mixtes avec la culture d'arbres et d'arbustes</li> <li>- Garantie des droits individuels d'utilisation des terres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Réduction de la vitesse des eaux de ruissellement et les pertes de sols</li> <li>- Conservation des sols, de l'eau et des nutriments</li> <li>-Augmentation des rendements agricoles</li> </ul>	<p>Digues de terre</p> <p>Cordons pierreux</p> <p>Bandes végétales</p> <p>Terrasses Fanya juu et Fanya chinijuu</p> <p>Terrasses en banquette (ou fossés ados)</p>
<p>Détérioration chimique du sol : diminution de la</p>	<p><b>L'agroforeste rie</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sur les pentes montagneuses subhumides, Dans les zones arides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Séquestrer biologiquement le carbone</li> </ul>	<p>Cultures en couloirs</p> <p>L'agriculture avec des arbres en</p>



<p>fertilité des sols et du taux de matière organique</p> <p>Erosion hydrique et éolienne des sols : perte de la couche fertile du sol</p> <p>Détérioration physique du sol : compactage, scellage et encroûtement</p> <p>Dégradation hydrique : fortes pertes d'eau par évaporation des surfaces non-productives, érosion par ruissellement</p>		<p>- Principalement applicable aux petites exploitations agricoles et dans les plantations de thé/café de petite à grande échelle</p> <p>- Appliquée dans des zones avec des droits individuels d'utilisation des terres</p> <p>- Droits des exploitants agricoles sur les arbres qu'ils plantent</p>	<p>- Diversification des ressources alimentaires et des sources de revenus</p> <p>- Microclimat favorable et une couverture permanente</p> <p>- Accroissement de l'infiltration et amélioration de la fertilité et de l'activité biologique des sols</p> <p>-Brise vent</p>	<p>courbes de niveau</p>
				<p>Périmètres clôturés avec des arbres</p>
				<p>Cultures multi-étagées</p>
				<p>Cultures intercalaires de relais</p>
				<p>Polycultures</p>
				<p>Jachères d'arbustes et d'arbres</p>
<p>Systemes de parcs</p>				
<p>Jardins maraîchers</p>				
<p>Détérioration chimique des sols : baisse de la fertilité et réduction de la teneur en matière organique.</p> <p>Dégradation biologique : réduction de la couverture végétale et baisse de la diversité / composition des espèces, perte de valeur des fourrages.</p>	<p><b>Gestion intégrée de l'agriculture et de l'élevage</b></p>	<p>Applicable dans beaucoup de régions mais a besoin d'être adaptée et modifiée selon les conditions dominantes</p>	<p>- Augmentation du rendement des cultures</p> <p>- Amélioration de l'activité biologique et la santé des sols, réduction de l'érosion</p> <p>- Plantation de cultures et d'arbres fixateurs d'azote</p> <p>- Intensification de l'utilisation des terres et amélioration de la</p>	<p>Animaux nourris en stabulation (zéro pâturage)</p>
				<p>Collecte et transfert des nutriments vers les champs</p>
				<p>Les cultures à usage double (pour l'alimentation humaine et animale)</p>
				<p>L'ajout ou le contrôle d'espèces (plantation d'espèces à valeur ajoutée)</p>
				<p>Les animaux pour les travaux</p>

<p>Mauvaise santé des animaux en raison de la disponibilité et de la qualité limitée des aliments.</p> <p>Mauvaise pratique de débroussaillage (brûlis)</p> <p>Baisse de la fertilité des sols et dégradation</p>			<p>productivité et la santé du bétail</p> <p>- Réduction de la pauvreté et la malnutrition et renforcement de la durabilité de l'environnement</p>	<p>agricoles et le transport</p> <p>Les enclos (mise en défens)</p>
<p>Surpâturage</p> <p>Manque de fourrage pour le bétail</p> <p>Réduction de la couverture du sol et de la végétation</p>	<p><b>Pastoralisme et gestion des parcours</b></p>	<p>-Bon système de gouvernance traditionnelle sur les ressources naturelles collectives</p> <p>- Restriction des déplacements, sédentarisation, pratique de l'agriculture</p> <p>-Applicable dans les zones arides et semi-arides</p> <p>- Aucune restriction – toutes les pentes, de plat à très raide</p> <p>- Aucune restriction ; les camelins, les bovins, les arses, les ovins et les caprins peuvent prospérer sur les sols à faible rendement avec des fourrages de médiocre qualité</p>	<p>-Augmentation de la productivité des animaux</p> <p>-Amélioration de la couverture du sol en plantes vivantes</p> <p>-Amélioration de la disponibilité de l'eau et du microclimat</p>	<p>Le nomadisme</p> <p>La transhumance et/ou couloir de passage</p> <p>L'agropastoralisme</p> <p>Systèmes mixtes (quand les cultures et le bétail sont gérés par différentes communautés)</p> <p>Systèmes d'enclos et de ranching</p>
<p>Zone dégradée</p>	<p><b>Gestion durable des</b></p>	<p>-Les forêts plantées d'espèces à croissance rapide ne devraient être</p>	<p>- Puits de carbone</p> <p>- Réhabilitation des zones dégradées</p>	<p>Les plantations commerciales à des fins industrielles</p>

Forte demande de bois de feu et de certains produits forestiers non ligneux	<b>forêts plantées</b>	établies que dans les zones sans contrainte d'eau  - Investissement initial élevé	- Accroissement de la disponibilité des produits du bois - Maintien de la fertilité des sols - Augmentation et diversification des revenus des ménages	Les « contrats outgrower »
				Les plantations de protection
				Les ceintures d'arbre et les parcelles boisées paysannes / familiales
Forêt fragilisée par la sécheresse, la dégradation des sols, les incendies.  Surexploitation perte de l'écosystème forestier	<b>Gestion durable des forêts en zone aride</b>	Applicable à, et est cruciale pour tout type de forêts primaires ou secondaires en zones arides	- Protection de la biodiversité  - Protection contre l'érosion hydrique et éolienne  - Diversification des revenus (par exemple, l'apiculture, l'écotourisme, etc.)  - Réhabilitation de la forêt  - Amélioration du microclimat	Sauvegarder et préserver des ressources forestières (par des lois et des règlements)
				Préservation ou amélioration de la biodiversité (renforcement des connaissances et mise en place d'un système de surveillance)
				Promouvoir des forêts vigoureuses et saines et leur réhabilitation (les plantations d'enrichissement, l'abattage sélectif et l'exploitation forestière contrôlée)
				Gestion des incendies (campagnes de sensibilisation et sur la manière d'éviter les feux incontrôlés, mécanisme de surveillance et de signalement)
				Options alternatives de moyens d'existence
Progression des terres cultivées et des pâturages au	<b>Gestion durable des</b>	Applicable et crucial pour tout type de forêts naturelles tropicales humides	- Amélioration des moyens d'existence et du bien-être humain	Une bonne gouvernance des forêts (application des

<p>détriment des terres forestières</p> <p>Intensification du système traditionnel de culture sur brûlis</p> <p>Exploitation forestière extensive. Abattage sélectif de certaines espèces d'arbres.</p> <p>Perte des écosystèmes forestiers, de la biodiversité et de la faune sauvage</p>	<p><b>forêts tropicales humides</b></p>	<p>primaires ou secondaires dans les zones tropicales et montagneuses</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Maintenance d'un écosystème à forte biodiversité</li> <li>-Amélioration de la productivité des forêts à long terme</li> <li>-Réduction de l'érosion des sols</li> </ul>	<p>réglementations forestières, certification,...)</p> <p>Aménagement du territoire</p> <p>Foresterie communautaire</p> <p>Procédures des plans de gestion (inventaires des ressources disponibles, cartes d'abattage, délimitation de coupes annuelles</p> <p>Diversification de la production</p> <p>Conservation de la biodiversité (mise en place locale d'air ou zone protégée)</p>
<p>Dégradation des écosystèmes</p> <p>Surexploitation</p> <p>Perte de la diversité biologique</p> <p>Mauvaise gestion des terres et des forêts</p>	<p><b>Tendances et nouvelles opportunités</b></p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Incitations pour fournir des services environnementaux</li> <li>-Maintenance de l'intégrité de l'écosystème</li> <li>- Création d'opportunités économiques qui rendent la conservation des ressources naturelles bénéfique à la population locale</li> <li>- Protection des forêts et des autres habitats naturels</li> <li>-Atténuation des effets du changement climatique</li> </ul>	<p>Paiements pour les services écosystémiques</p> <p>Ecotourisme</p> <p>Agriculture biologique</p> <p>Commerce équitable</p> <p>Biotechnologies et cultures génétiquement modifiées</p> <p>Ravines productives</p> <p>Gestion intégrée « push - pull»</p>

**Annexe 3 : Questionnaire sur les perceptions et pratiques locales des prévisions saisonnières et de la crue dans le delta intérieur du fleuve Niger au Mali (2iE/Cirad/Wetland International)**

Caractéristiques du ménage

Commune : ..... 2. Village : ..... 3. Quartier : .....

4. Nom(s) : ..... 5. Prénom(s): ..... 6. Age .....

7. Sexe :  M  F 8. Statut matrimonial..... marié  célibataire  veuf  divorcé

9. Ethnie :  Peul,  Rimaibé,  Bambara,  Sénoufo,  Bozo,  Somono,  Marka,  Touareg,  Songhai,  Dogon,  Bwa ,  Autre (précisez).....

10. Statut résidentiel ?  Sédentaire  Nomade  autre

12)- Activité principale ?  Elevage  Cultures  Pêche  Autre.....

13) Quelle activité secondaire ?  Elevage  Cultures  Pêche  Autre.....

14) Combien d'animaux avez-vous ?  Bovins :  ovins :  caprins  Autre (précisez).....

15) Combien de pirogues ? ..... 10) Combien de personnes dans votre ménage ?

16) Place de l'enquêté dans concession ?  Doyen  fils aîné  cadet  seul

17) Combien d'actifs ? .....

18) Quelles céréales et tubercules sont plus cultivées par ordre d'importance ? (1, 2 ...)

Maïs :  Sorgho :  Petit mil  Riz  manioc  patate  Autre (précisez).....

19) Les céréales et les tubercules produits couvrent-ils vos besoins alimentaires?

Oui  Non

20) Pendant combien de mois vos récoltes couvrent vos besoins en céréale et en tubercule?

21) Combien de sacs de céréales avez-vous achetés pour compléter la récolte de 2011 ?

22) Avez reçu de l'aide ces 2 dernières années ?  Oui  Un peu  Non

23) Si oui de qui ?  Gouvernement  Famille Mali  Famille étranger ?  ONG  Autre

24) Nature de l'aide ?  Argent  céréales  Autres (à préciser)

25) Recevez-vous une aide régulière comme précédemment ?  
 Oui  Non Si oui de qui ?

#### Prévisions de l'hivernage

26) Avez-vous une idée à l'avance sur les types d'hivernages qui arrivent ?

Oui  Un peu  Non  NSP

27) Si « oui » ou « un peu », sur quel(s) type(s) de connaissance(s) vous basez-vous ? (plusieurs choix possibles)

- |   |  |  |
|---|--|--|
| <input type="checkbox"/> Marabouts                      | <input type="checkbox"/> Radio                 | <input type="checkbox"/> Espèces d'oiseaux |
| <input type="checkbox"/> Nids des oiseaux               | <input type="checkbox"/> Bouche-à-oreille      | <input type="checkbox"/> Cycle lunaire     |
| <input type="checkbox"/> Couleur du ciel                | <input type="checkbox"/> Direction du vent     | <input type="checkbox"/> Feuilles          |
| <input type="checkbox"/> Floraison de certaines espèces | <input type="checkbox"/> Saisons précédentes   |  |
| <input type="checkbox"/> Température                    | <input type="checkbox"/> Cycles d'années fixes | <input type="checkbox"/> Autre (précisez)  |

Expliquez.....  
.....  
.....  
.....  
.....  
.....

28) Recherchez-vous activement cette information  Oui  Non  NSP

Pourquoi ?.....  
.....  
.....

29) Avec qui discutez-vous cette information? .....

30) Est-ce que votre source/mode d'information a changé ?

Oui  Un peu  N  NSP

31) Vos pères utilisaient-ils les mêmes sources d'information ?  O  N  NSP

Si « oui » ou « un peu », est-ce que les repères du passé sont encore d'actualité?

Oui  Un peu  N  NSP

32) Si « non » pourquoi ?

- Désintéressé                       méconnaissance                       « le climat est dérégulé »
- « seul Dieu le sait »                       « impossible à savoir »
- Autre (précisez).....

33) Comment seront d'après vous les années à venir ?

- + sèches                       normales                       + humides                       NSP

Pourquoi ?.....  
 .....  
 .....

34) Est-ce que c'est interdit de prévoir le climat avec des moyens magiques ou divinatoires?

- Oui                       Un peu                       Non                       NSP

Si oui pourquoi ?

Prévisions modernes de l'hivernage

35) Est-ce que vous avez déjà entendu parler des prévisions sur l'hivernage par les services de l'état?     Oui     Un peu     Non     NSP

36) Où est-ce que vous avez entendu les informations données par l'Etat?

- Radio     Télé     technicien     groupement villageois                       bouche à oreille

37) Savez-vous comment les scientifiques font pour prévoir la saison à venir ?

- Satellites     mesures diverses     cycles (nbre d'année)
- Température des océans                       avions     autre

38) Quel type d'information la météo vous donne-t-elle ?

- Précipitation d'hier,  précipitation de demain  qualité de l'hivernage qui vient
- Autre.....

39) Utilisez-vous ces prévisions?     O                       N   

Comment sont les prévisions des services de l'état ?

- Inexacte                       Peu exacte                       Exacte                       Très exacte

41) Combien êtes-vous prêt à payer pour obtenir cette information ? .....

Si non, pourquoi ?.....  
 .....  
 .....

42) Avez-vous entendu parler de la prévision de 2011 ?  Oui  Non

43) Est-ce que la prévision de 2011 a été correcte ?  Oui  Non

Pourquoi ? .....

.....  
.....

44) Est-ce que cela vous a fait perdre ou gagner de la production? (entourez perdre ou gagner)

45) Expliquez comment ? .....

.....  
.....

46) Avez-vous entendu parler de la prévision de 2012?  Oui  Non

47) Est-ce que la prévision de 2012 a été correcte ?  Oui  Non  NSP

Pourquoi ?.....

.....  
.....

48) Est-ce que cela vous a fait perdre ou gagner de la production? (entourez perdre ou gagner)

49) Expliquez comment ? .....

.....  
.....

50) Est-ce que les services techniques agricoles vous donnent des conseils sur la campagne qui vient en fonction de l'hivernage prévu?  O  N  NSP

51) Est-ce que leurs conseils vous sont utiles ?  O  N  NSP

Pourquoi ?.....

.....  
.....

52) Quels conseils donnent-ils quand :

Ils prévoient un hivernage humide ? .....

Ils prévoient un hivernage sec ? .....

Prévisions de l'hivernage et pratiques



Pratiques culturelles

53) Est-ce important pour vous d'obtenir une information sur la prévision de saison à venir ?

- O             N

54) Changez-vous quelque chose dans vos pratiques quand vous obtenez une prévision pour l'hivernage?     O             N

55) Si oui qu'est-ce que vous changez ? (Si possible 3 réponses) .....

.....  
.....

56) Si non pourquoi ? .....

.....  
.....

57) Si l'information était fiable que changeriez-vous dans vos pratiques ? (minimum 3)

.....  
.....

58) Les prévisions ont elles un impact sur vos rendements ?

- O             N             NSP

59) Si la prévision est sèche à combien estimez-vous le gain que vous aviez obtenu grâce à la prévision ? % .....

60) Si la prévision est humide à combien estimez-vous le gain que vous aviez obtenu grâce à la prévision ? %.....

Pratiques d'élevage (mêmes questions)

61) Est-ce important pour vous d'obtenir une information sur la prévision de saison à venir ?

- O             N             NSP

62) Changez-vous quelque chose dans vos pratiques quand vous obtenez une prévision pour l'hivernage?

Si oui quoi ? .....

Si non pourquoi ? .....

63) Si l'information était fiable que changeriez-vous dans vos pratiques ? (minimum 3)

.....  
.....  
.....

64) Les prévisions ont elles un impact sur vos rendements ?

O      N      NSP

65) Si la prévision est sèche à combien estimez-vous le gain que vous aviez obtenu grâce à la prévision ? %.....

66) Si la prévision est humide à combien estimez-vous le gain que vous aviez obtenu grâce à la prévision ? %.....

Pratiques de pêche (mêmes questions)

67) Est-ce important pour vous d'obtenir une information sur la prévision de saison à venir ?

O      N      NSP

68) Changez-vous quelque chose dans vos pratiques quand vous obtenez une prévision pour l'hivernage?

Si      oui      qu'est-ce      que      vous      changez ?      (Min      3)

.....  
.....

Si non pourquoi ? .....

69) Si l'information était fiable, que changeriez-vous dans vos pratiques ? (minimum 3)

.....  
.....  
.....

70) Les prévisions ont elles un impact sur les volumes de pêche (captures) ? O   N   NSP

71) En cas de prévision sèche à combien estimez-vous le gain que vous obtenez grâce à la prévision ? En % .....

72) En cas de prévision humide à combien estimez-vous le gain que vous obtenez grâce à la prévision ? En %.....

Prévision traditionnelle des dates du début et du pic de la crue

73) Vers quel mois assiste-t-on à l'arrivée de l'eau de la crue dans votre village? .....

74) Vers quels mois observe-t-on le pic de la crue ? .....

75) Comment savez-vous que la crue (monté de l'eau) va arriver ?

Marabouts                       Radio                       Espèces d'oiseaux  
 Nids des oiseaux               Bouche-à-oreille       Cycle lunaire  
 Couleur du ciel                       Direction du vent       Feuilles  
 Floraison de certaines espèces       Saisons précédentes

- Température  Cycles d'années fixes  Etoiles  
 Autre (précisez).....

76) Comment savez-vous jusqu'où va monter l'eau ? .....

.....

77) Recherchez- vous activement cette information ? O N

78) Avec qui discutez-vous de cette information ?.....

80) Vos pères utilisaient-ils les mêmes sources d'information pour la crue?

- Oui  un peu Non NSP

81) Les repères du passé sont-ils encore d'actualité? O N un peu NSP

81) Si « non » pourquoi ? .....

- Désintérêt méconnaissance  « le climat est dérégulé »   
 « seul Dieu le sait »  « impossible à savoir »

Autre (précisez).....

79) Selon vous, comment seront vous les crues des années à venir ?

- + abondantes  plus basses  pareilles  NSP  
 Autres (précisez)

#### Prévisions modernes

82) Est-ce que vous avez déjà entendu des prévisions modernes sur la venue de la crue du fleuve? (jour ou semaine)  Oui  Un peu Non NSP

83) Où est-ce que vous avez entendu des informations sur la crue ?

- Radio  Télé  Technicien  Groupement villageois  
 Bouche-à-oreille  Autres (précisez).....

84) Est-ce que les canaux de diffusion de cette information vous conviennent ?

- Oui  Un peu Non NSP Pourquoi ?.....

85) Pour vous une bonne crue est (choix multiple possible):

- Tardive  Précoce  Courte  
 Longue  Haute  Basse

Pourquoi ?.....

.....

86) Quels sont les endroits où l'Etat mesure la hauteur de l'eau ?

Koulikoro  Markala  Mopti  sofara  autre

87) les mesures de quel endroit vous intéressent particulièrement ?

Koulikoro  Markala  Mopti  Sofara  autre

88) Si le pic de la crue est arrivé à cet endroit, combien de temps cela prend-il pour arriver chez vous ? .....

89) Qu'est-ce qui est plus important ? (lui lire et classer)

Des informations sur la date d'arrivée de la crue

Des informations sur la hauteur du pic de la crue en amont du village

Des informations sur la date du pic de la crue

Des informations sur la durée de la crue?

Sur le démarrage de la crue

90) Est-ce qu'il est possible de prévoir l'arrivée de la crue en fonction des hauteurs d'eau en amont ?

O  N  NSP

Si non Pourquoi ?.....

Si oui comment ?.....

.....

DEMARRAGE de la crue et pratiques

Pratiques culturelles

91) Changez-vous quelque chose dans vos pratiques culturelles quand vous obtenez une prévision sur l'arrivée de la crue ?.....

92) Que changez-vous? (3 choses minimums)....

93) Les prévisions ont-elles un impact sur vos rendements ?

Oui Non  NSP

Si oui,

-De combien de % si la crue est haute?.....

-De combien de % si la crue est basse?.....

## Pratiques d'élevage

94) Changez-vous quelque chose dans vos pratiques quand vous obtenez une prévision sur l'arrivée de la crue ?

95) Si oui, que changez-vous si : ....

- la crue vient tôt :

- la crue vient tard :

96) Si non pourquoi ?

97) Les prévisions ont elles un impact sur les rendements des troupeaux ?

Oui  Un peu  Non  NSP

98) De combien de % si la crue est haute?

99) De combien de % si la crue est basse?

## Pratiques de pêche

100) Changez-vous quelque chose dans vos pratiques de pêche quand vous obtenez une prévision sur l'arrivée de la crue ?

Oui  Non  NSP

101) si oui que changez-vous ? (3 choses au minimum)....

102) Si non pourquoi ?

103) Les prévisions de la crue ont-elles un impact sur les volumes de la pêche ?

Oui  Un peu  Non  NSP

104) De combien de % si la crue est haute?

105) De combien de % si la crue est basse?

## PIC DE LA CRUE et pratiques

### Pratiques culturelles

106) Que changez dans vos pratiques quand vous obtenez une prévision sur le pic de la crue la crue ? (3 choses minimums)....

Si la crue vient tôt

Si la crue vient tard

107) Les prévisions du pic de la crue ont-elles un impact sur vos productions ?

Oui      Non      NSP

108) De combien de % si la crue est haute?

109) De combien de % si la crue est basse?

Pratiques d'élevage

110) Que changez dans vos pratiques quand vous obtenez une prévision sur le pic de la crue la crue ? (3 choses minimums)....

Si la crue vient tôt

Si la crue vient tard

111) Les prévisions du pic de la crue ont-elles un impact sur vos productions ?

Oui      Non

112) De combien de % si la crue est haute?

113) De combien de % si la crue est basse?

114) Est-ce que les dates proposées par la conférence des bourgoutières sont bonnes ?

O      N      NSP

115) Est-ce que vous respectez ces dates ? O      N      NSP

116) Pourquoi ?

Pratiques de pêche

117) Que changez dans vos pratiques quand vous obtenez une prévision sur le pic de la crue la crue ? (3 choses minimums)....

Si la crue vient tôt

Si la crue vient tard

118) Les prévisions du pic de la crue ont-elles un impact sur vos productions piscicoles?

Oui

Non

119) De combien de % si la crue est haute?

120) De combien de % si la crue est basse?

## Glossaire

### Liste des tableaux

Tableau I-1. Services écosystémiques fournis ou dérivés des zones humides (Wood <i>et al.</i> 2013).....	5
Tableau I-2. Exemples de plaines inondables fluviales et leur étendue en Afrique subsaharienne .....	7
Tableau I-3. Instruments économiques pour la gestion durable des ressources naturelles .....	19
Tableau II-1. Déficit d'écoulement après la sécheresse de 1970 (Mahé <i>et al.</i> 2011b).....	30
Tableau II-2. Principales caractéristiques des superficies inondées dans le delta intérieur du fleuve Niger d'après différents travaux.....	31
Tableau III-1. Liste des ateliers avec les parties prenantes pour l'élaboration des stratégies de gestion durable des ressources naturelles du DIN.....	54
Tableau IV-1. Stations hydrologiques étudiées dans le delta intérieur du fleuve Niger, périodes d'observation et lacunes. ....	62
Tableau IV-2. Tests statistiques sur les séries de maximums de crue (NA : Non Aléatoire) pour évaluer la stationnarité et déterminer les dates de rupture dans les séries (seuil d'erreur de 1%). ....	65
Tableau IV-3. Moyenne en m <sup>3</sup> /s des maximums de crue par période de rupture (*moyenne calculée sur 8ans) pour toutes les stations du delta intérieur du fleuve Niger et Koulikoro. ...	66
Tableau IV-4. Tests statistiques sur les dates de passage des maximums de crue sur le Niger amont et le Diaka (A : aléatoire), pour évaluer la stationnarité et déterminer les dates de rupture dans les séries (seuil d'erreur de 1%). ....	69
Tableau IV-5. Tests statistiques sur les dates de passage de maximums de crue sur le Bani et à confluence Niger-Bani (NA : non aléatoire) pour évaluer la stationnarité et déterminer les dates de rupture dans les séries (seuil d'erreur de 1%). ....	71
Tableau IV-6 Tests statistiques sur les dates de passage de maximums de crue dans le delta aval (NA : non aléatoire) pour évaluer la stationnarité et déterminer les dates de rupture dans les séries (seuil d'erreur de 1%). ....	73
Tableau IV-7. Tests statistiques sur les temps de transfert (Tt) des maximums de crue dans le delta intérieur du fleuve Niger (A/NA : aléatoire/non aléatoire) pour évaluer la stationnarité et déterminer les dates de rupture dans les séries.....	73
Tableau V-1. Nombre de participants au focus groupe par catégorie socioprofessionnelle et par commune .....	82
Tableau V-2. Stratégies d'adaptation locales des systèmes de production agricoles .....	85
Tableau V-3. Stratégies d'adaptation locales des systèmes de production pastoraux .....	87
Tableau V-4. Stratégies d'adaptation locales des systèmes de production halieutiques.....	89
Tableau V-5. Cadre de mise en œuvre des stratégies de gestion durable des ressources du delta intérieur du fleuve Niger .....	93



Tableau V-6. Scores attribués par le DST par instruments économiques selon les critères économiques (en gras les instruments ayant les meilleurs scores).....	96
Tableau V-7. Scores attribués par le DST par instruments économiques selon les critères environnementaux (en gras les instruments ayant les meilleurs scores).....	97
Tableau V-8. Scores finaux attribués par le DST par instruments économiques selon les 4 critères (en gras les instruments ayant les meilleurs scores).....	98
Tableau V-9. Liste des instruments économiques potentiels par objectif environnemental..	100
Tableau IV-10. Scores finaux attribués par La DeMax par instruments économiques.....	103
Tableau V-11. Pratiques de gestion et incitations économiques pour la gestion durable des écosystèmes du delta intérieur du fleuve Niger .....	113
Tableau VI-1. Répartition de l'échantillon selon les groupes socio-professionnels et la municipalité.....	120
Tableau VI-2. Interprétation des facteurs environnementaux par les enquêtés pour prédire la saison de pluie et de la crue.....	124
Tableau VI-3. Adaptation des pratiques culturelles en fonction de la prévision de la qualité de la crue (hauteur et durée de submersion) .....	127
Tableau VI-4. Adaptation des pratiques pastorales en fonction de la prévision de la qualité de la crue (hauteur et durée de submersion) .....	127
Tableau VI-5. Adaptation des pratiques de pêche en fonction de la prévision de la qualité de la crue (hauteur et durée de submersion) .....	128
Tableau VII-1. Les états de la nature : combinaison entre les types de saison de pluie locale et les type de crue.....	135
Tableau VII-2. Probabilité d'occurrence des 9 états de la nature.....	137
Tableau VII-3. Superficies cultivées et disponible (Source: enquêtes de terrain). .....	138
Tableau VII-4. Perception moyenne de 8 producteurs des probabilités d'occurrence des types crues sur les 10 dernières années.....	142
Tableau VII-5. Revenus du scénario myope et des différents scénarios de prévision climatique et comparaison.....	147
Tableau VII-6. Coût en % d'une prévision erronée par rapport au scénario myope .....	148

## Liste des figures

Figure I-1. Quelques implications des changements hydrologiques (réductions des débits) sur les plaines inondables (basé sur Ward & Stanford 1995) .....	9
Figure I-2. L'approche centrée sur les personnes pour la gestion des zones humides continentales en Afrique (Wood <i>et al.</i> 2013). .....	13
Figure II-1. Le Niger supérieur et le Delta Intérieur du fleuve Niger .....	22
Figure II-2. Le delta intérieur du fleuve Niger, réseau hydrographique (Mariko 2004).....	24
Figure II-3. Isohyètes moyennes (depuis l'ouverture des stations jusqu'en 1991) du Niger supérieur et du delta intérieur du fleuve Niger (Bouaré 2012) .....	25
Figure II-4. Schéma du fonctionnement hydrologique du delta intérieur du fleuve Niger .....	29
Figure II-5. Schéma du système d'alimentation des lacs périphériques du Delta Intérieur du fleuve Niger.....	29
Figure II-6. Répartition schématique des végétaux dans une plaine inondée lors de la crue (Wuillot 1994).....	34
Figure II-7. Cycle hydrologique et activités dans le delta intérieur du Niger (basé sur les travaux de Drijver & Marchand (1985)).....	36
Figure II-8. Système de gestion des ressources naturelles du delta intérieur du fleuve Niger instauré par la Dina .....	41
Figure II-9. Maillage territorial malien, système d'administration et rôles. ....	45
Figure II-10. Gestion moderne des ressources naturelles du delta intérieur du fleuve Niger ..	47
Figure III-1. Approche adoptée dans la thèse .....	56
Figure III-2. Aspect pluridisciplinaire de la thèse.....	57
Figure IV-1. Les principales stations hydrologiques étudiées, les principaux bras et lacs du delta intérieur du fleuve Niger. ....	63
Figure IV-2. Evolution des dates des maximums de crue dans le Niger amont et le Diaka. ..	68
Figure IV-3. Evolution des dates des maximums de crue sur le Bani et à la confluence Niger-Bani .....	71
Figure IV-4. Evolution des dates des maximums de crue dans le delta aval .....	72
Figure IV-5. Temps de transfert du maximum de crue entre les différentes stations du delta intérieur du fleuve Niger (en jours).....	75
Figure IV-6. Temps de propagation des maximums de crue des entrées à la sortie du delta intérieur du fleuve Niger en année humide (1967-1968) et en année sèche (1984-1985). ....	76
Figure IV-7. a) Corrélation entre les maximums de crue à Douna et à Mopti ; b) Corrélation des maximums de crue entre Mopti et Diré. ....	78
Figure V-1. Localisation des trois communes concernées par les focus groupes .....	83
Figure V-2. Démarche adoptée pour l'élaboration des stratégies de gestion durable des ressources naturelles.....	83
Figure V-3. Processus de sélection des instruments économiques pour la gestion durable des ressources naturelles du delta intérieur du Niger .....	84
Figure V-4. Défis majeurs pour la gestion durable des ressources naturelles dans le delta intérieur du fleuve Niger .....	91
Figure V-5. Stratégies de gestion des ressources naturelles du delta intérieur du fleuve Niger .....	92

Figure VI-1. Prévision des précipitations pour la période de Juillet-Aout-Septembre (PRESAO 2015) - probabilités correspondant au catégorie « pluvieux », « normal » et « sec » (resp. haut, milieu, bas du cadre) .....	118
Figure VI-2. Prévision des écoulements sur les principaux bassins fluviaux de l’Afrique de l’Ouest pour la saison des pluies (PRESAO 2015) - probabilités correspondant au critère : forte, moyenne et faible hydraulité (resp. haut, milieu et bas du cadre) .....	119
Figure VI-3. Tranche d’âge des enquêtés .....	121
Figure VI-4. Répartition ethnique par groupe socio-professionnel.....	121
Figure VI-5. Fraction des enquêtés recherchant à l’avance une information climatique .....	122
Figure VI-6. Sources traditionnelles utilisées et fraction des enquêtés ayant recours .....	124
Figure VII-1. Vue satellitaire du système agraire d’Akka. Points géoréférencés sur le terrain (d’après Google Earth).....	134
Figure VII-2. Boite à moustache de la série de débit moyen annuel d’Akka.....	136
Figure VII-3. Boite à moustache de la série des indices pluviométriques de la station de Korientzé .....	137
Figure VII-4. Caractéristiques des différents types d’années .....	137
Figure VII-5. Calendrier moyen des activités des riziculteurs de Akka .....	138
Figure VII-6. Assolement des différentes cultures sous le scénario myope .....	142
Figure VII-7. Surfaces semées en noir et surface récoltée dans les cuvettes selon les scénarios – ymy scenario myope, <i>ss</i> pour saison sèche et crue basse, <i>sm</i> saison sèche et crue moyenne, <i>sh</i> saison sèche et crue haute, <i>ms</i> saison moyenne et crue basse, <i>mm</i> saison moyenne et crue moyenne, <i>mh</i> saison moyenne et crue haute, <i>hs</i> saison humide et crue basse, <i>hm</i> saison humide et crue moyenne, <i>hh</i> saison humide et crue haute. ....	143
Figure VII-9. Revenus espérés sous le scénario myope et selon l’occurrence des états de la nature _ <i>ss</i> pour saison sèche et crue basse, <i>sm</i> saison sèche et crue moyenne, <i>sh</i> saison sèche et crue haute, <i>ms</i> saison moyenne et crue basse, <i>mm</i> saison moyenne et crue moyenne, <i>mh</i> saison moyenne et crue haute, <i>hs</i> saison humide et crue basse, <i>hm</i> saison humide et crue moyenne, <i>hh</i> saison humide et crue haute.....	144
Figure VII-10. Moyenne des revenus selon l’occurrence des états de la nature, par type de crue puis par type de saison locale.....	144
Figure VII-11. Allocation optimale des terres selon le type de scenario - ymy scenario myope, <i>ss</i> pour saison sèche et crue basse, <i>sm</i> saison sèche et crue moyenne, <i>sh</i> saison sèche et crue haute, <i>ms</i> saison moyenne et crue basse, <i>mm</i> saison moyenne et crue moyenne, <i>mh</i> saison moyenne et crue haute, <i>hs</i> saison humide et crue basse, <i>hm</i> saison humide et crue moyenne, <i>hh</i> saison humide et crue haute .....	145
Figure VII-13. Revenus espérés par scénario de prévision climatique-ymy scenario myope, <i>ss</i> pour saison sèche et crue basse, <i>sm</i> saison sèche et crue moyenne, <i>sh</i> saison sèche et crue haute, <i>ms</i> saison moyenne et crue basse, <i>mm</i> saison moyenne et crue moyenne, <i>mh</i> saison moyenne et crue haute, <i>hs</i> saison humide et crue basse, <i>hm</i> saison humide et crue moyenne, <i>hh</i> saison humide et crue haute .....	147
Figure VII-14. Les revenus espérés selon les prévisions .....	148
Figure VII-18. Valeur marginale de la terre - ymy scenario myope, <i>ss</i> pour saison sèche et crue basse, <i>sm</i> saison sèche et crue moyenne, <i>sh</i> saison sèche et crue haute, <i>ms</i> saison moyenne et crue basse, <i>mm</i> saison moyenne et crue moyenne, <i>mh</i> saison moyenne et crue	

haute, hs saison humide et crue basse, hm saison humide et crue moyenne, hh saison humide et crue haute .....	150
Figure VII-19. Revenus générés en l'absence des principaux facteurs de production- ymy scenario myope, ss pour saison sèche et crue basse, sm saison sèche et crue moyenne, sh saison sèche et crue haute, ms saison moyenne et crue basse, mm saison moyenne et crue moyenne, mh saison moyenne et crue haute, hs saison humide et crue basse, hm saison humide et crue moyenne, hh saison humide et crue haute .....	152

## Valorisation

### Articles

#### Publié

Zaré, A., Illou, M., Fossi, S., Bio, TM., Mahé, G., Paturel, J-E., Barbier, B., 2013. Perception of hydrological changes and adaptation strategies in the Inner Niger Delta in Mali. In *Deltas: Landforms, Ecosystems and Human Activities. Proceedings of HP1, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly, Gothenburg, Sweden, July 2013. IAHS Publ. 358, 129-130.*

#### Accepté pour publication

Zaré, A., Mahé, G., Paturel, J-E., Barbier, B., 2015. Influence du Bani sur la variabilité saisonnière et interannuelle de la crue du fleuve Niger dans le delta intérieur au Mali. *Journal des sciences hydrologiques*. Accepté le 22 octobre 2015.

#### Soumis

Zaré, A., Barbier, B., Bologo/Traore, M., Diarra, A., Mahé, G., Paturel, J-E., 2015. Climate forecast perception and needs in wetlands: A case study in the Inner Niger Delta in Mali. *WETLANDS*. Soumis le 8 août 2015.

### Communications orales

#### Conférences

Zaré, A., Barbier, B., 2013. Changement climatique et gestion des ressources naturelles dans les zones humides tropicales: Evaluation participative des mesures d'adaptation dans le delta intérieur du Niger. *Journées scientifiques*, 1-2 Avril 2013. Ouagadougou, Burkina Faso.

Zaré, A., Illou, M., Fossi, S., Bio, TM., Mahé, G., Paturel, J-E., Barbier, B., 2013. Perception of hydrological changes and adaptation strategies in the Inner Niger Delta in Mali. *Knowledge for the Future" Assembly*. 22 – 26 Juillet 2013. Gothenburg, Suède.

Diallo, M., Abrami, G., Zaré, A., Gumpinger E., Ducrot, R., Ferrand N., Morardet S., Hassenforder E., 2013. *Science for the environment conference*. 3-4 octobre 2013, Aarhus, Danemark.

#### Doctoriales

Zaré, A., 2015. Les instruments économiques pour la gestion durable des ressources naturelles dans le delta intérieur du Niger. *Doctoriales conjointes INPHB – 2ie – UAC Bénin : doctorat et monde industriel, quelles interactions*. 19-21 Mai 2015, Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

Zaré, A., 2014. Dynamique hydrologique et mesures d'adaptation dans le delta intérieur du Niger. *Doctoriale : Sciences Sociales de l'eau*. 4-5 décembre 2014, Strasbourg, France.

Zaré, A., Barbier, B., Bologo/Traoré, M., Mahé, G., Diallo, M., Diarra, A., Paturel J-E., 2012. Approche physique et humaine de la prévision de la crue dans le delta intérieur du Niger au Mali. *Doctoriales UMR Geau*. 18-20 décembre 2012, Montpellier, France.

Zaré, A., Barbier, B., Diallo, M., Mahé, G., Bologo/Traoré, M., Diarra, A., 2012. Indicateurs d'évaluation d'un outil de prévision des crues et usagers de l'eau: le cas du delta intérieur du Niger au Mali. *Doctoriales UMR Geau*. 18-20 décembre 2012, Montpellier, France.

### **Posters**

Zaré, A., Barbier, B., Diarra, A., Bologo/Traoré, M., 2015. Participatory approach for the integrated management of a wet ecosystem in a context of climate change: Inner Niger Delta (Mali). *International Scientific Conference: Our Common Future Under Climate Change*. 7-10 juillet 2015, Paris, France

Zaré, A., Illou, M., Fossi, S., Bio, TM., Mahé, G., Paturel, J-E., Barbier, B., 2013. Perception of hydrological changes and adaptation strategies in the Inner Niger Delta in Mali. *Knowledge for the Future" Assembly*. 22 – 26 Juillet 2013, Gothenburg, Suède.