



**Wetlands**  
INTERNATIONAL

# SOUTENIR LE DELTA INTERIEUR DU NIGER-L'ARTERE VITALE

COMMENT LES PROJETS DE BARRAGE ET D'EXTENSION  
DE L'IRRIGATION POURRAIENT-IL AFFECTER LE DELTA  
INTERIEUR DU NIGER?

# Table des matieres

## Auteurs collaborateurs (par ordre alphabétique):

Paul Brotherton<sup>a</sup>, Chris Baker<sup>a</sup>, Mori Diallo<sup>b</sup>, Samuel Fournet<sup>c</sup>, Karounga Keita<sup>b</sup>, Erik Klop<sup>d</sup>, Joyce Kortlandt<sup>a</sup>, Stefan Liersch<sup>c</sup>, Stijn Schep<sup>e</sup>, Frank van Weert<sup>a</sup>, Eddy Wymenga<sup>d</sup>, Beteo Zongo<sup>b</sup>

## Editeurs:

Paul Brotherton<sup>a</sup> et Frank van Weert<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Wetlands International Global Office,

<sup>b</sup>Wetlands International Bureau Sahel,

<sup>c</sup>Potsdam Institute for Climate Impact Research,

<sup>d</sup>Altenburg and Wymenga,

<sup>e</sup>Wolfs Company

## Reconnaissance:

La production de ce rapport est soutenue par BAM-GIRE, un programme de renforcement des capacités de la GIRE au Mali et en Guinée par l'Ambassade du Royaume des Pays-Bas au Mali.

## Droits d'auteur: 2020, Wetlands International

Le contenu de cette publication peut être reproduit librement à des fins éducatives, journalistiques et à d'autres fins non commerciales (sous réserve de toute exclusion de responsabilité). Une autorisation préalable doit être accordée pour toutes les autres formes de reproduction. Le crédit complet doit toujours être accordé au titulaire du droit d'auteur.

Wetlands International est une organisation indépendante à but non lucratif active dans environ 100 pays. Nous protégeons et restaurons les zones humides pour l'homme et la nature.

**Éditeur:** Wetlands International

**Conception graphique:** Gertie Vos - Poppyonto

## Citation suggérée:

Soutenir le delta intérieur du niger-l'artère vitale. Comment les projets de barrage et d'extension de l'irrigation pourraient-il affecter le delta intérieur du niger?

<b>Colofon</b>	2
<b>Glossaire</b>	4
<b>Abréviations</b>	5
<b>Introduction</b>	7
Ce qui est en jeu	8
Objet de ce rapport	8
<b>Un Delta Intérieur du Niger dynamique</b>	11
Le bassin du fleuve Niger	11
Dynamique des inondations dans le delta intérieur du Niger	11
Moyens d'existence dans le delta	14
La grande sécheresse	14
La biodiversité	15
<b>Soutenir les moyens de subsistance et la socio-économie grâce aux services écosystémiques</b>	17
Services de l'écosystème	17
Pêche	20
Riziculture	20
Bétail	24
Graminées	27
Produits naturels	28
Contrôle de maladie	28
Transport / Navigation	28
Activités culturelles	28
<b>Besoin et faisabilité des infrastructures hydrauliques pour la sécurité alimentaire et énergétique</b>	31
Barrages, barrages et réservoirs actuels	31
Projet de barrage de Fomi en Guinée	32
Office du Niger	32
Faisabilité de l'extension ON	34
L'hydroélectricité de Fomi	37
<b>Impacts des nouvelles infrastructures hydrauliques sur le delta intérieur du Niger</b>	39
Impacts sur les rejets dans le delta	39
Impact sur le niveau et l'étendue des inondations	42
Impacts sur le riz et le bourgou et autres graminées	43
Impacts sur la pêche, la riziculture, l'élevage et la navigation	46
Impacts sur le contrôle des maladies	51
Impacts sur la biodiversité	51
Impact sur la migration comme stratégie de subsistance	52
<b>Conclusions et discussion</b>	55
<b>Références</b>	59
<b>Annexe</b>	63
Méthodologie	63
Changement climatique	63
Changement climatique versus référence historique	64
Définition des scénario	65
Calcul du débit de la rivière et de la dynamique des crues	65
Sondage de foyer	66
Calcul des changements dans la fourniture des services écosystémiques	67
Calcul de la valeur économique des services écosystémiques	67
Calcul des changements dans les stratégies de subsistance	68
Limites	68

# Glossaire

**Bassin** est le territoire drainé par une rivière et son réseau d'affluents

**La biodiversité** est la variété et la variabilité de la vie sur Terre

**Bourgou** est une espèce d'herbe répandue dans les régions tropicales d'Afrique et d'Asie et commun dans le delta intérieur du Niger. Il est utilisé comme aliment pour la consommation humaine mais plus communément comme fourrage pour le bétail

**Changement climatique** est le changement de climat attribué directement ou indirectement à l'activité humaine qui modifie la composition de l'atmosphère mondiale et qui s'ajoute à la variabilité naturelle du climat observée sur des périodes comparables

**Terres arides** sont des zones arides, semi-arides et subhumides sèches, caractérisées par une humidité du sol limitée, résultant de faibles précipitations et d'une forte évaporation

**Écosystème** est une communauté des organismes vivants en conjonction avec les composants non vivants de leur environnement, interagissant comme système. Celles-ci biotique et composants abiotiques sont liés entre eux par des cycles de nutriments et des flux d'énergie

**Services de l'écosystème** sont les avantages nombreux et variés que les humains tirent librement de l'environnement naturel et des écosystèmes fonctionnels

**FCFA** est la monnaie ouest-africaine (franc CFA) utilisée au Bénin, au Burkina Faso, en Guinée-Bissau, en Côte d'Ivoire, au Mali, au Niger, au Sénégal et au Togo

**Rendement hydroélectrique ferme** est la quantité maximale de production d'électricité qui peut être garantie avec un certain degré de confiance spécifié pendant une période critique, la saison des faibles débits dans le cadre de cette étude

**Plaine inondable** est une zone de terre adjacente à un ruisseau ou une rivière qui s'étend des rives de son canal à la base des parois de la vallée qui l'enserme et qui subit des inondations pendant les périodes de fort débit (Goudie, 2004)

**Modèle climatique mondial ou modèle de circulation générale** vise à décrire le comportement climatique en intégrant une variété d'équations dynamiques des

fluides, chimiques ou même biologiques dérivées directement de lois physiques ou construites par des moyens plus empiriques (Science Daily, 2020)

**Indice de développement humain (IDH)** est une mesure sommaire de la réussite moyenne dans les dimensions clés du développement humain, y compris l'espérance de vie et la qualité de vie

**Irrigation** est l'épandage artificiel de l'eau sur les terres à des fins de production agricole

**Liste rouge de l'UICN (des espèces menacées)** est l'inventaire le plus complet au monde de l'état de conservation mondial des espèces biologiques. Il utilise un ensemble de critères pour évaluer le risque d'extinction des espèces et des sous-espèces

**Moyens d'existence** sont les façons dont les gens gagnent leur vie. Un moyen de subsistance comprend les actifs (capital naturel, physique, humain, financier et social), les activités et l'accès à ceux-ci (servis par les institutions et les relations sociales) qui, ensemble, déterminent la vie gagnée par l'individu, le ménage ou la famille élargie

**Décharges naturelles** sont les débits fluviaux (niveau et calendrier) qui se produisent en l'absence de stockage ou de détournement artificiel de l'eau en amont

**Voie de concentration représentative (RCP)** fournit des projections en fonction du temps des concentrations de gaz à effet de serre (GES) atmosphériques adoptées par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat des Nations Unies

**Résistance** est la capacité d'une communauté ou d'un (éco) système à absorber les chocs

**Inondations saisonnières** sont les inondations qui se produisent chaque année en raison de l'augmentation des précipitations et du ruissellement en saison humide (dans ce cas ouest-mousson)

**Le développement durable** est un développement qui atteint des objectifs économiques, sociaux et environnementaux sans impact négatif sur les sociétés futures

**Vulnérabilité** est la propension à être affectée par des chocs, liée aux conditions socio-économiques, démographiques, politiques, culturelles et environnementales

**Répartition / gestion de l'eau** est le processus de distribution d'eau à divers usages et utilisateurs

**Zones humides** sont une grande variété de zones inondées de façon saisonnière ou permanente, comme les marais, les plaines inondables, les rivières et les lacs et les zones côtières. Il peut s'agir d'écosystèmes naturels (rivières et lacs) ou d'origine humaine (réservoirs)

# Abréviations

## FCFA

Franc de la Communauté Financière Afrique

## CGM

Modèle climatique mondial

## GRDC

Centre mondial de traitement des eaux de ruissellement

## IHLNUS

Liste du patrimoine immatériel de l'UNESCO nécessitant une sauvegarde urgente

## DIN

Delta intérieur du Niger

## MW

Mégawatt

## ABN

Autorité du bassin du Niger

## ON

Office du Niger

## ORM

Opération Riz Mopti

## ORS

Opération Riz Ségou

## PAHA

Plan d'Aménagement Hydro-Agricole ; Hydro-agricole Plan de développement de l'Office du Niger

## RCP

Voie de concentration représentative

## RILH

Liste représentative du patrimoine culturel immatériel de l'humanité de l'UNESCO

## SWIM

Modèle intégré sol et eau

## BNS

Bassin du Niger supérieur



UN Photo / Harondane Dicko

# Introduction

L'eau est l'une des principales ressources naturelles du Bassin du Niger Supérieur (BNS) et essentielle au développement de la région. Le Mali et la Guinée sont parmi les pays les plus pauvres du monde où l'insécurité hydrique, alimentaire et énergétique persiste. Comme dans la ceinture sahélienne plus large de l'Afrique, la croissance démographique dépasse la production alimentaire. La demande d'énergie augmente. Dans le même temps, le bassin se caractérise par une grande variabilité naturelle, avec des périodes prolongées d'années humides et sèches. Le changement climatique et l'augmentation des températures ajoutent une incertitude supplémentaire à la quantité d'eau qui sera disponible à l'avenir. Les solutions à de nombreux défis critiques auxquels le Mali en particulier est confronté, un pays enclavé au bord du désert du Sahara, dépendent de la gestion durable et équitable de l'eau et des ressources naturelles du fleuve Niger. L'utilisation durable de l'eau et des écosystèmes connexes est au cœur des perspectives d'une sécurité alimentaire et énergétique accrue, ainsi que de la réduction de la pauvreté, de la réduction des conflits et de l'instabilité, du renforcement de la résilience au changement climatique et de la réduction des risques de catastrophe.



## Lac Tchad

Les projets d'infrastructures hydrauliques au Sahel présentent de graves dangers qui créent des groupes distincts de gagnants et de perdants. Le lac Tchad est un exemple d'avertissement de l'effondrement écologique des zones humides sahéliennes (Coe et Foley 2001). Les retenues d'eau en amont pour les barrages et les dérivations pour l'irrigation ont apporté des avantages économiques à certains, mais ont réduit la taille du lac de 95% au cours des dernières décennies. Pour les personnes en aval qui dépendaient auparavant des services écosystémiques du lac, cela a entraîné des pénuries d'eau, des mauvaises récoltes, la mort du bétail et l'effondrement des pêcheries. Le lac Tchad est désormais synonyme d'instabilité, de conflit et de migration de millions de personnes.

## Objet de ce rapport

Wetlands International travaille au Mali depuis plus de 20 ans. Nous cherchons à maintenir les écosystèmes d'eau douce qui forment une base durable pour un développement équitable et résilient au climat, une sécurité alimentaire et hydrique améliorée et la biodiversité. Nous constatons que trop souvent au Sahel, lorsque des projets d'infrastructures hydrauliques sont envisagés, les intérêts sectoriels et acquis entravent une analyse et une exploration intégrales et objectives de solutions alternatives. Dans de telles considérations, les valeurs des zones humides dans la fourniture de biens et services sont souvent négligées.

Pour accroître la sécurité de l'eau, de la nourriture et de l'énergie, la Guinée et le Mali ont utilisé une approche d'ingénierie hydraulique classique qui utilisait auparavant le fleuve Niger pour la construction d'infrastructures hydrauliques afin de tirer parti du potentiel hydroélectrique et de stocker et détourner l'eau pour l'irrigation agricole. La planification est en cours pour un nouveau projet de barrage de Fomi sur le fleuve Niger en Guinée et l'expansion à grande échelle de l'irrigation dans l'Office du Niger (ON) au Mali.

## Ce qui est en jeu

En aval des infrastructures hydrauliques, des millions de personnes et d'animaux dépendent actuellement des biens et services produits par les zones humides des plaines inondables comme dans le delta intérieur du Niger malien (DIN). Ce sont des gens qui y vivent de façon permanente ou saisonnière, y migrent des zones arides. Le cycle annuel des inondations et décrues fait partie intégrante de l'économie régionale du DIN basée sur l'agriculture, la pêche et le pastoralisme et soutient une biodiversité importante. Les variations temporelles de la quantité d'eau atteignant le delta sont un enjeu déterminant pour la survie future des écosystèmes comme ceux du DIN. Les décisions sur la construction de nouvelles infrastructures hydrauliques dans le BNS auront un impact durable qui sera presque impossible à inverser avec des conséquences non seulement pour les personnes qui en dépendent, mais potentiellement aussi pour les modèles de stabilité et de migration du centre du Mali.

Les coûts réels en termes de perte et de dégradation de ces écosystèmes ne sont pas systématiquement évalués ni suffisamment pris en compte dans la prise de décision.

Afin de maintenir l'impulsion de crue du DIN, il est estimé que tous les coûts et avantages directs et indirects, immédiats et futurs des changements proposés pour la répartition actuelle de l'eau dans le bassin du Niger Supérieur doivent être pleinement pris en considération. Cela va au-delà de la simple discussion des coûts et avantages financiers et même économiques. Il s'agit de coûts et d'avantages pour la société. Pour que tout le monde - y compris les parties prenantes du DIN, le Gouvernement du Mali, ainsi que les institutions et les ONG soutenant le développement et la gouvernance - comprenne ce qui est en jeu.

En 2005, nous avons publié *Le Niger, une artère vitale* pour évaluer le rôle des infrastructures hydrauliques dans l'économie et l'écologie globales du DIN et du bassin en amont. Ce rapport a mis en évidence les effets prévisibles des choix de développement sur le delta intérieur du Niger et a joué un rôle important en informant le dialogue entre les gouvernements et les investisseurs. Depuis lors, les Gouvernements du Mali et de la Guinée ont continué à chercher des solutions à leurs défis de sécurité alimentaire et énergétique conduisant à de nouveaux accords sur le développement des infrastructures étant conclus au niveau de l'Autorité du Bassin du Niger, bilatéralement entre les Gouvernements

du Mali et de la Guinée et au sein du Gouvernement malien lui-même.

Ces nouveaux accords basés sur la même approche d'ingénierie hydraulique impliquent une utilisation nouvelle et radicalement différente des ressources en eau dans les prochaines décennies dont les implications pour le Delta Intérieur du Niger n'ont pas été suffisamment évaluées. De plus, la science entourant la modélisation hydrologique et l'évaluation des services écosystémiques s'est développée davantage, remettant en question certains des résultats et hypothèses formulés dans le rapport précédent. Par conséquent, en collaboration avec des organisations partenaires et le soutien de l'Ambassade des Pays-Bas et du Gouvernement malien, de nouvelles études menées par des experts ont été menées pour évaluer la valeur des services écosystémiques dans Le DIN et comprendre les impacts potentiels de l'infrastructure proposée et en particulier le projet de barrage de Fomi et les plans d'expansion majeure de l'irrigation dans le BNS.

Ce rapport synthétise les informations récentes basées sur les études commandées et sur d'autres travaux. Il est censé éclairer les discussions entre les partenaires au développement concernés tels que le Gouvernement Malien et Guinéen et les investisseurs internationaux et la prise de décision sur le développement durable et inclusif dans le Bassin du Niger Supérieur.

© Wetlands International Sahel Office



# Un Delta Intérieur du Niger dynamique

## Le bassin du fleuve Niger

Le bassin du fleuve Niger couvre une superficie totale de plus de deux millions de km<sup>2</sup> et traverse neuf pays. Il s'agit de la principale artère fluviale de l'Afrique de l'Ouest, qui coule des hauts plateaux de la Guinée jusqu'à son point le plus septentrional au Mali et revient vers le sud jusqu'à sa sortie de delta au Nigéria (Figure 1). C'est la principale source d'eau douce de cette région du Sahel semi-aride à aride, ce qui la rend cruciale pour la fourniture d'une large gamme de biens et services écosystémiques le long de son parcours à de nombreux bénéficiaires différents.

Ce rapport se concentre sur le bassin du Niger supérieur, qui comprend les eaux d'amont en Guinée en aval de Tombouctou au Mali. Dans la partie malienne du bassin, le Delta Intérieur du Niger (DIN) est un delta intérieur couvrant une superficie de plus de 40 000 km<sup>2</sup>. Le DIN est la deuxième plus grande zone humide de plaine inondable en Afrique et une zone humide désignée d'importance internationale par la Convention de Ramsar.

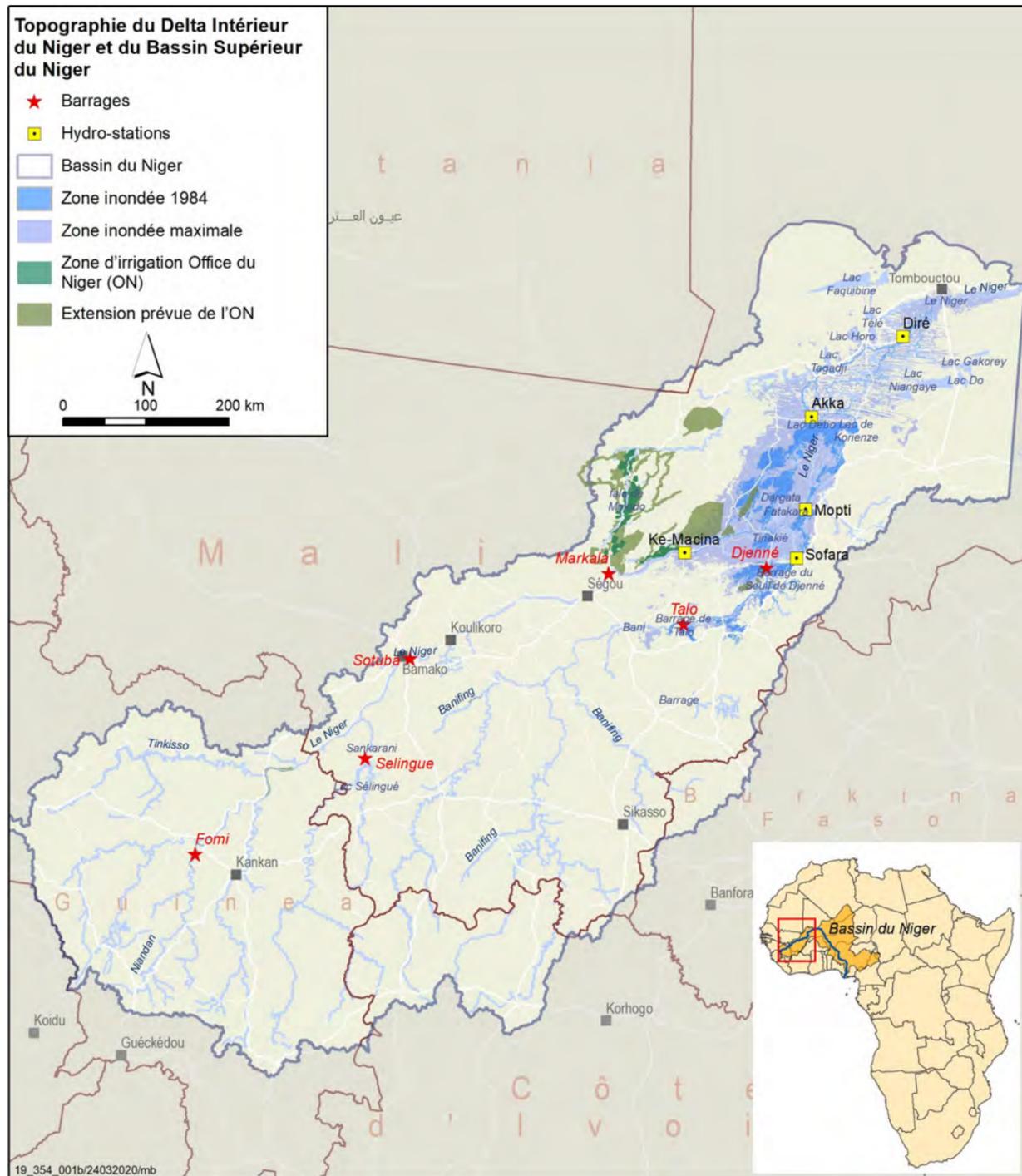
## Dynamique des inondations dans le delta intérieur du Niger

Le fonctionnement du delta est intégralement lié au débit du fleuve arrivant du bassin versant en amont. Il est principalement caractérisé comme un système appelé à impulsion d'inondation. L'expansion et la contraction saisonnières des lacs et des zones humides du DIN dépendent du débit fluvial à l'entrée du delta, Ké-Macina pour le fleuve Niger et Sofara pour le fleuve Bani. Le fleuve Niger reçoit la majeure partie de son ruissellement des précipitations dans son cours supérieur en Guinée, situé à plus de 600

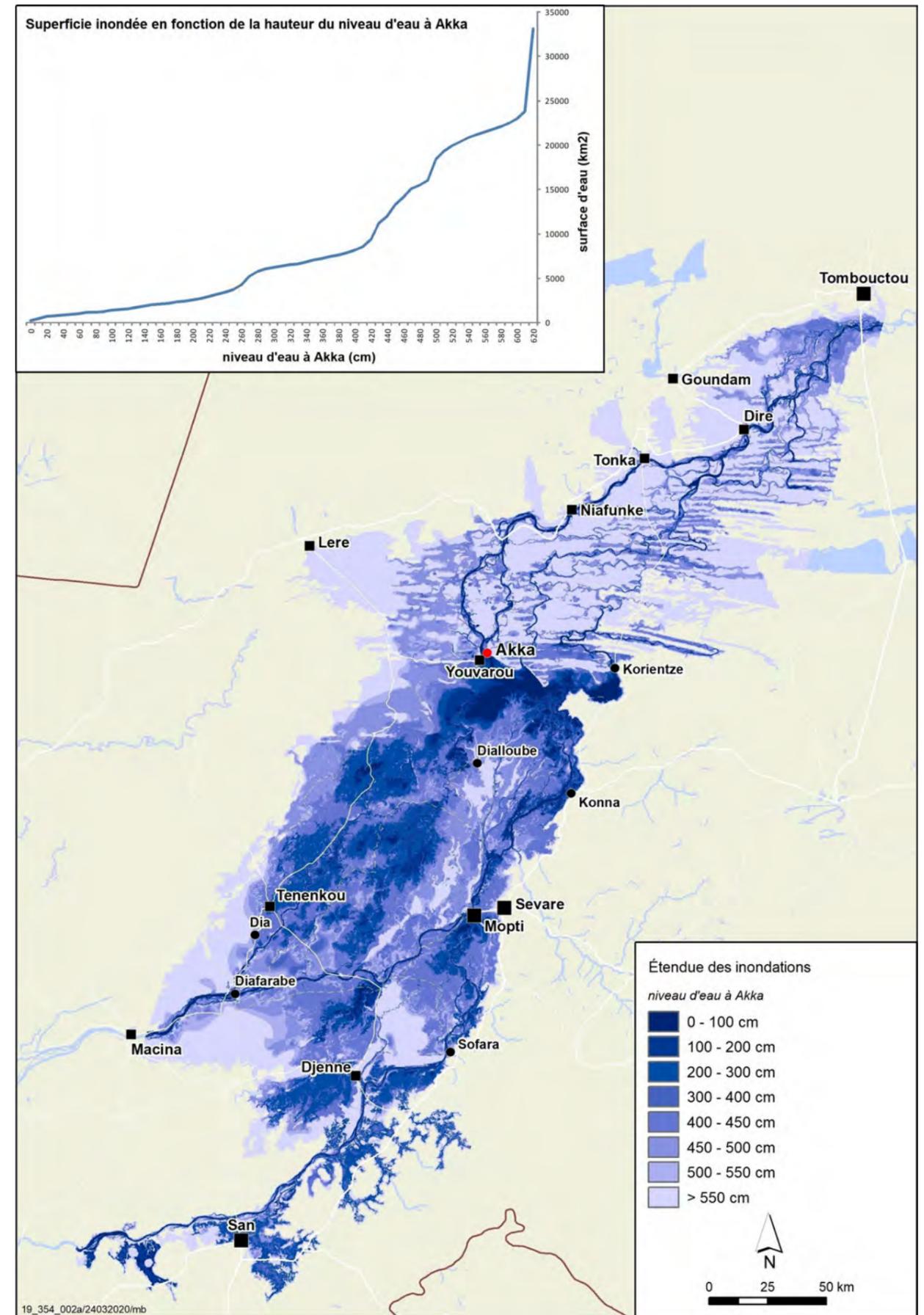
km en amont. Le fleuve Bani contribue à environ 21% de l'apport total dans le delta et est alimenté par les précipitations dans le sud du Mali et de la Côte d'Ivoire. Les précipitations locales dans le DIN sont relativement faibles et ne contribuent qu'à une quantité limitée au cycle annuel des inondations, ce qui signifie que l'étendue des inondations du DIN dépend largement des précipitations dans les zones en amont.

Pendant la saison des pluies, de juin à novembre, le DIN se transforme d'un environnement aride en un vaste paysage de zones humides avec peu d'endroits secs au plus fort de l'inondation avant la décrue à nouveau pendant plusieurs mois. Des changements relativement faibles de la quantité d'eau entrant dans le delta pendant la période d'inondation peuvent avoir un effet important sur la taille de la zone inondée globale et la disponibilité de l'eau dans tout le delta. Cette impulsion de la crue entraîne une variation saisonnière majeure des niveaux d'eau dans le delta pouvant atteindre quatre à six mètres.

Avec la variabilité saisonnière, une variabilité interannuelle et décennale importante des précipitations ouest-africaines détermine la quantité totale des apports annuels d'eau dans le delta. Au cours de la période 1961-2000, ce débit total était en moyenne de 1 430 m<sup>3</sup>/s (mètres cubes par seconde) et variait entre 720 et 2 100 m<sup>3</sup>/s. La taille maximale de la zone inondée varie d'année en année et semble correspondre statistiquement fortement à la hauteur d'inondation maximale mesurée à Akka, au nord de Mopti (Figures 1 et 2). Alors que la superficie totale inondée pendant une année très sèche (moins de 400 cm de niveau d'eau maximum à Akka) est estimée à environ 10 000 km<sup>2</sup>, la superficie totale inondée est d'environ 20 000 km<sup>2</sup> pendant une année humide (au-dessus d'environ 500 cm à l'échelle d'Akka). L'écosystème du DIN et la société dépendante sont adaptés à cette variabilité annuelle et décennale dans une certaine fourchette.



**Figure 1.** Vue d'ensemble du bassin du Niger supérieur et du delta intérieur du Niger et emplacement des principales infrastructures hydrauliques. Les barrages sur cette carte comprennent des barrages hydroélectriques comme Fomi et Sélingué et du barrage comme à Markala pour détourner l'eau vers des systèmes d'irrigation à grande échelle.



**Figure 2.** Surface inondée (km<sup>2</sup>) en fonction de la hauteur du niveau d'eau maximal (cm) à Akka

## Moyens d'existence dans le delta

Le delta est connu pour être une zone clé pour la production agricole au Mali. Tout au long de l'histoire, ses plaines inondables ont été cultivées par différents groupes d'agriculteurs qualifiés (Marka, Bambara, Sonrai, etc.). Pour plus de 90% des agriculteurs, la production agricole est importante pour la subsistance. Les principales cultures sont le riz et le mil. Diverses techniques d'irrigation sont utilisées pour la production de riz, allant de la pluviométrie à la récession des inondations (submersion libre ou culture de crue) où les cultures sont plantées dans les plaines inondables humides après que l'inondation a diminué pour que le niveau de l'eau soit contrôlé dans de simples polders le long de la rivière (« submersion contrôlée ») à de petits périmètres d'irrigation par pompage.

Plus d'un tiers des habitants du delta dépendent dans une certaine mesure des ressources halieutiques pour leur subsistance : 4% dépendent exclusivement de la pêche, tandis que plus de 30% pratiquent une combinaison de pêche, pastoralisme et / ou agriculture. Pour les pêcheries, les régions de Mopti sont les plus importantes (Schep et al., 2019). Historiquement, les données halieutiques ont été collectées par l'Opération Pêche de Mopti (OPM) et, plus récemment, par la Direction Nationale de Pêche (DNP). Ces sources de données montrent que le poisson frais est principalement autoconsommé, tandis que le poisson transformé atteint principalement le marché de Mopti.

L'élevage est un moyen de subsistance particulièrement important dans le delta intérieur du Niger, avec une histoire et une signification culturelles profondes. Les bovins et autres animaux sont gardés en troupeaux de façon saisonnière, paissant à travers le delta pendant la récession des inondations, grâce à une pratique connue sous le nom de « transhumance » (voir l'encadré à la page 48). Vingt pour cent des 20 millions de caprins et ovins et 60% des cinq millions de bovins au Mali sont concentrés dans le Delta Intérieur et ses environs pendant la période sèche.

## La grande sécheresse

Le bassin du Niger supérieur a historiquement connu d'importantes variations annuelles et décennales de la pluviométrie et, par conséquent, des fluctuations du débit du fleuve. La période 1961-2000 illustre cette caractéristique. Les années 1961 sont considérées comme des années humides caractérisées par de fortes précipitations et des débits fluviaux. De 1969 à 1992, le Sahel a subi la grande sécheresse (connue localement sous le nom de La Grande Sécheresse) qui a été une catastrophe pour les populations



© Claudiovidri / Shutterstock.com

du Sahel et du DIN. Pendant cette sécheresse prolongée, la zone inondée du DIN n'a fait en moyenne que 11 000 km<sup>2</sup> lors de cette catastrophe « régulière ». Ces années sont tombées en dehors de la gamme adaptative de la société. Les effets cumulatifs comprenaient une grave famine au Sahel et une désertification accrue.

Le niveau d'inondation le plus bas jamais enregistré a été enregistré en 1984 lorsque le DIN n'a atteint qu'une inondation de 8 000 km<sup>2</sup>, un tiers de sa portée maximale. Alors que le DIN était un havre relatif pendant la sécheresse par rapport au reste du Sahel, la capacité de charge de l'écosystème et de ses services s'est effondrée sous la pression de trop de personnes et de bétail et de trop peu de ressources. Le niveau d'inondation maximal a diminué à 336 cm et le bourgou a perdu la majeure partie de son habitat optimal. L'intensification des pressions humaines a provoqué la mise à nu des pâturages et l'arrachement des arbres. La plupart des forêts inondables du delta, habitat des oiseaux nicheurs et nurseries pour les poissons, ont subi une surexploitation et certaines ont été entièrement détruites. De nombreuses bovins sont mortes et les éleveurs ont perdu plus de la moitié de leur bétail en raison de la réduction des ressources alimentaires et de la réduction de la zone inondée.

Le changement climatique entraînera probablement une augmentation des températures dans la région et des changements dans les précipitations (voir annexe). Si-

multanément, le nombre de personnes en concurrence pour les biens et services écosystémiques dans le bassin du Niger Supérieur augmente rapidement en raison d'une croissance démographique rapide et des migrations internes pour accéder aux ressources du delta. Par conséquent, une situation comme 1984 pourrait se produire plus fréquemment à l'avenir et toucher une population plus importante.

## La biodiversité

Des valeurs écologiques exceptionnelles se trouvent dans le delta. Il s'agit d'un hotspot de biodiversité d'importance mondiale et l'un des plus grands « sites Ramsar » désignés, c'est-à-dire des zones humides d'importance internationale en Afrique. Les modèles d'inondation saisonnière sont cruciaux pour maintenir la biodiversité de la région (Klop et al. 2019, Wymenga et al. 2017).

Végétalisé avec des espèces de plantes et d'arbres adaptées aux fluctuations du niveau de l'eau, le delta va des prairies temporaires nutritives autour du delta pendant la saison humide aux pâturages, marais et forêts inondées d'Acacia kirkii dans le delta. Les types de végétation importants comprennent le riz sauvage, le didéré et le bourgou, qui sont tous régis par la profondeur de l'eau pendant la saison des inondations. Cet ensemble de végétations se

manifeste comme une immense plaine verte qui est intensément pâturée pendant le recul de l'eau. Les champs de bourgou flottants sont essentiels aux populations de poissons du delta en tant que frayère et nurserie.

Le DIN est l'une des principales plaines inondables en Afrique et en tant que telle d'une importance capitale pour les espèces d'oiseaux résidents et migrateurs. L'énorme importance ornithologique de la région a été documentée à plusieurs reprises (Zwarts et al. 2009). Au moins 27 espèces d'oiseaux d'eau migrateurs sont présentes de façon saisonnière en très grand nombre. Pour plus de 11 espèces, une forte proportion de la population eurasiennne non nicheuse s'y rassemble (> 10%, pour sept espèces, même > 25%). Le nombre d'oiseaux aquatiques nicheurs coloniaux dans les lacs centraux est parmi les plus élevés des zones humides d'Afrique. Les forêts inondées Acacia kirkii du DIN et les forêts Acacia seyal à la périphérie du delta abritent de fortes densités d'oiseaux terrestres migrateurs, abritant de nombreuses espèces européennes de la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). La survie des oiseaux hivernants et la reproduction des oiseaux résidents sont également étroitement liées à l'étendue des inondations. Cela signifie que la taille de la population de nombreuses espèces eurasiennes et africaines est (en partie) déterminée par la performance des inondations dans le delta intérieur du Niger.



# Soutenir les moyens de subsistance et la socio-économie grâce aux services écosystémiques

## SERVICES DE L'ÉCOSYSTÈME

Bien qu'il ne couvre que 1,6% des terres du Mali, le delta fournit environ 15% de la production céréalière nationale (Ministère du Développement rural, 2015/2016), et permet aux agriculteurs de pratiquer des cultures plus au nord que partout ailleurs dans le Sahel ouest-africain. Pendant la saison sèche, 60% du cheptel national se trouve dans le delta (Wetlands International, 2019). Elle produit également 80% du poisson et des pâturages du Mali, 30% de sa production nationale de riz (considérée séparément des céréales) et fournit 8% du Produit Intérieur Brut du Mali, soutenant plus de deux millions de personnes, 10% de la population du Mali (Pearce, 2017). Les avantages économiques s'étendent bien au-delà du delta et servent de moteur à l'économie rurale et à la sécurité alimentaire dans toute la région.

Alors, comment ce delta soutient-il tous ces moyens de subsistance, l'économie régionale et même au-delà ? Elle le fait par le biais de ses services et biens écosystémiques. L'approvisionnement de ces services écosystémiques est directement lié à l'impulsion de crue exprimée par l'étendue de la zone inondée et la profondeur de l'eau. La production primaire et secondaire dans le delta dépend des inondations et, par conséquent, les changements de calendrier et d'étendue ont un impact significatif sur la production. La biodiversité joue également un rôle important dans les écosystèmes durables du delta et dans la prestation de services écosystémiques. Par exemple, certaines espèces servent de nourriture aux humains, les bactéries favorisent le recyclage des nutriments et la purification de l'eau tandis que les insectes favorisent la lutte antiparasitaire et la pollinisation.



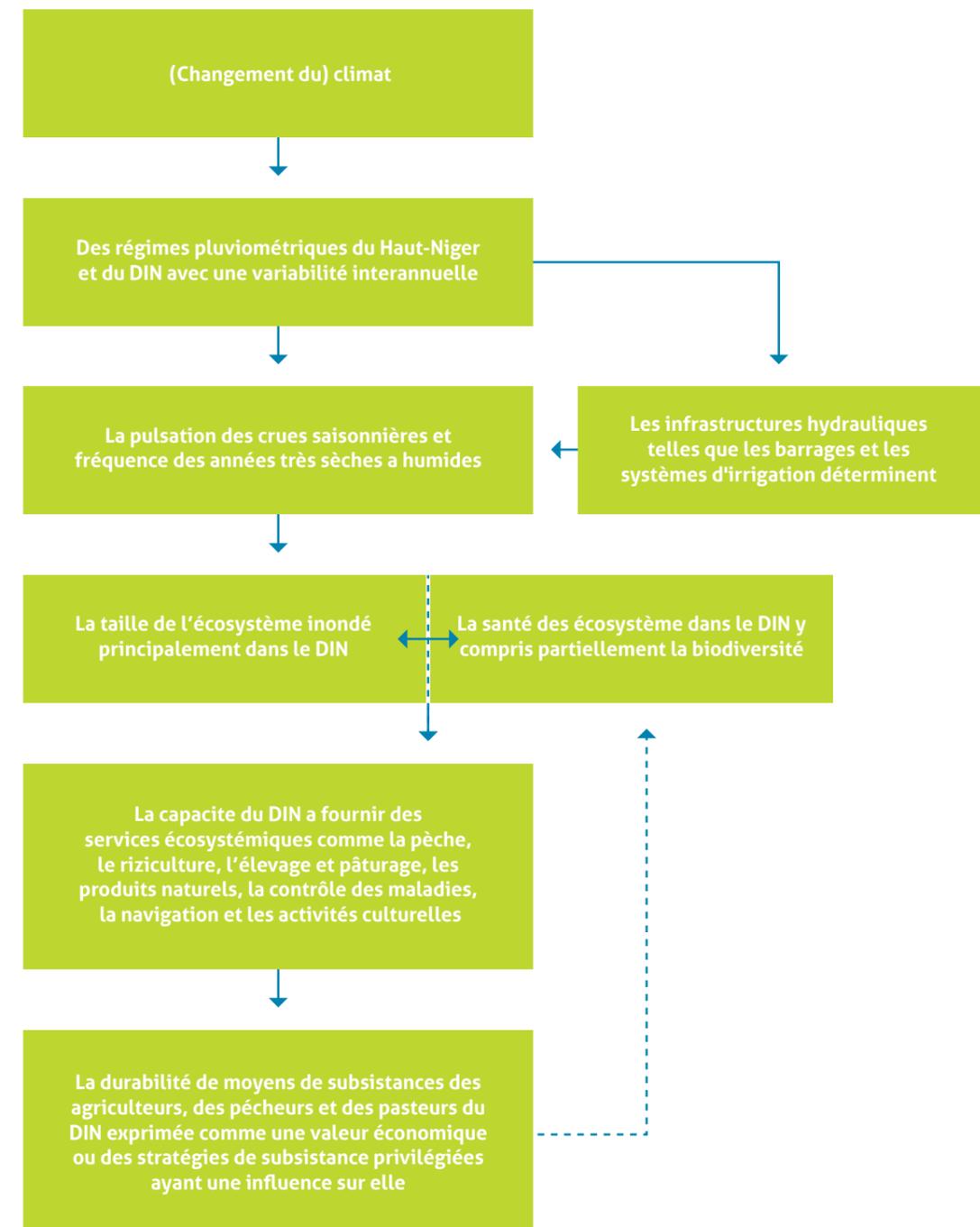
## Services Écosystémiques

Les services écosystémiques dans le delta (et ailleurs) sont les nombreux avantages variés que les humains tirent de l'environnement naturel et du fonctionnement des écosystèmes (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Ils sont regroupés en quatre grandes catégories:

- Fourniture de services écosystémiques - production de nourriture et d'eau, de produits naturels pour l'énergie, de matériaux de construction et de médicaments;
- Réglementation - séquestration du carbone et régulation du climat, décomposition des déchets, purification de l'eau et de l'air, lutte contre les ravageurs et les maladies et régulation des inondations;
- Soutenir - cycle des nutriments, production primaire, formation du sol, habitat disponible et pollinisation;
- Culturel - valeur spirituelle et historique, avantages récréatifs et thérapeutiques et importance pour la science et l'éducation.

© Watch the world - Michel Piccaya / Shutterstock.com

La clé de tout cela est la connexion entre les systèmes où le climat et son changement déterminent les régimes pluviométriques variables ouest-africains, entraînant la pulsation de la crue du Niger alimentant le delta et déterminant la quantité de services écosystémiques sur lesquels les moyens d'existence et l'économie régionale se maintiennent (Figure 3). Le stockage et le détournement des ressources en eau avec des infrastructures hydrauliques affectent considérablement cette connectivité. Ce rapport apprend que les faibles niveaux d'inondation, en particulier au cours des années consécutives, ont des effets néfastes sur la quantité de biens et services qui peuvent être produits.



**Figure 3.** Connexions: comment le climat et les précipitations déterminent la taille de l'écosystème du DIN qui définit la quantité de services écosystémiques dont les habitants du delta peuvent bénéficier. Notez l'infrastructure hydrique qui est un facteur anthropique déterminant le pouls des crues et donc la prestation des services écosystémiques dans le delta.

Les sections suivantes examineront ces liens entre les principaux services écosystémiques considérés et la pulsation des crues dans les zones humides de la plaine inondable du delta (Tableau 1).

Services d'approvisionnement	Pêche Riziculture Bétail et graminées Produits naturels
Services de régulation	Contrôle de maladie
Services culturels	Transport / navigation Activités culturelles

**Tableau 1.** Aperçu des services écosystémiques étudiés dans la région du DIN

## Pêche

Comme mentionné, environ un tiers de la population du DIN capture du poisson à des fins de subsistance ou pour le vendre sur le marché. Le poisson du DIN est exporté à travers l'Afrique de l'Ouest. Le commerce total de poisson dans le DIN est supposé se situer entre 10 000 et 50 000 tonnes et est également lié aux inondations du DIN (Zwarts et al. 2005). La valeur totale des pêcheries (échangées et autoconsommation) dans l'ensemble du delta est estimée entre 50 et 95 milliards de francs CFA (FCFA) par an (Schep et al. 2019). Le poisson du DIN est exporté à travers l'Afrique de l'Ouest.

La saison de pêche a généralement lieu après le pic des crues, généralement au cours du dernier trimestre d'une année donnée, pendant la période de décrue, lorsque les poissons se concentrent dans des plans d'eau fermés temporaires comme les lacs ou les lits des rivières à faible débit d'eau. La durée de la période d'inondation, et à son tour, les niveaux d'eau maximum à Akka pendant la saison des inondations, sont essentiels pour la croissance

des poissons et la reproduction biologique chaque année (Zwarts et al. 2005). Des périodes d'inondation plus longues permettent aux espèces de poissons de terminer leur cycle de vie et de maintenir leurs populations.

Une réduction régulière des captures de poisson due à l'augmentation de la pression de pêche, à la rareté de l'eau et à des périodes d'inondation plus courtes a été observée au cours des vingt dernières années. Dans des relevés récents, les pêcheurs locaux de Mopti indiquent qu'au moins au cours des cinq dernières années, les captures de poisson connaissent une baisse et la concurrence pour les poissons augmente.

## Riziculture

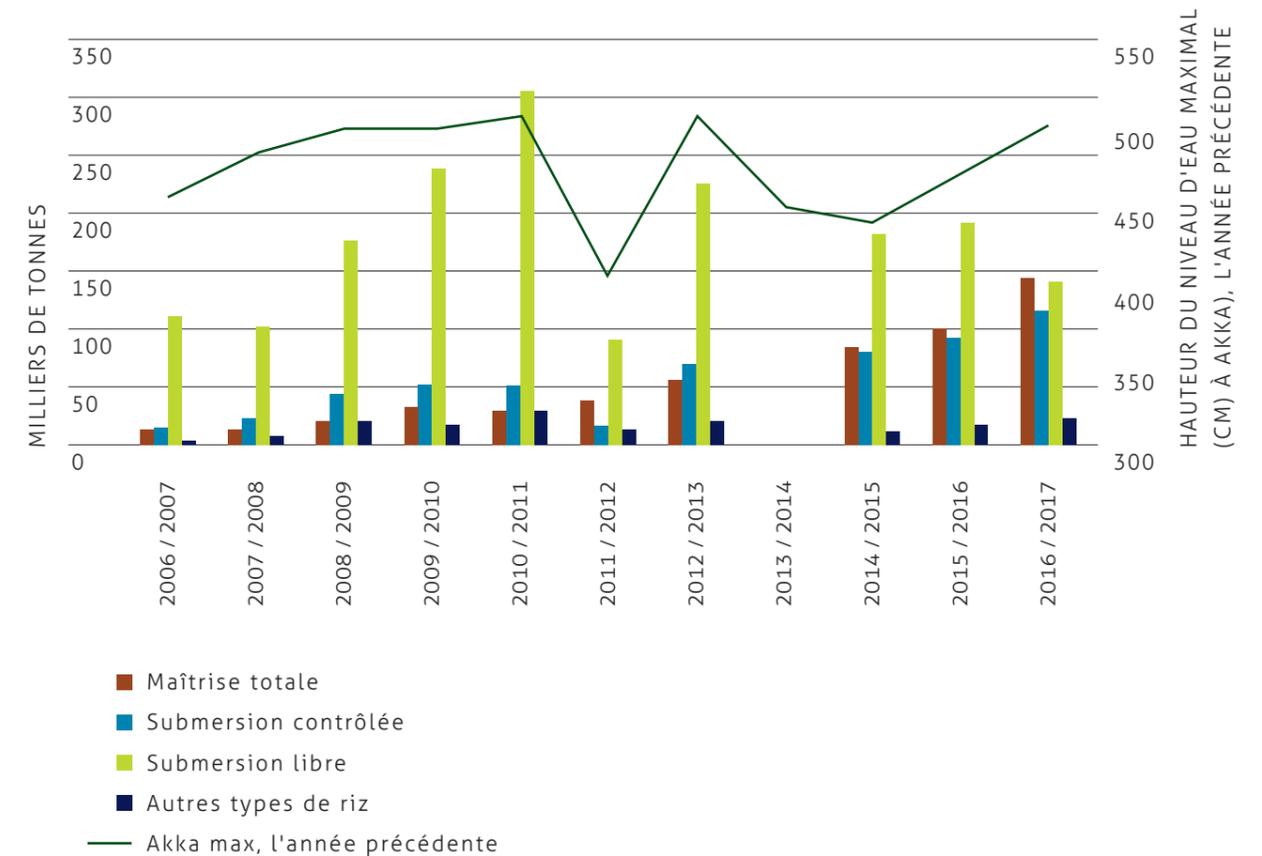
L'agriculture dans le delta dépend fortement des effets combinés de la saison des pluies et de la période des inondations. Les types de cultures, la distribution et les rendements sont largement définis par la date de début des pluies et des inondations, la durée de la période d'inondation, le niveau d'eau maximal et la vitesse à laquelle les inondations se produisent (Thom et Wells 1987).

L'agriculture dans le delta est principalement axée sur la production de riz et de mil. Alors que le riz est fortement tributaire des inondations et de l'irrigation, le mil et d'autres céréales importantes telles que le fonio, le maïs et le sorgho dépendent davantage de la disponibilité en eau de pluie.

### CYCLE HYDROLOGIQUE / AN

	Niveau d'eau bas / Premières pluies locales	Montée des inondations	Niveaux d'eau élevés	Récession	Niveau d'eau bas
<b>Période d'inondation</b>	Mai Juin	Juillet Août	Septembre Octobre	Novembre - Février	Mars Avril
<b>État des plaines</b>	Sec	Inondé		Séchage	Sec
<b>Activités agricoles</b>	Préparation du sol / semis	Développement des plantes		Récolte	

**Figure 4.** Cycle agricole impulsé par les crues dans le delta (adapté de Zare et al. 2017)



**Figure 5.** Production de riz à petite échelle dans la région de Mopti

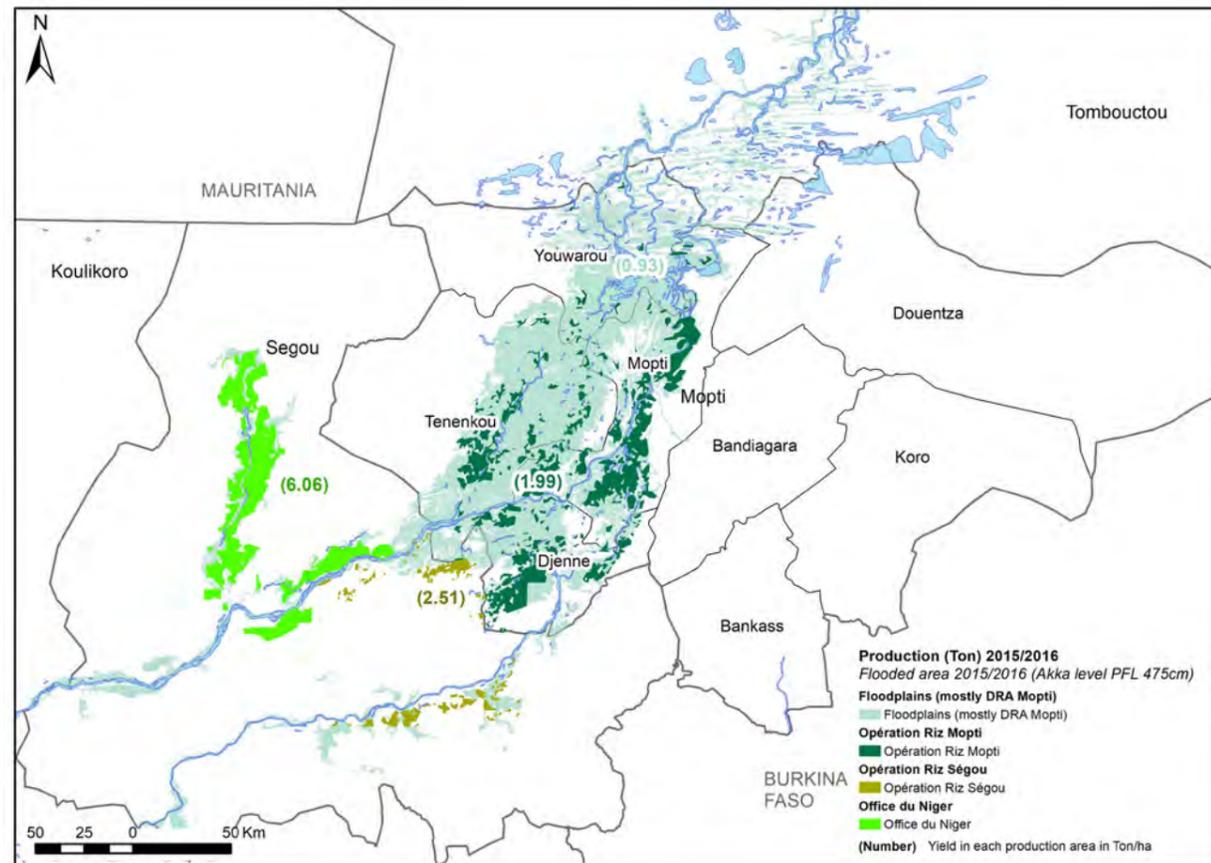
La plus grande part du riz produit à petite échelle dans le DIN correspond au riz cultivé de manière traditionnelle (irrigation naturelle par inondation) dans les plaines inondables de Mopti, suivi par l'irrigation par inondation contrôlée comme dans l'ORM (Opération Riz Mopti) et l'ORS (Opération Riz Ségou) (Figure 5). Les périmètres irrigués à petite échelle connaissent une augmentation ces dernières années, correspondant au riz cultivé dans les plaines inondables au cours de la dernière année étudiée.

La production traditionnelle de riz en plaine d'inondation (rendements) peut varier considérablement d'une année à l'autre car elle dépend fortement de la disponibilité de l'eau et de la zone d'inondation et de la profondeur de l'eau (profondeur optimale 1 à 2 m). La zone appropriée pour la riziculture traditionnelle n'est pas une fonction linéaire de la profondeur de l'eau, en raison de la forme du delta (voir Figure 2). Par exemple, lors d'une crue de pointe de 400 cm à Akka, la zone potentielle de riz s'élève à 4 000 km<sup>2</sup>, mais se réduit de moitié à seulement 2 000 km<sup>2</sup> à une crête de 350 cm, soit une réduction de 50 cm seulement. Cette non-linéarité explique que la production de riz dans la région de Mopti peut facilement passer d'environ 400 000 tonnes au cours d'une année humide comme 2010/2011 à environ 100 000 tonnes au cours d'une année sèche comme 2007/2008 (Figure 5).

Par rapport à la production naturelle de riz en plaine inondable (productivité de 0,93 tonne / hectare dans les plaines inondables de Mopti), les rendements des cultures peuvent être doublés lorsque l'eau est légèrement gérée comme avec l'irrigation contrôlée par les inondations (1,99 tonne/hectare par ORM ou 2,51 tonnes/hectare par ORS). En comparaison, lorsque les terres sont entièrement irriguées, le rendement peut augmenter jusqu'à six fois (6,06 tonnes/hectare dans l'Office du Niger, voir Figure 6). Normalement, une telle amélioration du rendement nécessite des intrants agricoles plus élevés (comme les engrais, la main-d'œuvre, la mécanisation) et peut donc également se produire dans le DIN avec le bon type d'investissements. Cependant, en même temps, il faut dire que la productivité de l'eau (définie comme la quantité de rendement produite par unité d'eau consommée) dans l'ON est en débat

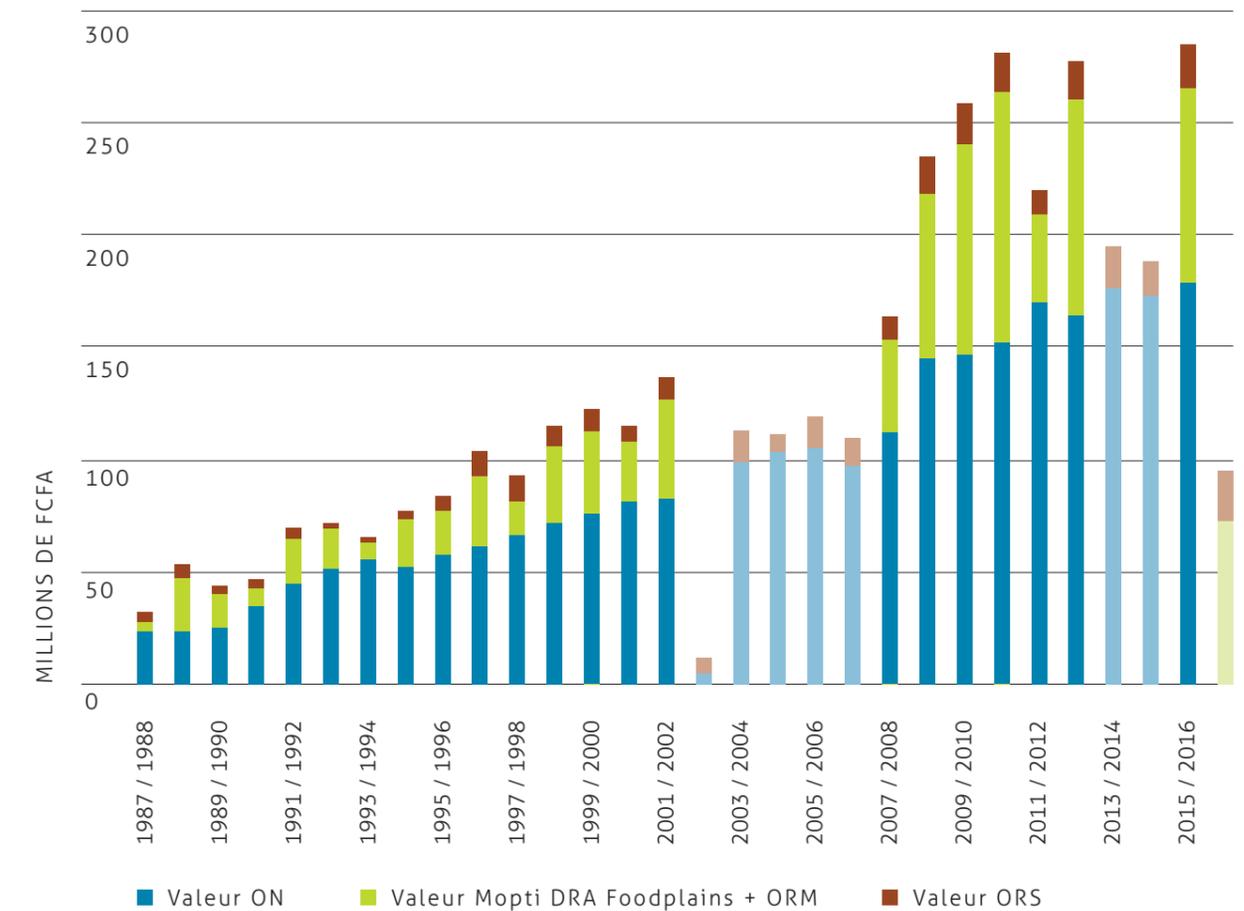
avec d'énormes pertes d'irrigation dues à l'infiltration des canaux et à une évaporation non bénéfique.

En 2011, la production de riz à petite échelle à Ségou et Mopti (orange et vert) valait environ 130 milliards de FCFA et 50 milliards de FCFA en 2012. Comparativement pour la même période, la valeur du riz produit par l'ON varie entre 114 et 180 milliards de FCFA (Figure 7).



**Figure 6.** Zones de production de riz à petite échelle dans le Delta Intérieur du Niger (plaines inondables, ORM et ORS), et Office du Niger. Les rendements de production en tonnes/ha sont indiqués entre parenthèses

VALEUR DE LA PRODUCTION DE RIZ EN 2014



**Figure 7.** Valeur de la production de riz dans les différentes zones en utilisant la valeur 2014 FCFA. Les années avec barres hachurées sont celles avec des lacunes dans les données de production ou avec des données moins détaillées



© Mori Diallo

## Bétail

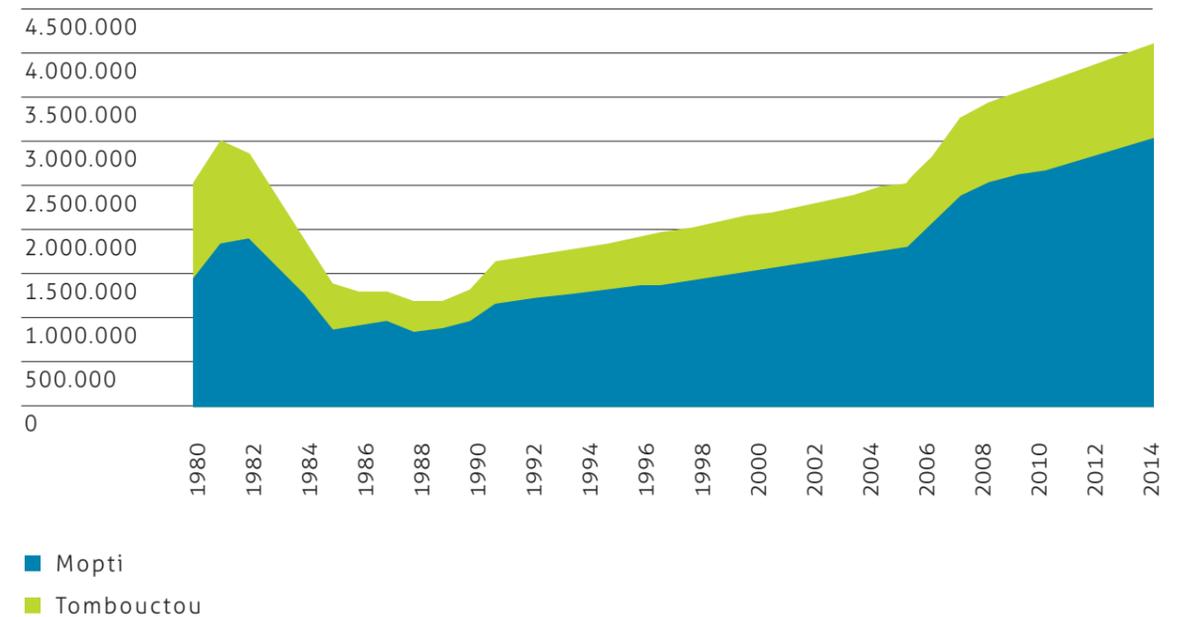
Le DIN soutient des millions de bovins, ovins, caprins, chevaux et chameaux. Il est très productif pour le bétail, non seulement en raison de sa taille, mais aussi de sa dynamique d'inondation. Environ 40 à 60% des 10 millions des bovins actuellement estimés au Mali sont concentrés dans le delta et ses environs.

Le DIN représente une ressource essentielle en saison sèche pour les pasteurs. Lorsque les plaines inondables se submergent pendant la saison des pluies de juillet à septembre, les éleveurs se retirent progressivement vers des terrains plus élevés, parcourant plusieurs centaines de kilomètres pour atteindre de bons pâturages. Pendant

les décrues aux mois de saison sèche de décembre à juin, les troupeaux retournent progressivement paître dans le DIN. Les zones de plaines inondables telles que le DIN sont essentielles pour le bétail au Sahel car elles offrent d'excellents pâturages (voir l'encadré sur Bourgou) pendant la saison sèche lorsque les zones arides ne peuvent pas nourrir le fourrage.

Historiquement, les effectifs de bovins, ovins et caprins ont été fortement corrélés à la population humaine. Les périodes de sécheresse réduisent considérablement le nombre de bovins dans la région (voir la section sur la grande sécheresse). Depuis la grande sécheresse, le nombre de bovins, ovins et caprins dans les régions de Mopti et Tombouctou n'a cessé d'augmenter.

EFFECTIFS DE BOVINS



EFFECTIFS DE CAPRINS ET OVINS

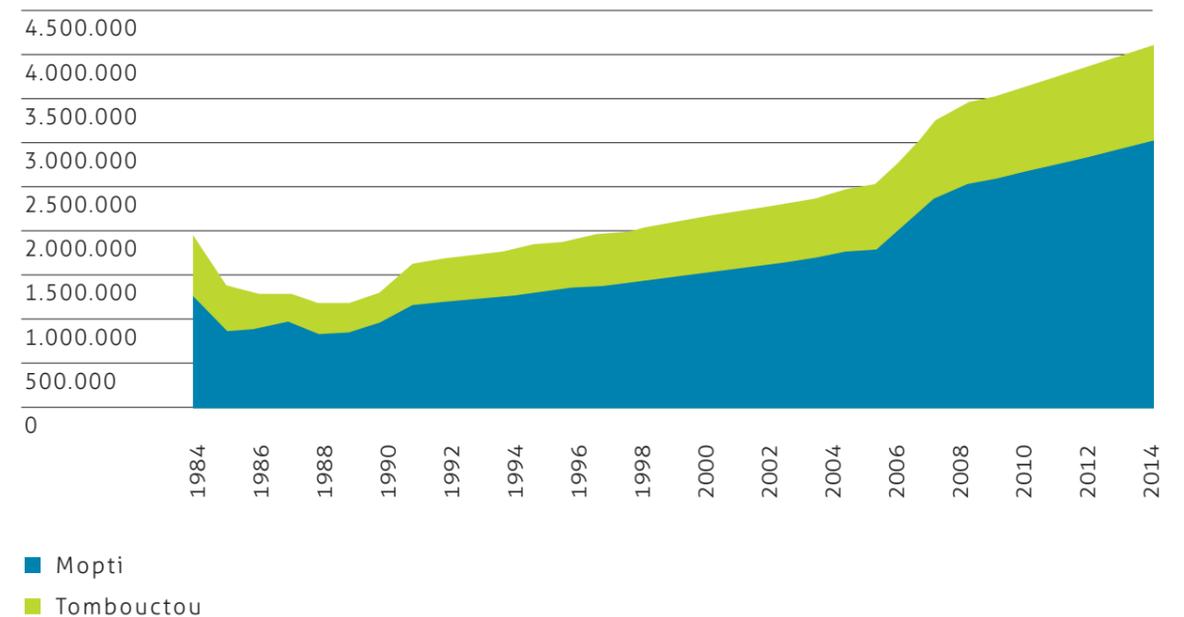


Figure 8. Graphique montrant le développement de l'élevage entre 1980 et 2015

Les valeurs économiques actuelles de l'élevage, y compris la production de viande et de lait, les ventes d'animaux et le cuir, ont été calculées pour les régions de Mopti, Tombouctou et Ségou et représentent un total annuel d'environ 250 millions de FCFA.

Valeur (millions FCFA)	Viande	Lait	Ventes d'animaux	Peau	Total
Mopti (2015)	64 408	10 766	59 295	825	135 294
Tombouctou (2015)	30 838	7 476	28 361	387	67 063
Ségou (2011)	20 242	4 041	24 898	323	49 504

Tableau 2. Aperçu de l'évaluation économique des produits de l'élevage par région IND

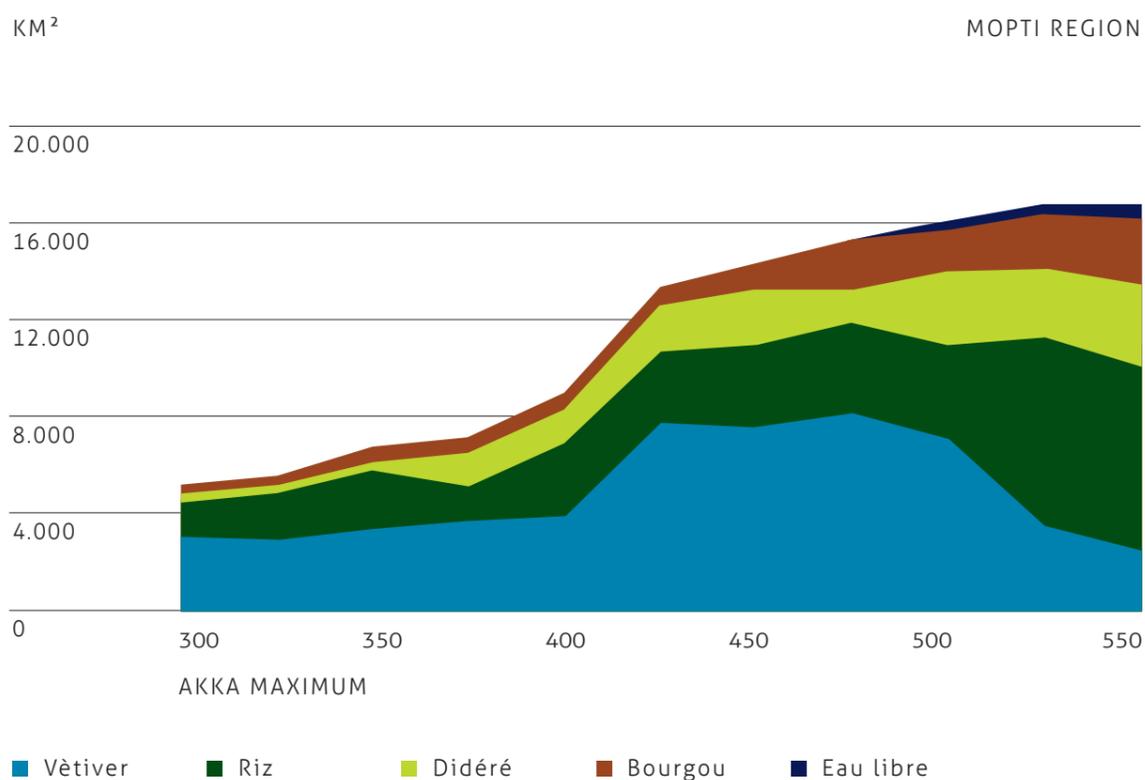


Figure 9. Changement de la zone inondée (km²) et du couvert végétal dans la région de Mopti lié au niveau d'eau maximum à Akka



© Ibrahima Sadio Fofana

## Bourgou

Le bourgou est un type d'herbe couramment utilisé comme aliment pour le bétail par les éleveurs nomades qui viennent dans le DIN (Zwarts et al. 2005; Zwarts et al. 2009). En raison de ses qualités fourragères, il est cultivé à travers le delta et est généralement pâturé une fois que l'inondation commence à reculer et que les agriculteurs ont récolté leurs récoltes. Le bourgou pousse dans des eaux plus profondes que d'autres graminées telles que le didéré et le vétiver. La plupart des zones de plaine inondable en Afrique sont inondées de 0,5 à 2 m, mais la profondeur des inondations maximales est exceptionnellement élevée dans le DIN, variant entre 4 à 6 m. C'est la raison pour laquelle l'herbe de bourgou, qui pousse là où la profondeur de l'eau atteint au moins trois mètres, est courante dans le DIN mais pas dans les autres plaines inondables africaines. Les habitants du DIN plantent du bourgou lorsque cela est possible, en eau profonde, car ils savent qu'il est extrêmement productif et a une valeur nutritive élevée.

De nombreux pâturages de bourgou ont été perdus au cours des quatre dernières décennies, affectant les moyens de subsistance des éleveurs et des pêcheurs. Les résultats de l'enquête indiquent que presque tous les répondants ont observé une diminution de la quantité de bourgou disponible au cours des cinq dernières années. Étant donné la forte dépendance du bourgou à l'égard des inondations, cette observation peut être liée à la diminution de la disponibilité en eau observée par les répondants pratiquant des activités agricoles.

## Graminées

Les herbes sont principalement utilisées pour le pâturage du bétail tandis que le riz sauvage est utilisé pour la consommation humaine. Le bétail bénéficie en particulier du bourgou étant le plus nutritif et la dernière herbe à brouter avant la prochaine inondation. Chaque type d'herbe a son propre habitat optimal où elle pousse, fortement corrélée à la profondeur de l'eau :

- Riz sauvage et cultivé, mieux cultivé dans une profondeur d'eau de 1 à 2 m pendant le pic de crue
- Herbe flottante connue localement sous le nom de didéré, profondeur d'eau 2 à 3 m
- Herbe flottante plus grande connue localement sous le nom de bourgou, profondeur d'eau de 3 à 5 m.

Parfois, là où l'eau est trop profonde pour que le bourgou pousse, l'eau libre reste. La Figure 9 montre les différentes zones de croissance potentielles de ces graminées en fonction du niveau d'eau maximal mesuré à Akka.

## Produits naturels

De plus, le DIN fournit de nombreux produits naturels qui sont importants pour la subsistance des habitants:

- Matières premières pour la construction - argile, bois, paille;
- Matières premières pour l'énergie - bois de chauffage, charbon de bois, paille;
- Produits naturels pour la médecine traditionnelle - herbes et produits dérivés des arbres.

La grande majorité de la population locale recueille de l'argile à des fins de construction (94%). Environ 85% des habitants du delta collectent des matériaux de bois de chauffage comme source d'énergie, pour leur propre consommation et beaucoup ont observé une diminution de sa disponibilité au cours des cinq dernières années. La collecte d'herbes et de produits dérivés des arbres, des produits naturels utilisés comme médecine traditionnelle est réalisée par près de la moitié des répondants. Une diminution de leur disponibilité a été observée au cours des cinq dernières années (69% pour les arbres et 87% pour les herbes).

## Contrôle de maladie

La santé publique dans le delta est inextricablement liée aux caractéristiques fonctionnelles combinées des zones humides et des rivières. Par exemple, les plans d'eau stagnants, souvent abondants près des zones humides ou dans les systèmes d'irrigation, fournissent un habitat idéal pour de nombreuses espèces vectrices liées aux principales maladies d'origine hydrique. De plus, ces plans d'eau stagnants accumulent des polluants provenant des eaux usées non traitées et des flux de retour d'irrigation chargés de produits chimiques. Dans un système sain alimenté par impulsions d'inondation, ces plans d'eau stagnants sont rincés pendant la saison des pluies. Cela diminue l'habitat propice aux vecteurs et élimine les polluants. De toute évidence, la santé publique est également directement liée à des facteurs supplémentaires tels que la sécurité alimentaire, WASH et la disponibilité des services médicaux.

## Transport/Navigation

Le transport par bateau est important à des fins commerciales et de loisirs dans le delta. Les passagers et le fret sont principalement transportés par deux types de bateaux différents, le ferry et la pinasse (un bateau traditionnel en bois). Les ferries ne fonctionnent que pendant la saison des pluies car ils nécessitent une profondeur d'eau d'au moins 3 à 4 m pour la navigation. Les pinasses traversent la saison sèche jusqu'à ce que le niveau de l'eau devienne trop bas, même pour ces petits bateaux, qui nécessitent environ un mètre de profondeur. Sur la base des tarifs journaliers et du nombre moyen de jours de navigation par itinéraire, la valeur totale du transport fluvial peut être calculée, une valeur annuelle totale estimée à 2,1 milliards de FCFA pour l'itinéraire Koulikoro – Mopti et 1,6 milliard de FCFA pour l'itinéraire Mopti – Gao.

## Activités culturelles

Après avoir accédé à l'indépendance en 1961, le Mali s'est efforcé de préserver et de promouvoir des éléments de son patrimoine national. Ces efforts ont abouti à l'inscription de quatre éléments sur la Liste représentative du patrimoine culturel immatériel de l'humanité de l'UNESCO (trois sur la Liste représentative du patrimoine immatériel (RLIH) et un sur la Liste du patrimoine immatériel nécessitant une sauvegarde urgente, IHLNUS). Deux de ces éléments se trouvent dans le DIN: l'espace culturel des Yaaral et Degal (inscrit sur le RLIH), et le soi-disant Sanké Mon, un rite de pêche collectif du Sanké (inscrit sur l'IHLNUS).

Les résidents du delta ont été interrogés sur leur participation aux types d'activités culturelles suivantes: événements de traversée d'animaux (festivals de transhumance), événements de pêche collective et événements de courses de pirogues. Les résultats ont montré que 44% ont participé à ces activités.





# Besoin et faisabilité des infrastructures hydrauliques pour la sécurité alimentaire et énergétique

En réponse aux graves sécheresses des dernières décennies, la Guinée et le Mali ont entrepris plusieurs stratégies de sécurité alimentaire et énergétique (Zwarts et al., 2005, Zwarts et al. 2006). Ces objectifs gouvernementaux ont été poursuivis par la construction d'infrastructures hydrauliques pour tirer parti du potentiel hydroélectrique malien et guinéen et pour stocker et détourner l'eau vers les systèmes d'irrigation agricole afin d'améliorer la sécurité alimentaire.

## Barrages, barrages et réservoirs actuels

Au Mali, diverses infrastructures hydrauliques ont été construites dans le bassin supérieur du Niger à des fins énergétiques et d'irrigation:

- Barrage de Markala en aval de Ségou. Il a été construit en 1945 et soutient l'Office du Niger (ON), qui utilise actuellement environ  $2,6 \text{ km}^3$  d'eau par an. Pendant les années humides, cette dérivation de l'eau représente 3% du débit annuel du fleuve Niger, tandis que pendant les années sèches, elle peut atteindre 14%. Pendant la saison sèche, ce détournement peut utiliser la majeure partie de l'eau du fleuve Niger.
- Barrage de Sélingué construit en 1980 sur le fleuve Sankarani, un affluent du fleuve Niger. Elle produit de l'électricité pour la capitale de Bamako. 1 400 ha d'irrigation du riz et d'activités de pêche sont également soutenus. Le réservoir a un volume total de  $2,2 \text{ km}^3$ . La demande actuelle en eau pendant la saison sèche en ON ne serait pas suffisamment approvisionnée sans Sélingué, qui augmente le débit entre janvier et juin.
- Le barrage de Sotuba en service depuis 1929 est une très petite centrale hydroélectrique située directement en aval de Bamako et n'a pas d'impact hydrologique significatif.
- Le barrage de Talo sur la rivière Bani prend  $0,18 \text{ km}^3$  d'eau pour irriguer le riz et les pâturages en amont. On s'attend à ce qu'en raison de Talo, le débit de la rivière Bani à Mopti entre juillet et octobre soit réduit de  $0,39 \text{ km}^3$ .
- Le barrage de Djenné a été récemment construit. Environ  $0,3 \text{ km}^3$  d'eau seront utilisés chaque année pour irriguer le riz et les pâturages.

## Projet de barrage de Fomi en Guinée

Le barrage de Fomi est un projet proposé situé dans les eaux d'amont du fleuve Niger sur le fleuve Niandan dans les hauts plateaux de Guinée. Divers emplacements sont envisagés, notamment Fomi et Moussako, à environ 20 km en amont et Folon. Dans ce rapport, le barrage de Fomi est utilisé pour désigner les trois emplacements possibles.

Alors que le réservoir de Fomi est depuis longtemps souhaité par la Guinée pour l'électricité afin de soutenir à la fois sa population croissante et les besoins énergétiques de son industrie minière principalement, sa conception la plus récente proposée le rend multifonctionnel. Un objectif secondaire clé est de garantir l'eau pour l'expansion de l'irrigation en aval pour la même raison que le réservoir de Sélingué est important. L'eau libérée du réservoir de Fomi pour la production d'hydroélectricité pendant la saison sèche puis détournée au barrage de Markala permettrait à ON d'irriguer plus de terres. Fomi est donc un élément clé du Plan d'Action de Développement Durable de l'Autorité du Bassin du Niger, ABN (2007), et la construction de Fomi est soutenue par le Ministère de l'Agriculture au Mali comme préalable à l'extension de la zone irriguée de l'Office du Niger.

Aux fins de l'étude des impacts potentiels, trois tailles de barrage et dimensions de réservoir différentes proposées par le projet de barrage de Fomi sont considérées ici :

1. Petit : hauteur du barrage à 388,5 mètres au-dessus du niveau de la mer, volume de stockage 1,17 km<sup>3</sup>, surface du réservoir 159,6 km<sup>2</sup>
2. Moyenne : hauteur du barrage 396 mètres au-dessus du niveau de la mer, volume de stockage 2,8 km<sup>3</sup>, superficie du réservoir 287,0 km<sup>2</sup>
3. Grand : hauteur du barrage à 402 mètres au-dessus du niveau de la mer, volume de stockage de 4,9 km<sup>3</sup>, surface du réservoir 416,4 km<sup>2</sup>



© Radio Raheem, flickr

En aval du DIN, deux nouveaux barrages sont prévus : le barrage de Taoussa entre Tombouctou et Gao au Mali et le barrage de Kandadji au Niger. On suppose que les deux barrages n'influencent pas la dynamique des impulsions de crue du DIN.

Lorsque cette recherche a été menée, plusieurs tailles étaient envisagées pour le barrage de Fomi. Par conséquent, la recherche montre les impacts de divers scénarios de développement de l'eau basés sur différentes options du barrage ainsi que de multiples ambitions d'irrigation pour l'Office du Niger. Entre-temps, la taille du barrage de 396 m de hauteur a été choisie par les autorités compétentes pour un développement ultérieur. Le barrage devrait à l'origine être construit près du village de Fomi. De là, son emplacement proposé s'est déplacé à Moussako, à 20 km en amont, et de là encore il s'est retrouvé à l'emplacement actuel de Folon à 30 km en amont de Fomi. Bien que le changement de l'emplacement du projet Fomi ait des effets hydrologiques considérables dans l'environnement immédiat, la recherche n'a montré aucun effet significatif sur les débits hydrologiques atteignant l'IND.

### Office du Niger

Au cours du siècle dernier, divers projets d'irrigation ont été développés au Mali et en Guinée par les gouverne-

ments, souvent en étroite collaboration avec des partenaires de développement internationaux. Ces périmètres irrigués contribuent à la sécurité alimentaire de la région et permettent l'exportation de produits agricoles. Le plus grand système d'irrigation du Mali, situé juste en amont du DIN est géré par l'Office du Niger (ON), une autorité malienne chargée de contribuer à la sécurité alimentaire. L'objectif de l'ON est d'être le grenier à riz de l'Afrique de l'Ouest, et la production actuelle de 740 000 tonnes dans une zone irriguée d'environ 1 300 km<sup>2</sup> génère 52% de la production nationale de riz.

Il y a deux périodes de récolte principales à l'ON, une pendant la saison des pluies (hivernage) et une pendant la saison sèche (contre-saison). Actuellement, pendant la saison des pluies, il y a normalement suffisamment d'eau pour l'ON pour irriguer toute la zone. Pendant la saison sèche, l'ON prélève en moyenne 100 m<sup>3</sup>/s d'eau du fleuve Niger à l'entrée du barrage de Markala en mai et juin, ce qui est rendu possible par les rejets du réservoir de Sélingué (Zwarts & van der Kamp 2013). Sans cette eau supplémentaire, l'irrigation en saison sèche ne serait pas actuellement réaliste.

Pour répondre à la demande croissante de nourriture, le gouvernement malien a proposé une expansion de l'ON dans l'étude du programme de développement agricole de l'Office Zone du Niger, 2014-16 (PAHA IV). Au total, environ

3 300 km<sup>2</sup> s'ajouteront aux 1 200 km<sup>2</sup> déjà irrigués. L'objectif est d'étendre la superficie agricole irriguée totale à environ 2 000 km<sup>2</sup> d'ici 2025, 3 100 km<sup>2</sup> d'ici 2035 et près de 4 600 km<sup>2</sup> en 2045. Cela correspond à un taux d'extension annuel de 90 km<sup>2</sup> chaque année. En comparaison, au cours des 10 dernières années, l'expansion a atteint en moyenne 40 km<sup>2</sup>/an. L'ajout de 3 300 km<sup>2</sup> entraînera une augmentation significative de la production céréalière potentielle, estimée à deux millions de tonnes, dont 1,2 million de tonnes de riz, soit une augmentation de 58%. La superficie totale irriguée annuelle sera encore plus importante, car certaines zones seront cultivées plus d'une fois par an. Sur la base de ces ambitions, la superficie totale irriguée en 2045 sera d'environ 5 400 km<sup>2</sup>.

L'ON a reçu beaucoup d'attention des investisseurs privés internationaux et des agro-entreprises, y compris ceux intéressés par la production de biocarburants. Cela est soutenu par diverses politiques d'entités économiques africaines comme la CEDEAO et le Mali lui-même et par des instituts comme la BM et la FAO qui promeuvent le développement des soi-disant agropoles en Afrique pour atteindre la sécurité alimentaire (Brondeau 2018). Il manque des chiffres clairs sur la part de la production de l'ON qui contribue à la sécurité alimentaire au Mali ou dans d'autres pays.

## Faisabilité de l'extension ON

L'eau disponible dans le fleuve Niger permettrait techniquement de réaliser les plans d'expansion de l'ON pendant la saison des pluies. Cependant, les plans proposent également une intensification des cultures telles que le riz de contre-saison et la canne à sucre pérenne pendant la saison sèche, de janvier à juin. Une nouvelle extension de l'ON pendant la saison sèche n'est pas possible dans les conditions actuelles et ne peut être obtenue qu'en augmentant l'efficacité de l'irrigation ou en fournissant plus d'eau à partir du fleuve Niger. L'approvisionnement en eau en détournant le fleuve Niger à Markala n'est pas possible sans la construction d'un grand nouveau barrage comme Fomi pour le stockage de l'eau en amont.

Ainsi, la question est de savoir si les plans actuels de nouvelles infrastructures hydrauliques permettront d'atteindre les objectifs d'irrigation et de production prévus? Un fleuve Niger complètement non géré (sans barrage en amont de Markala mais avec une étendue d'irrigation de 2015) fournirait actuellement suffisamment d'irrigation pour les cultures de saison sèche dans l'ON pendant les années extraordinairement humides, comparables aux conditions de la fin des années 1961. Si l'on considère la disponibilité moyenne de l'eau sur la période 1961-2000, seulement 67% de la demande actuelle en eau d'irrigation dans l'ON aurait été satisfaite, laissant un écart de 23% (barre bleue dans la partie supérieure de la Figure 10). En regardant les saisons sèche et humide séparément. Il révèle que les déficits de la saison sèche peuvent atteindre 43% et donc en moyenne assez importants, alors que les déficits d'ap-

provisionnement en irrigation pour la saison humide ne s'élèvent qu'à environ 3%.

Les rejets actuels d'eau rejetés par le barrage de Sélingué en amont réduisent l'écart d'approvisionnement moyen pour l'irrigation de 23% à 4% en années moyennes et 8% en saison sèche, tout en éliminant entièrement l'écart d'approvisionnement en irrigation pendant la saison humide.

Bien que les libérations du barrage de Sélingué soient suffisantes pour répondre aux demandes actuelles d'irrigation pendant la saison des pluies, l'expansion de l'irrigation en saison sèche à l'ON ne serait pas possible en raison des déficits moyens prévus en eau de 18% en 2025, 32% en 2035 et 42% en 2045 en saison sèche (Figure 10, partie médiane, scénario Sélingué uniquement).

La faisabilité de l'expansion au moyen d'un nouveau barrage en amont dépend principalement de son volume de stockage et des règles d'exploitation pour la mise en eau et le rejet. Les plans visant à intensifier l'irrigation des cultures de saison sèche à l'ON, comme prévu en 2045, sont déraisonnables dans tous les scénarios de barrage, sauf lorsqu'un grand barrage de Fomi serait exploité. Un petit barrage de Fomi réduirait l'écart d'approvisionnement en eau de la saison sèche par rapport à Sélingué, mais seulement dans une faible mesure, Figure du milieu Sélingué uniquement et scénarios petit Fomi). Les écarts d'approvisionnement moyens seraient de 14% en 2025, 28% en 2035 et 39% en 2045. Un grand barrage de Fomi réduirait considérablement cet écart moyen d'approvisionnement en saison sèche à 0% en 2025, 6% en 2035 et 17% en 2045 (Figure 10, du milieu, scénario de Fomi grande).

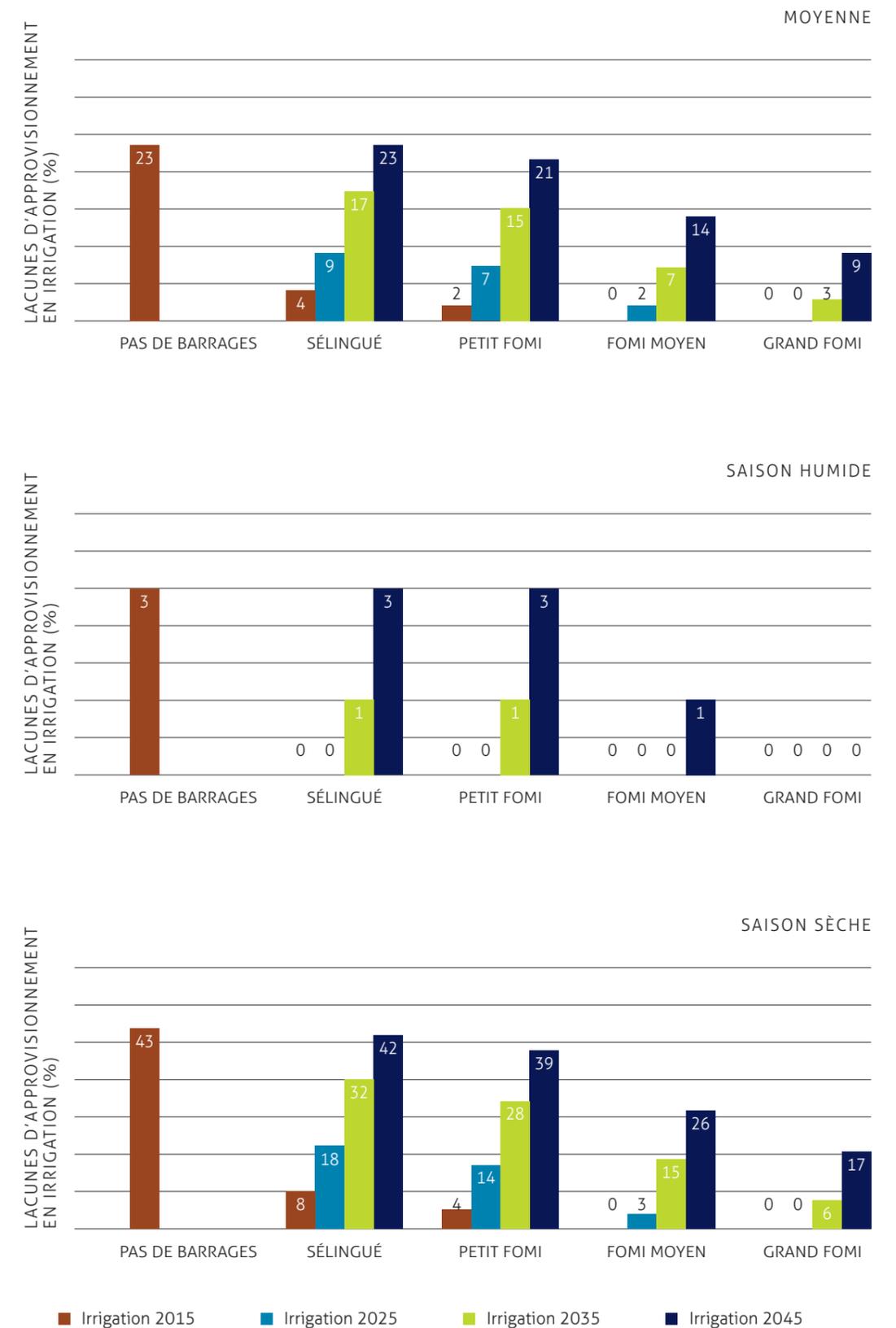


Figure 10. Lacunes d'approvisionnement en irrigation (%) pour les saisons humides et sèches pour divers scénarios d'expansion de l'ON dans différents scénarios de barrage en moyenne sur la période 1961-2000

Les chiffres des lacunes d’approvisionnement en irrigation mentionnés dans Figure 10 faire la différence entre les saisons humides et sèches. Cependant, ce sont des nombres moyens sur toute la période de simulation de 1961-2000 et donc ils ne montrent pas les effets particuliers pendant les années sèches ou en cas de catastrophe. Afin de montrer une telle condition extrême, l’écart maximal d’approvisionnement en irrigation consécutif de 3 mois de l’année de la catastrophe 1984 a été calculé dans la situation alors réelle du barrage de Sélingué et du détournement de Markala. Cet écart était d’environ 50%. Ainsi, seulement 50% de la demande d’irrigation requise pouvait être satisfaite à ce moment-là. Il a ensuite été calculé à quelle fréquence un tel déficit d’approvisionnement en irrigation sur 3 mois (ou plus défavorable), semblable à 1984, se produirait dans différents scénarios de barrage et d’irrigation. Avec seulement les infrastructures de Sélingué

et Markala en place, un tel déficit d’approvisionnement en irrigation, semblable à 1984, se produirait dans 10% des années (voir Figure 11). Mais lorsque ces barrages sont censés répondre aux demandes d’irrigation comme prévu en 2025, 2035 et 2045, l’écart d’approvisionnement en irrigation tel qu’il était perçu en 1984 serait connu 29, 59 et 78% des années. Un petit barrage Fomi supplémentaire réduirait ces occurrences à 0, 17, 56 et 78% des années pour les ambitions d’irrigation de l’ON en 2015, 2025, 2035 et 2045. Un barrage Fomi moyen et grand réduirait ces occurrences de manière significative mais pas complète. Si les plans d’irrigation de 2045 pour l’ON sont réalisés, toujours dans 39 années sur 100, un déficit d’approvisionnement en irrigation, comme cela a été le cas en 1984, se produira avec un barrage moyen. Dans le cas d’un grand barrage de Fomi, cela se produirait tous les 17 ans sur 100.

## L’hydroélectricité de Fomi

L’utilité d’un barrage de Fomi pour la production d’énergie dépend de divers facteurs, tels que les profils de demande d’électricité saisonniers et diurnes, et prévoit de développer et de mettre en œuvre d’autres sources d’électricité renouvelables alternatives et complémentaires sur le site de Fomi. Du point de vue de la production hydroélectrique, la version grande ou moyenne des barrages Fomi est plus avantageuse qu’un barrage plus petit pour garantir la sécurité énergétique. La production annuelle moyenne d’énergie à long terme serait de 36,6 MW pour le plus grand barrage alors que seulement 21,1 MW pour la version plus petite (la production moyenne de Sélingué est de 17,4 MW). Cependant, ces options auraient également les impacts négatifs les plus importants sur les entrées dans le DIN, principalement en raison du fait qu’elles permettraient des retraits d’irrigation beaucoup plus élevés pendant la saison sèche tout en empêchant les débits de pointe nécessaires pour inonder le DIN.

D’un point de vue économique, il est souvent plus important de considérer le rendement hydroélectrique « ferme » ou « sûr », qui est la quantité maximale de production d’électricité qui peut être garantie avec un certain degré de confiance spécifié pendant une période critique, la saison des faibles débits dans le cadre de cette étude. Dans les régions caractérisées par une saisonnalité élevée des débits fluviaux, le potentiel de production hydroélectrique est naturellement beaucoup plus élevé en saison des pluies et le rendement ferme est limité par le potentiel de génération en saison sèche. Le rendement ferme en saison sèche dépend essentiellement de la capacité de stockage du réservoir. Le rendement ferme d’une version plus petite du barrage de Fomi qui peut être garantie 99% du temps serait de 1 MW, tandis que la plus grande version générerait une garantie de 20 MW. A titre de comparaison, le barrage de Sélingué génère un rendement garanti de 6.

OCCURRENCE DE > 50% DE DEFICIT D'APPROVISIONNEMENT EN IRRIGATION

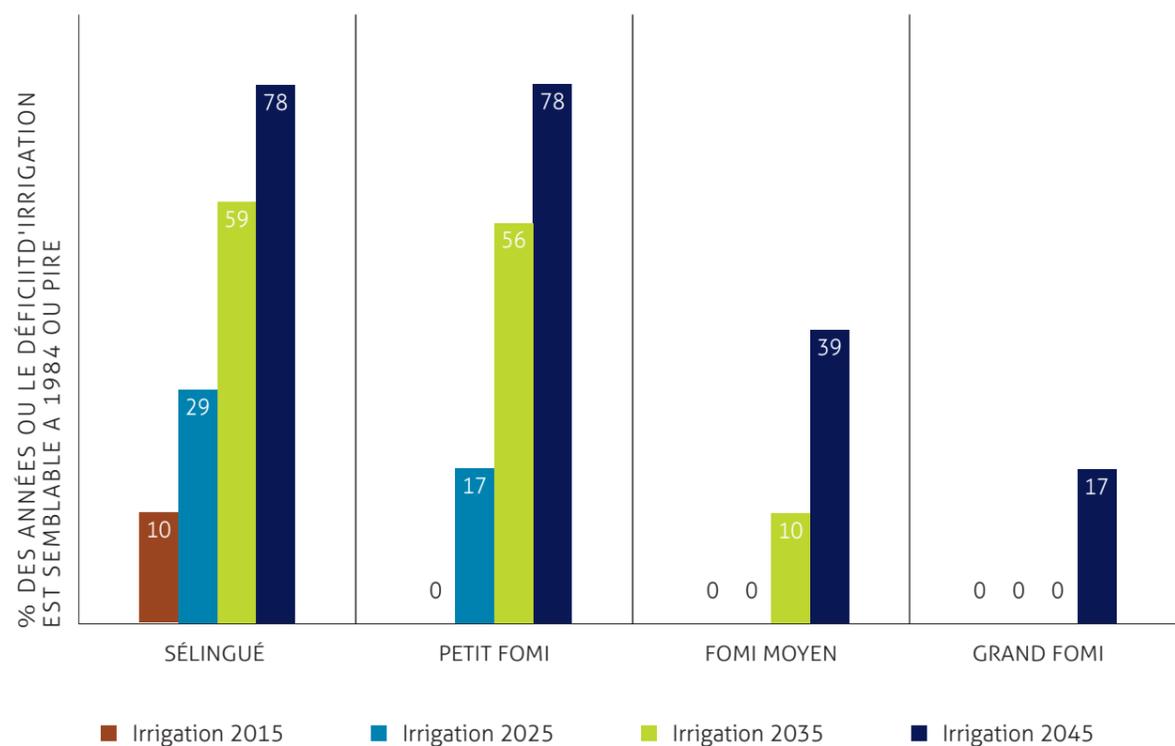


Figure 11. L’apparition d’un déficit d’approvisionnement en irrigation consécutif de 3 mois comme en 1984 ou pire selon différents scénarios de barrage et d’irrigation, exprimés en % d’années

Scénario	Production hydro électrique annuelle moyenne (MW) à long terme	Rendement ferme garanti 90% du temps (MW)	Rendement ferme garanti 99% du temps (MW)
Sélingué	17,4	8,6	6,6
Petit Fomi	21,1	2,3	1,0
Fomi moyen	31,0	12,7	10,6
Grand Fomi	36,6	25,2	20,0

Tableau 3. Production d’hydroélectricité calculée en mégawatts (MW) en utilisant les conditions de la période 1961-2000



# Impacts des nouvelles infrastructures hydrauliques sur le delta intérieur du Niger

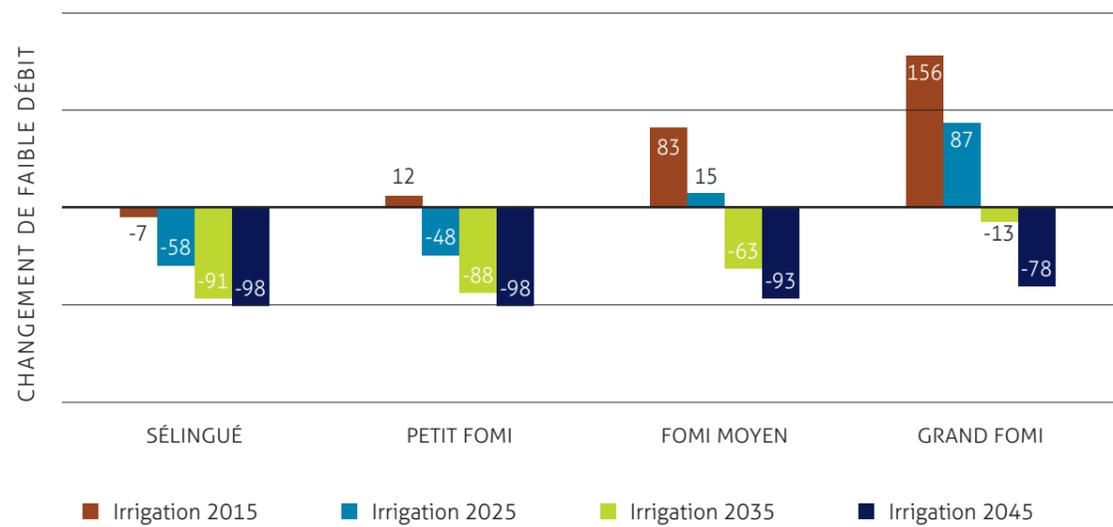
## Impacts sur les rejets dans le delta

Des infrastructures hydrauliques supplémentaires, comme prévu dans le bassin du Niger à rencontrer, stockeront et détourneront de grands volumes d'eau et auront donc des impacts sur les débits fluviaux dans le DIN. Alors que les prélèvements d'irrigation du fleuve Niger tendent normalement à réduire les débits entrant dans le DIN, la gestion d'un barrage hydroélectrique modifie le régime d'écoulement en augmentant les débits pendant la saison sèche et en diminuant les débits pendant la saison humide. La mesure dans laquelle le régime d'écoulement est modifié dépend des opérations du réservoir. De plus, un certain volume d'eau sera perdu dans l'atmosphère par évapotranspiration de la surface du réservoir et infiltration dans l'aquifère des eaux souterraines.

En ce qui concerne le débit du Niger à faible débit dans le DIN, des changements considérables sont à prévoir dans différents scénarios de développement. Faire fonctionner Fomi uniquement pour la production d'hydroélectricité (et donc ne pas détourner le volume supplémentaire d'eau libérée du réservoir de Fomi pour alimenter l'irrigation de

la saison sèche à l'ON) augmenterait le débit de la saison sèche dans le delta. Par rapport aux conditions d'écoulement naturel, celles-ci augmenteraient de 12% et 156% respectivement pour un petit et un grand barrage de Fomi (Figure 12). Les avantages potentiels d'une augmentation des faibles débits seraient l'augmentation correspondante des vitesses d'écoulement dans les principaux canaux fluviaux du delta, réduisant ainsi certains risques de qualité de l'eau résultant de la stagnation de l'eau.

Cependant, lorsque cette eau supplémentaire libérée pendant la saison sèche de Fomi est détournée pour étendre l'irrigation de la saison sèche, les faibles débits entrant dans le delta de Ké-Macina sont réduits en dessous du niveau des débits naturels. Avec le barrage de Sélingué existant, le détournement de l'eau pour répondre aux besoins d'irrigation projetés de l'ON réduirait les faibles débits de 58% en 2025, 91% en 2035 et 98% en 2045. Dans le cas d'un grand barrage de Fomi, le faible débit changerait d'une augmentation de 156% sous les conditions d'irrigation de 2015 à une réduction de 78% sous les projections d'irrigation de 2045 par rapport aux conditions naturelles. Cette réduction des faibles débits augmente le risque de stagnation des plans d'eau dans le DIN et pourrait assécher considérablement le delta.



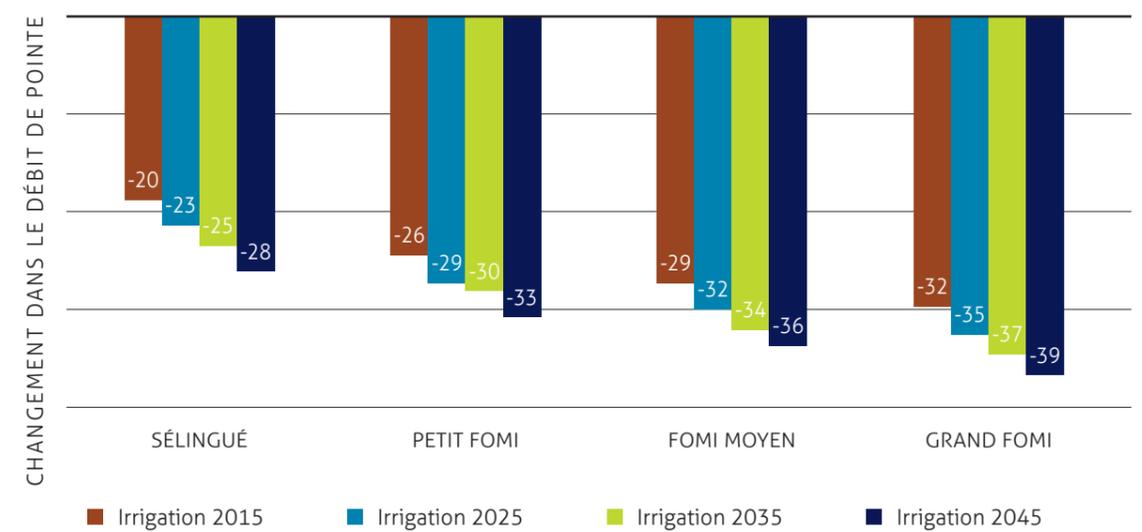
**Figure 12.** Impacts des barrages en amont et de l'expansion de l'irrigation sur les débits moyens à faible débit dans le DIN à Ké-Macina en tant que variation en pourcentage des débits naturels en moyenne sur 1961-2000. Les écoulements naturels se produisent en l'absence de stockage d'eau artificielle ou de détournements en amont.

Le débit de pointe du fleuve Niger à l'entrée du delta à Ké-Macina en septembre est l'indicateur le plus important d'une inondation maximale dans le DIN. Les débits de pointe dans le fleuve Niger sont déjà inférieurs à ceux d'un régime d'écoulement naturel, qui sont le résultat combiné des prélèvements d'irrigation et du stockage des réservoirs pendant la haute saison (Zwarts et al. 2005).

Selon des recherches récentes, les opérations d'irrigation et de réservoir actuelles réduisent de 20% le pic des inondations de septembre dans le delta par rapport aux conditions d'écoulement naturel (Figure 13). Un petit barrage

de Fomi réduirait ce pic d'inondation de 6% supplémentaires par rapport au barrage de Sélingué existant, à condition que les prélèvements d'irrigation soient au niveau de 2015. Un grand barrage de Fomi réduirait le débit de pointe de 32% uniquement en raison des effets du stockage (sans augmentation de la demande d'irrigation).

Dans le scénario d'irrigation de 2045, les pics médians des crues de septembre seraient réduits de 28% avec un barrage de Sélingué uniquement. Avec un grand barrage de Fomi, le pic de débit moyen peut diminuer jusqu'à 39% dans le scénario d'irrigation de 2045.



**Figure 13.** Impact des barrages en amont et de l'expansion de l'irrigation sur les débits de pointe moyens dans l'IND en tant que variation en pourcentage du débit naturel en moyenne sur 1961-2000. Les débits de pointe sont les débits qui atteignent le delta en septembre

Dans le scénario d'un grand barrage de Fomi et d'une irrigation projetée au niveau de 2045, le débit de pointe médian serait réduit à un niveau du deuxième débit de septembre le plus bas simulé au cours de la période 1961-2000, ce qui en 1987 a entraîné une inondation de 10 000 km<sup>2</sup> dans le DIN et a compromis la productivité de l'écosystème pour la population. Dans un scénario encore pire, une année sèche pourrait réduire les pics de charges en dessous des niveaux jamais vus et tarir complètement le DIN, conduisant à un effondrement complet de l'écosystème et de la production alimentaire.

Outre la réduction du débit du fleuve Niger, les barrages de Talo et Djenné récemment construits et les périmètres d'irrigation adjacents dans le bassin du fleuve Bani réduisent encore de 4% les débits d'eau vers le DIN.

En conclusion, les impacts futurs les plus importants sur les débits de la saison sèche et de la saison des pluies dans le delta sont attribuables à l'expansion prévue de l'irrigation, principalement les prélèvements à l'ON. Comme discuté dans Répondre à ces demandes d'irrigation ne serait faisable (en années moyennes et humides mais pas en années sèches) avec un grand barrage en amont supplémentaire comme Fomi et / ou avec une efficacité d'irrigation accrue.

## Impact sur le niveau et l'étendue des inondations

Les débits du fleuve dans le delta déterminent sa dynamique d'inondation comme le niveau d'inondation et la zone inondée. Comme mentionné précédemment, les précipitations locales dans le périmètre du delta du delta n'ont qu'un effet limité sur celui-ci. Le niveau d'inondation annuel est souvent indiqué par le niveau d'eau maximal mesuré à Akka.

### IND's inundation dynamics

Pour comprendre comment la dynamique des inondations de le DIN change en raison de différentes quantités de décharges, divers niveaux d'inondation sont définis:

Niveau d'inondation	Niveau d'eau maximum d'Akka (cm)	Zone inondée (km <sup>2</sup> )
Année humide	> 500	> 20 000
Année moyenne	450 - 500	15 000 - 20 000
Année sèche	400 - 450	9 000 - 15 000
Année très sèche	300 - 400	8 000 - 9 000
Année de catastrophe comme 1984	< 350	< 8 000

Dans le scénario avec l'état actuel (2015) de l'irrigation et des détournements d'eau en amont, environ un sur quatre ans est considéré comme ayant une dynamique d'inondation comme pendant les années très sèches ou pire (Figure 14). Si un grand barrage de Fomi est exploité pour la production d'hydroélectricité, cette fréquence augmente à 30%, un peu moins d'une fois tous les trois ans. Si un

grand barrage de Fomi est complété par une expansion de l'irrigation selon les projections de 2045, la fréquence des années très sèches ou pire dans l'IND devrait même augmenter à 42%, près de 1 sur 2 ans. La dynamique des inondations, similaire aux années dites de catastrophe comme 1984, passe de 2% dans les conditions actuelles (une fois tous les 50 ans) à 10%, soit une sur 10 ans.

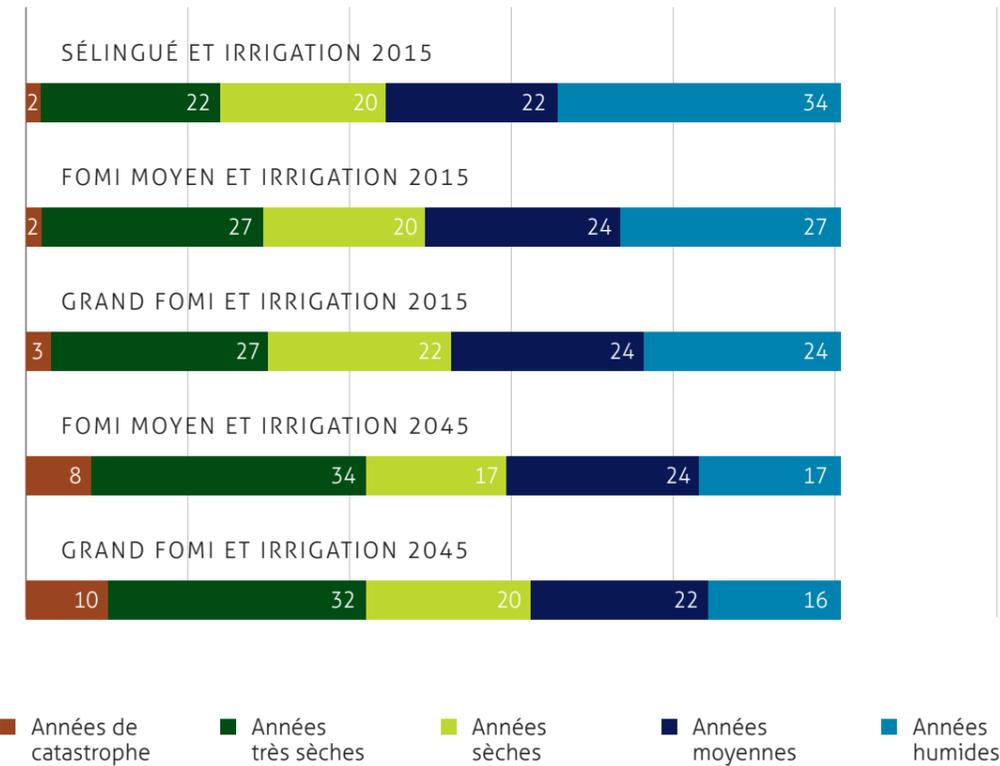
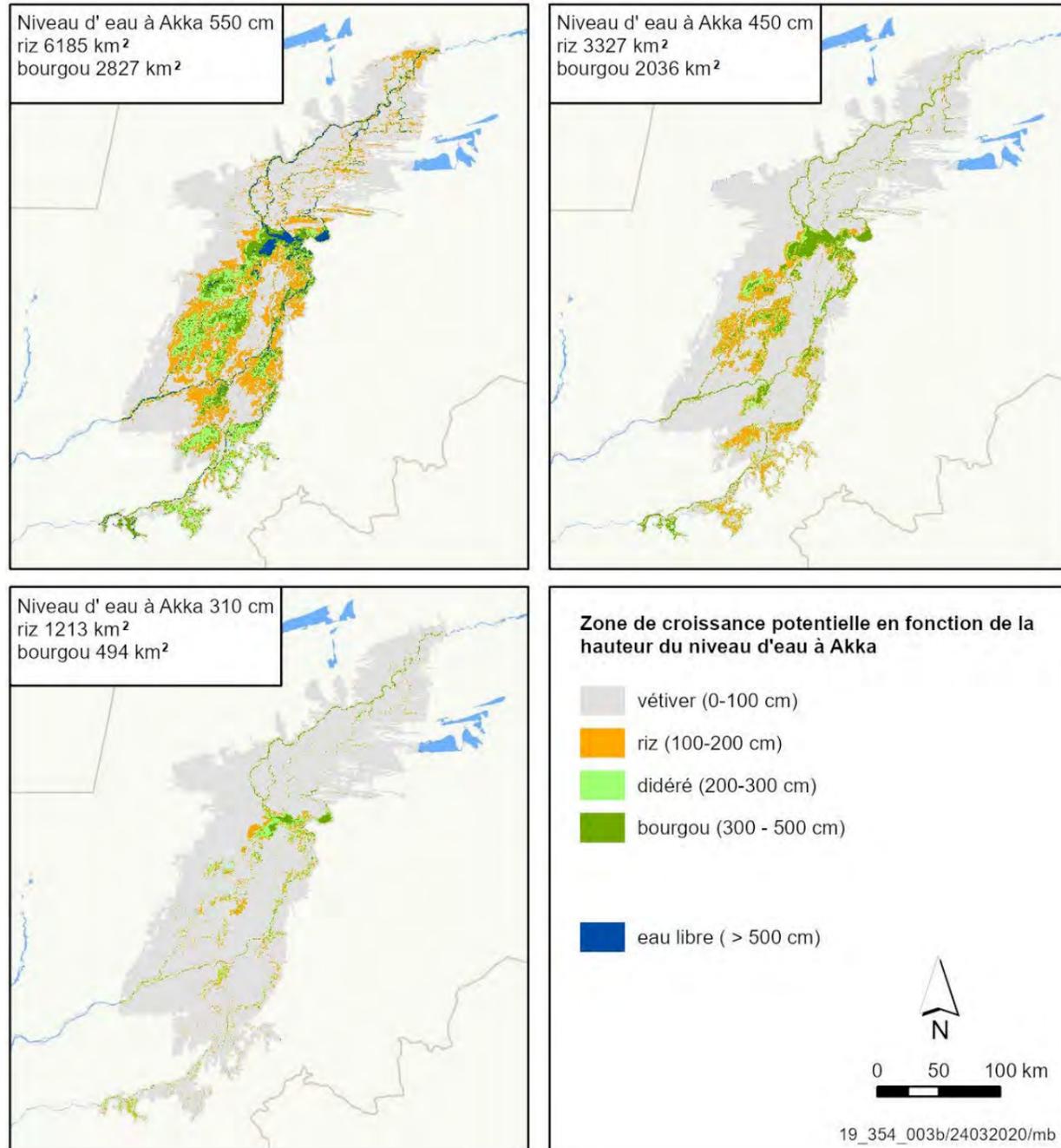


Figure 14. Fréquence des différents niveaux d'inondation classés en années de catastrophe (comme 1984), années très sèches, années sèches, années moyennes et années humides selon différents scénarios d'irrigation et de barrage

## Impacts sur le riz et le bourgou et autres graminées

Les changements du niveau d'inondation modifient l'abondance relative des graminées dans le delta. Plus l'inondation est élevée, plus le bourgou et l'herbe d'hippopotame sont abondants, tandis que le vétiver est un type de végétation dominant les années les plus sèches. Le bourgou pousse de manière optimale à des profondeurs d'eau

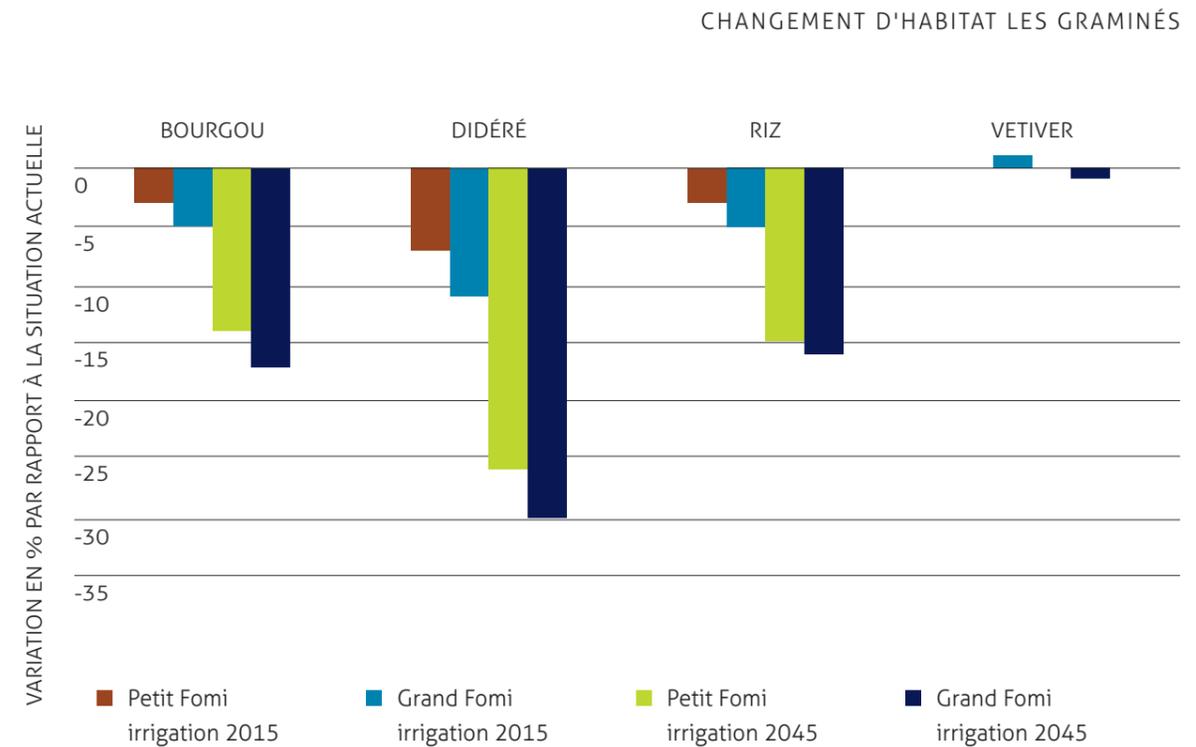
supérieures à trois mètres. Pendant les années humides, avec des niveaux d'eau maximaux à Akka à partir de 550 cm, l'habitat propice au bourgou est d'environ 2 827 km<sup>2</sup>. Pour les années sèches et les catastrophes (niveaux d'eau maximum de 450 cm et 350 cm), ces zones sont respectivement de 2 035 et 494 km<sup>2</sup> au maximum (Figure 15). Pour le riz des plaines inondables, les années humides fournissent également une zone d'habitat plus appropriée, avec 6 185 km<sup>2</sup> disponibles dans une année humide de 550 cm de profondeur d'eau maximum contre seulement 1 213 km<sup>2</sup> dans une année de catastrophe.



**Figure 15.** Zone inondée adaptée à diverses végétations à différents niveaux d'eau (550 cm - année humide, 450 cm - année sèche et 300 cm - année de catastrophe)

La fréquence des années humides, moyennes, sèches et des catastrophes évoluant selon différents scénarios de développement (Figure 14), la superficie propice au bourgou serait réduite de 4% en moyenne avec un petit barrage de Fomi (Figure 16). Cette réduction irait jusqu'à 17% dans le cas d'un grand barrage de Fomi combiné avec une irrigation prévue en 2045. Didéré serait la plus affectée par les changements de niveaux d'inondation, avec jusqu'à 31% de diminution de la superficie totale dans le cas d'un

grand barrage de Fomi à 2045 niveaux d'irrigation au cours d'une année moyenne. L'étendue de l'habitat du riz sera également considérablement réduite. Encore une fois, il s'agit de réductions moyennes de la qualité de l'habitat. Particulièrement pendant les années très sèches, l'effet de stockage, même d'un petit barrage de Fomi, peut faire basculer l'équilibre de l'écosystème et entraîner un effondrement de la production de bourgou et de riz et d'importants défis de subsistance dans le DIN.



**Figure 16.** Pourcentage de diminution du type de végétation dans le DIN selon différents scénarios de barrage et d'irrigation par rapport à la situation actuelle (barrage de Sélingué et irrigation au niveau de 2015) sur la période 1961-2000

Les éleveurs souffriront probablement d'une baisse de la production fourragère dans le DIN. De plus, l'extension prévue de l'ON (telle que définie dans PAHA IV) entraînera une exclusion directe des troupeaux de transhumance de certains pâturages actuels (voir l'encadré sur la transhumance). L'extension entraînera une perte directe de 3 300 km<sup>2</sup> de pâturages, dont 300 dans le DIN et 3 000 km<sup>2</sup> dans l'ON. Dans la pratique, cela signifiera plus de concurrence pour les pâturages restants.

## Impacts sur la pêche, la riziculture, l'élevage et la navigation

Dans un scénario avec un grand barrage de Fomi et une expansion complète de l'irrigation en 2045, la production moyenne de riz dans une période comme 1961-2000 devrait diminuer de 13%, les prises de poisson commercialisées à Mopti devraient diminuer de 24% et le bétail la population devrait diminuer de 8% à Mopti et de 12% à Tombouctou. Les populations ovine et caprine respectivement de 5% et 13%.

Service écosystémique	Sélingué + 2015 irrigation		Fomi moyen + 2015 irrigation		Grand Fomi + 2015 irrigation		Fomi moyen + 2045 irrigation		Grand Fomi + 2045 irrigation	
	Valeur	Changement (%)	Valeur	Changement (%)	Valeur	Changement (%)	Valeur	Changement (%)	Valeur	Changement (%)
Riz DIN (tonnes)	220 330	0%	214 720	-3%	210 962	-4%	195 215	-11%	191 255	-13%
Poisson commercialisé à Mopti (tonnes)	17 612	0%	16 800	-5%	16 256	-8%	14 021	-20%	13 445	-24%
Bovins Tombouctou (no.)	845 151	0%	825 109	-2%	811 777	-4%	755 482	-11%	741 476	-12%
Bovins Mopti (no.)	2 234 092	0%	2 200 344	-2%	2 177 895	-3%	2 083 101	-7%	2 059 517	-8%
Ovins & caprins Tombouctou (no.)	4 092 841	0%	3 987 182	-3%	3 916 899	-4%	3 620 116	-12%	3 546 278	-13%
Ovins et caprins Mopti (no.)	5 142 499	0%	5 088 086	-1%	5 051 890	-2%	4 899 050	-5%	4 861 024	-5%
Journées navigables Koulikoro-Mopti	111	0%	107	-4%	105	-5%	95	-14%	92	-17%
Jours navigables Mopti-Gao	78	0%	73	-6%	69	-12%	56	-28%	52	-33%

**Tableau 4.** Aperçu des principaux services écosystémiques du DIN tributaires des inondations et changements en pourcentage de la production par rapport à

La valeur économique combinée de la production enregistrée de riz et de bétail, de la pêche (Mopti uniquement) et du transport fluvial est estimée à environ 238 milliards de FCFA par an dans la situation actuelle, où seul Sélingué est opérationnel et l'irrigation correspond aux niveaux de 2015). Il s'agit de la valeur économique des services écosystémiques pour lesquels il existe suffisamment de données pour pouvoir être inclus dans l'analyse. La con-

struction du barrage de Fomi devrait entraîner une baisse de la valeur économique totale de ces services écosystémiques de 2 à 4%, soit une perte de 5,4 à 8,9 milliards de FCFA par an, selon les dimensions du barrage. Si le barrage est combiné avec une expansion de ON, la valeur globale devrait diminuer de 10 à 12%, soit 23,7 à 27,4 milliards de FCFA par an.

Service écosystémique	Sélingué + 2015 irrigation	Fomi moyen + 2015 irrigation	Grand Fomi + 2015 irrigation	Fomi moyen + 2045 irrigation	Grand Fomi + 2045 irrigation
Riz DIN	70,1	68,3	67,1	62,1	60,8
Poissons échangés à Mopti	20,6	19,7	19	16,4	15,7
Bovins Tombouctou	20,7	20,3	19,9	18,6	18,2
Bovins à Mopti	68,6	67,5	66,8	63,9	63,2
Ovins et caprins à Tombouctou	19,6	19,1	18,8	17,3	17
Ovins et caprins à Mopti	34,9	34,5	34,3	33,3	33
Transport fluvial (Koulikoro - Mopti)	2,1	2	2	1,8	1,8
Transport fluvial (Mopti-Gao)	1,6	1,4	1,4	1,1	1,1
<b>Total</b>	<b>238,2</b>	<b>232,8</b>	<b>229,3</b>	<b>214,5</b>	<b>210,8</b>
Variation en pourcentage par rapport au scénario actuel	0%	-2%	-4%	-10%	-12%

**Tableau 5.** Valeur économique des services écosystémiques sélectionnés dans l'IND par an (en milliards de FCFA) et changements moyens sous différentes configurations de barrages et scénarios d'irrigation

Il convient de souligner que les chiffres indiqués dans les tableaux ci-dessus ne couvrent qu'un sous-ensemble de services écosystémiques fournis par les plaines inondables du DIN, sur la base des données disponibles moyennées sur toute la période de simulation de 1961-2000. Le DIN

fournit de nombreux produits qui sont importants pour la subsistance des habitants, des matériaux de construction aux médecines traditionnelles, seul un ensemble limité de services écosystémiques a été quantifié dans cette étude.

## La transhumance à une époque qui change

Le pâturage du bétail et la production connexe de lait et de viande est l'un des piliers de l'économie rurale nationale au Mali. En nombre, le cheptel malien représente plus de 10 millions de bovins, 20 millions de caprins et près de 14 millions de moutons (FAOSTAT 2019). Une analyse des données jusqu'en 2001 a montré que, surtout pendant les années les plus sèches, 60% du bétail au Mali est concentré dans la région de Mopti et Tombouctou (données Cellule de Planification et de Statistique du Ministère du Développement, Mali - voir Swartz et al. 2005), soulignant l'importance de ces régions pour l'économie rurale nationale.

Depuis des temps immémoriaux, il existe au Sahel trois principaux systèmes d'élevage. Le sédentaire et le nomade pur (pâturages nordiques) ont peu d'importance par rapport au système semi-nomade, qui implique des mouvements de bétail à grande échelle, appelés Transhumance (Bremen et al. 1978). Pendant la saison sèche, de novembre à juillet, les troupeaux se nourrissent dans les pâturages pérennes du delta intérieur du Niger. D'abord les pâturages autour des villages sont exploités et quand l'inondation recule les pâturages communs au centre du delta. Les champs de Bourgou sont très importants pour surmonter la période sèche. Au début de la saison des pluies, le troupeau se déplace vers le nord pour exploiter les pâturages annuels riches en protéines des parcours nordiques à l'ouest, au nord et à l'est du delta.

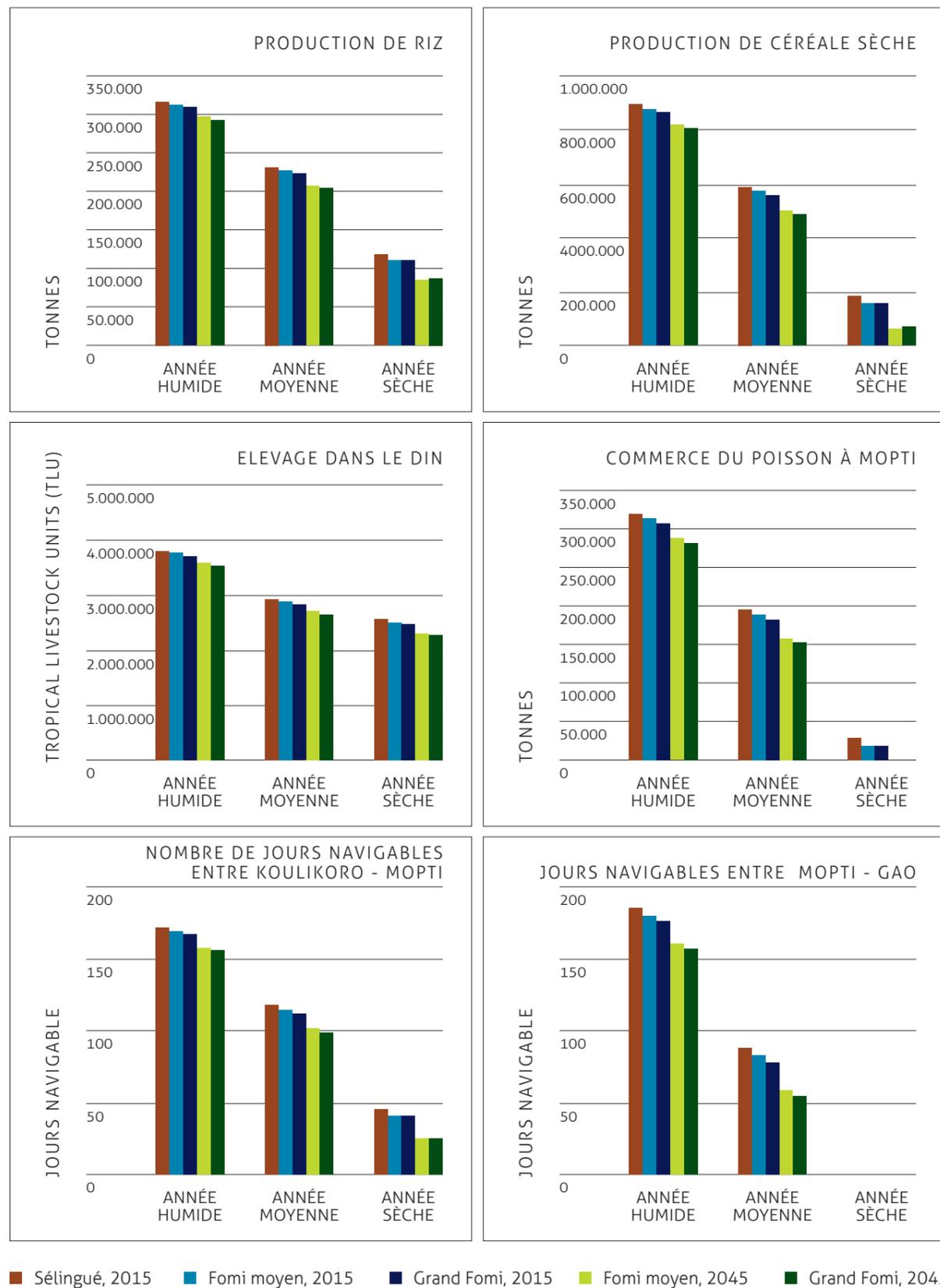
La transhumance est un moyen efficace de profiter des riches pâturages temporairement disponibles dans le nord; au cours de cette phase du cycle de pâturage, la reproduction

et la croissance du bétail sont réalisées (Bremen & de Wit 1983). Les parcours au nord et à l'ouest du delta sont essentiels au système de transhumance ([www.sigsahel.info](http://www.sigsahel.info)). Récemment, le processus et le système de la transhumance ont subi des changements importants en raison de l'insécurité et des conflits dans les parcours à l'est, à l'ouest et au nord du delta (Bagayoko et al. 2017), ce qui conduit à une surexploitation, en particulier à l'est et à l'ouest du delta (par exemple dans la région de Niono), entraînant même des mouvements de bétail vers le sud, par exemple les savanes au nord de la Côte d'Ivoire ([www.sigsahel.info](http://www.sigsahel.info)).

Les développements futurs sur le long terme (2045) impliquent une extension de 3 300 km<sup>2</sup> de l'Office du Niger, zones aujourd'hui exploitées comme pâturages. La transition de ces parcours en cultures irriguées entraînera une perte substantielle de pâturages. En outre, la pression exercée par les pâturages dans les zones voisines (qui sont déjà surexploitées) augmentera encore davantage, conduisant à la dégradation des sols et à des densités de bétail non durables. Cela signifie que la perte de pâturages a des conséquences bien au-delà du delta intérieur du Niger lui-même.

Cette perte ne peut pas être facilement atténuée ou compensée. La sédentarisation s'accompagne de plusieurs risques sociaux et écologiques, tels qu'une pression accrue sur les terres, un risque de conflit et un risque élevé de dégradation des sols. De plus, les systèmes sédentaires sont vulnérables aux fluctuations de la disponibilité de l'herbe, à la fois en quantité et en qualité (par exemple, suffisamment de niveaux de protéines nécessaires à la croissance (des animaux individuels) et à la reproduction). Des plantations supplémentaires de bourgou dans le delta intérieur du Niger pour fournir du fourrage sont difficilement réalisables, car les profondeurs d'eau à l'avenir dans le delta seraient inférieures au potentiel croissant de Bourgou.





**Figure 17.** Plusieurs services écosystémiques pour une année humide typique (1968), une année moyenne (1996) et une année sèche (1984) pour divers scénarios d'infrastructures hydrauliques

Figure 17 montre les services écosystémiques du DIN pour une année humide typique (1968), une année moyenne (1996) et une année sèche (1984, en fait une année de catastrophe) pour divers scénarios d'infrastructures hydrauliques. Plus de services écosystémiques sont produits dans le DIN pendant l'année humide que pendant les années sèches. Les services écosystémiques des années sèches peuvent représenter entre 60 et 0% de la production des années humides, même dans les circonstances actuelles. Dans l'ensemble, de nouvelles infrastructures comme un nouveau barrage réduisent la production de services écosystémiques dans le delta. Les réductions dues aux détournements supplémentaires des périmètres d'irrigation sont encore plus importantes. Les impacts des nouvelles infrastructures sur la prestation des services écosystémiques du DIN sont plus élevés pendant les années sèches comme 1984 puis pendant les années humides. La production céréalière particulièrement sèche, le poisson commercialisé à Mopti et les jours navigables deviennent très faibles pendant les années sèches. Lorsque vous essayez de répondre à la demande d'irrigation de 2045 en utilisant les rejets d'eau du barrage de Fomi.

## Impacts sur le contrôle des maladies

Il existe des problèmes importants dans l'approvisionnement en eau et l'assainissement, les pratiques et la sensibilisation dans le DIN. Environ 80% des maladies de la région sont liées à l'approvisionnement en eau potable et aux conditions d'assainissement. La gravité de la maladie est directement liée au régime et à l'étendue des inondations du DIN. Les problèmes de santé humaine sont particulièrement pires pendant les années de faible inondation lorsque la dilution est réduite et la circulation de l'eau dans le DIN est plus faible, ce qui entraîne une exposition accrue aux maladies diarrhéiques et à la schistosomiase (Wetlands International 2010). Le stockage et les détournements d'eau en amont réduiraient encore le rinçage régulier des plans d'eau. L'accès à l'eau potable peut également devenir plus difficile en cas d'inondation plus petite du delta, car les distances aux plans d'eau ouverts peuvent devenir plus grandes. On ne sait pas quels sont les effets d'un déclin

à long terme des inondations sur les ressources en eau souterraine du delta, dont les gens tirent de l'eau potable. Il est possible que des inondations plus petites entraînent une réduction de la régénération des eaux souterraines et donc une nappe phréatique plus profonde dans le delta.

## Impacts sur la biodiversité

Une réduction de la zone inondée du DIN a des implications pour la conservation d'une nature d'importance mondiale. Le rétrécissement des plaines inondables entraînera une grande perte d'habitats propices à la reproduction et à la recherche de nourriture. L'extension proposée de l'ON est en partie dans les plaines inondables du DIN, y compris dans deux forêts inondables à côté du Diaka dans le sud-ouest du DIN, la zone la plus naturelle et la plus calme près de la Plaine de Seri, un haut lieu de la biodiversité.

Des dizaines d'oiseaux migrateurs passent l'hiver septentrional dans la zone sahélienne, dont une grande partie est concentrée dans le DIN. Les habitats clés et les ressources alimentaires qu'ils contiennent, tels que les champs de bourgou et les forêts inondées, devraient diminuer d'un tiers, ce qui aurait un impact énorme sur les populations internationales d'oiseaux aquatiques et terrestres, notamment la disparition partielle des oiseaux aquatiques reproducteurs coloniaux dans le delta. De plus, dans les situations de faible sécurité alimentaire, il y a une pression accrue sur la biodiversité de la chasse sur la faune et les oiseaux

Des zones clés pour la biodiversité ont été identifiées (Wymenga et al. 2017a et 2017b) pour prioriser et stimuler une gestion efficace de la zone dans son ensemble. Ces informations pourraient être utilisées pour faire respecter la protection de sites ou d'espèces spécifiques dans le DIN, étant donné que le DIN à ce jour n'a pas été attribué en tant qu'aire protégée légale. La classification des sites vulnérables et des zones clés au sein du DIN est basée sur quatre critères principaux: (1) les habitats clés de l'écosystème de la plaine d'inondation, (2) les concentrations d'oiseaux d'eau, (3) les colonies de nidification et (4) les zones importantes pour les espèces menacées.

## Impact sur la migration comme stratégie de subsistance

La durabilité des moyens de subsistance des pêcheurs, des agriculteurs et des éleveurs du DIN dépend grandement de leur accès et de leur contrôle sur divers types d'actifs tels que l'eau, le poisson, le sol et le fourrage fournis par les zones humides à côté d'autres actifs tels que les technologies, l'information, et les ressources financières.

L'accès à ces actifs influence fortement la stratégie que les gens choisissent pour maintenir ou augmenter leurs moyens de subsistance. Fondamentalement, il existe 3 stratégies de subsistance : l'intensification, la diversification et la migration. Les moyens de subsistance ayant

plus d'accès au capital financier et moins de risques d'incertitude seront plus susceptibles d'investir, par exemple, pour intensifier leurs pratiques actuelles. La diversification représente le choix d'augmenter l'effort pour gagner un revenu provenant d'autres sources que la source de revenu principale. Par exemple, pour un pêcheur, cela pourrait signifier générer des revenus supplémentaires en utilisant son bateau également pour les services de transport. La migration saisonnière au sein d'une région à la recherche des meilleurs pâturages et lieux de pêche fait partie intégrante des éleveurs et pêcheurs du Sahel.

Soutenu par un modèle de probabilité, il est montré que pour chacune de ces trois activités de subsistance, la migration augmente pour chaque diminution du niveau d'eau dans le delta, et qu'une part considérable des agriculteurs et des pêcheurs abandonneraient leur occupation et migreraient en permanence vers une région différente, pays ou

continent. Dans une situation avec un niveau d'eau maximal à Akka supérieur à 500 cm (donc constamment une année humide), moins de 10% des agriculteurs interrogés ont déclaré que la migration est une stratégie probable pour maintenir leurs moyens de subsistance (Figure 18). Avec la baisse des niveaux d'eau, de plus en plus d'agriculteurs considèrent la migration comme une stratégie de subsistance durable viable, allant jusqu'à 20-40% en cas de niveaux d'eau maximaux de 350 cm (année très sèche). Les pasteurs sont moins influencés par le niveau de l'eau. Au niveau le plus bas de 350 cm, 16% des éleveurs se sont déclarés prêts à émigrer en permanence, tandis que plus de 40% des pêcheurs de Tenenkoun et de Ké-Macina ont déclaré que l'émigration permanente était la stratégie la plus viable dans ces conditions.

Étant donné que les fréquences des catastrophes, des années sèches à humides changent selon les différents scénarios de barrage et d'irrigation, on peut déterminer les changements de migration potentielle sur une période de référence comme 1961-2000. Dans une situation de flux naturel hypothétique, moins de 10% des agriculteurs et des pêcheurs autour de Mopti et moins de 5% des pasteurs considèrent la migration permanente hors du delta comme une stratégie de subsistance durable (Figure 19). Dans les scénarios qui se traduisent par une fréquence plus élevée d'années sèches, très sèches et même de catastrophe, les attitudes envers l'émigration permanente en tant que stratégie de subsistance durable préférée augmentent. Dans un scénario avec un grand barrage de Fomi et une irrigation ON à 2045 projections, 21% des agriculteurs, 24% des pêcheurs et 10% des pasteurs sont prêts à émigrer.

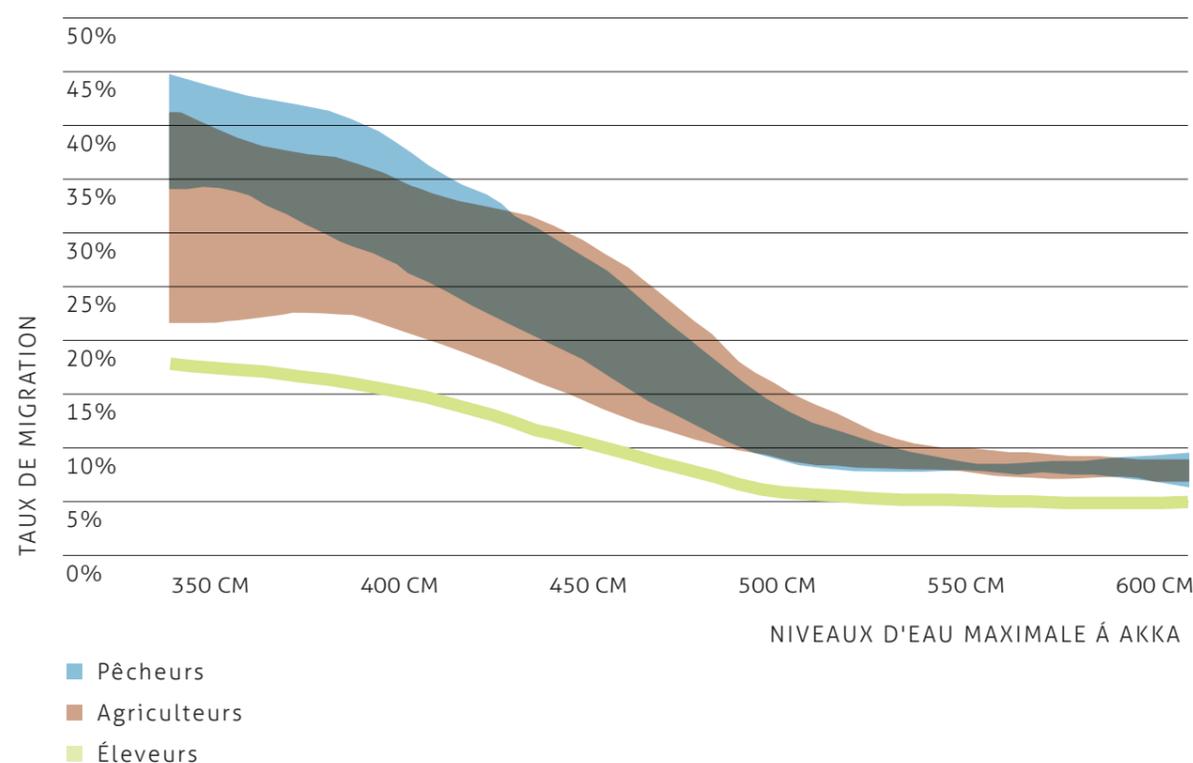


Figure 18. Pourcentage des pêcheurs, agriculteurs et éleveurs dans le DIN envisageant une migration sous différents niveaux d'eau par région

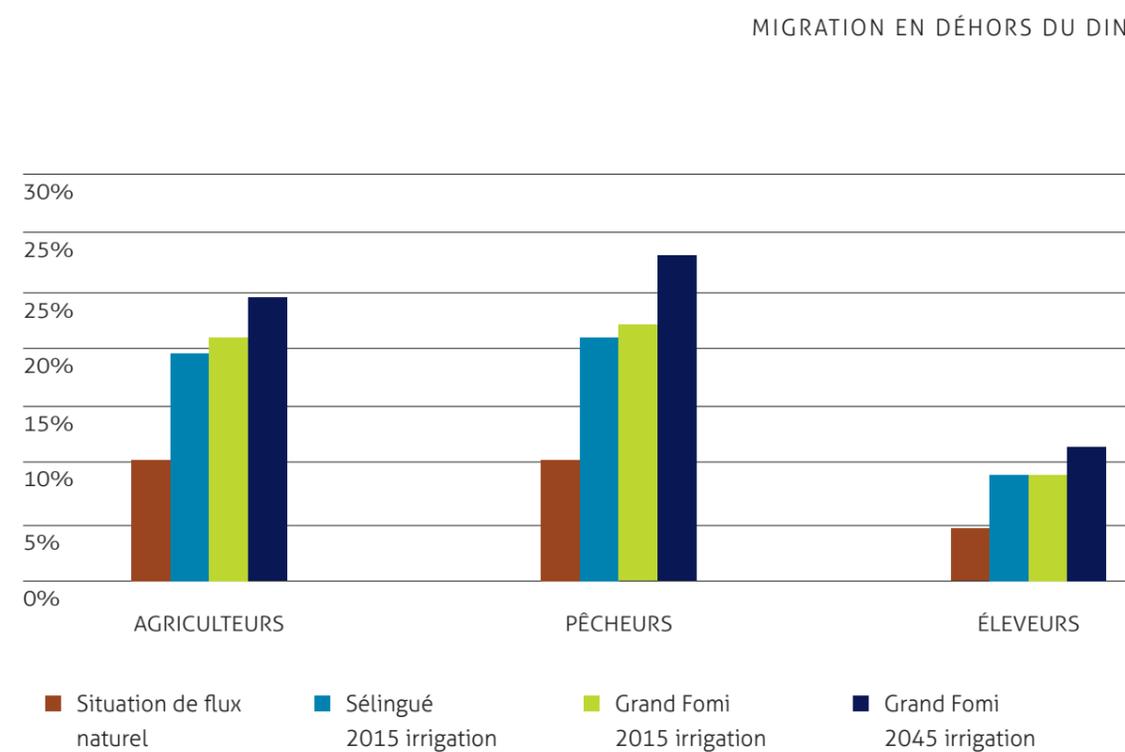


Figure 19. Pourcentage d'agriculteurs, de pêcheurs et d'éleveurs de la région de Mopti envisageant de migrer selon différents scénarios de barrage et d'irrigation au cours de la période de référence



# Conclusions et discussion

Ce rapport réitère l'importance du DIN pour le Mali. Environ 2 millions de personnes l'appelleraient leur habitat et auraient leurs moyens de subsistance basés sur une combinaison principalement d'agriculture, de pêche et de pastoralisme. Le delta assure la sécurité alimentaire de ces personnes et au-delà. Elle produit également 80% du poisson et des pâturages du Mali, 30% de sa production nationale de riz. Les avantages économiques s'étendent bien au-delà du delta et servent de moteur à l'économie rurale et à la sécurité alimentaire dans toute la région, fournissant 8% du PIB du Mali.

Cette valeur élevée est générée par l'utilisation des biens et des avantages que l'écosystème du delta offre aux populations et à la biodiversité. La mosaïque des habitats, la biodiversité de la végétation crée un paysage naturellement productif qui permet aux gens de cultiver la terre dans les plaines inondables, de faire paître leur bétail sur les vastes pâturages de bourgou et de pêcher dans les canaux fluviaux ou les plans d'eau formés après les inondations. Tout en utilisant également d'autres produits naturels pour la construction, l'énergie et les médecines traditionnelles. La valeur totale actuelle de ce type d'écosystèmes est estimée à environ 238,2 milliards de FCFA par an.

La particularité de ce delta intérieur est que son écosystème s'est adapté à un système d'eau très dynamique. Alimenté par les fleuves Niger et Bani qui reçoivent la majeure partie de leur ruissellement dans leurs eaux de tête d'une mousson ouest-africaine très variable, ce système d'entraînement par impulsion d'inondation s'est développé au cours de l'histoire avec des saisons humides et sèches prédominantes et des périodes d'années plus humides et plus sèches. L'écosystème et sa société humaine liée suivent le rythme de cette impulsion d'inondation avec généralement plus des services d'écosystèmes générés lorsque l'étendue et les niveaux d'inondation sont

élevés pendant la saison des pluies et les années plus humides.

En d'autres termes, l'écosystème et la population ont renforcé la résilience de leur système pour faire face à la variation de la pulsation des crues. Mais seulement dans certaines limites. Dans l'histoire récente, les années de sécheresse extrême comme en 1984, ont eu des précipitations si faibles qu'elles ont laissé un niveau d'inondation historiquement bas et une petite étendue d'inondation de 8 000 km<sup>2</sup>, seulement un tiers de son étendue maximale. Cela s'est traduit par un écosystème asséché incapable de fournir les services écosystémiques. La plupart des forêts inondées du delta, habitat des oiseaux nicheurs et nurseries pour les poissons, ont subi une surexploitation et certaines ont été détruites. De nombreux bovins sont morts et les éleveurs ont perdu plus de la moitié de leur bétail en raison de la réduction des ressources alimentaires et de la réduction de la zone inondée.

Comme mentionné, le delta intérieur du Niger est situé dans le bassin du Niger et fait partie d'un paysage plus vaste où l'eau, la sécurité alimentaire et la sécurité énergétique doivent être respectées. En réponse aux graves sécheresses des dernières décennies, la Guinée et le Mali ont entrepris plusieurs stratégies de sécurité alimentaire et énergétique. Ces objectifs gouvernementaux ont été poursuivis par la construction d'infrastructures hydrauliques pour tirer parti du potentiel hydroélectrique malien et guinéen et pour stocker et détourner l'eau vers les systèmes d'irrigation agricole afin d'améliorer la sécurité alimentaire. Actuellement, des plans concrets ont été élaborés pour construire un nouveau barrage hydroélectrique en Guinée (dans ce rapport dénommé Fomi) avec diverses options en fonction de la hauteur du barrage et de la taille des réservoirs (petit, moyen et grand). Il est également prévu d'étendre les périmètres irrigués à grande échelle

en Guinée et notamment à l'Office du Niger au Mali, juste en amont du delta. Jusqu'en 2045, ce schéma d'irrigation devrait être étendu avec environ 90 km<sup>2</sup> chaque année, ce qui entraînerait un total supplémentaire de 5400 km<sup>2</sup> de terres irriguées en 2045.

On suppose que l'expansion de l'ON entraînera certainement une augmentation de la production alimentaire. Avec un rendement annuel en riz d'environ 6 tonnes / hectare à l'ON, une quantité potentiellement importante de nourriture peut être produite. Cependant, il est également connu qu'avec l'efficacité d'irrigation actuelle de l'ON, les demandes d'irrigation ne peuvent souvent pas être satisfaites. Dans la situation actuelle avec un barrage de Sélingué qui libère l'eau stockée pendant la saison sèche qui est ensuite détournée vers l'ON en utilisant le barrage de Markala, une moyenne de 4% de la demande d'irrigation ne peut être satisfaite. Dans le cas où cette constellation aurait besoin de répondre à la demande d'irrigation en 2045, il y aurait un écart moyen de 23%. La construction d'un barrage de Fomi en Guinée permettrait de réduire ces écarts. Utilisée principalement comme barrage hydroélectrique, la majeure partie de l'eau serait rejetée pendant la saison sèche.

Un zoom sur des années plus extrêmes comme 1984, montre qu'un barrage de Fomi peut toujours laisser l'ON avec un risque de rendement des cultures considérable. En 1984, il y a eu un écart d'offre d'irrigation consécutif de trois mois d'environ 50%, entraînant une récolte importante et donc des pertes financières. Actuellement, un tel déficit d'approvisionnement en irrigation extrême se produirait environ 1 tous les 10 ans. Si le barrage de Sélingué devait couvrir la totalité de la demande d'irrigation en 2045, une telle situation extrême pourrait se produire 78 ans sur 100 ans. Avec un barrage supplémentaire, cela serait réduit, mais pas nul. Même si un grand barrage de Fomi devait encore fonctionner, environ 17 années sur 100 pourraient entraîner des pertes de récoltes élevées à l'ON, ce qui pourrait entraîner des situations d'insécurité alimentaire.

Alors que les nouvelles infrastructures hydrauliques contribueront à une plus grande sécurité en matière d'eau, de nourriture et d'énergie en général, elles peuvent avoir certains coûts pour certains groupes et zones. L'étude Niger une artère vitale de 2005 a déjà montré que ces stockages et détournements d'eau en amont ont des effets néfastes sur la prestation des services écosystémiques dans le delta. Comment le plan actuel du barrage de Fomi et les ambitions pour l'expansion de l'ON affecteront-ils cela?

Sur la base de simulations récentes de modèles hydrologiques, il devient évident que si le projet de barrage de Fomi est exploité et que l'irrigation ON est étendue comme prévu, la dynamique des inondations dans le delta voit un changement vers un plus grand nombre d'années plus sèches par rapport à la situation actuelle. Si le barrage de Fomi est construit, la fréquence des années très sèches devrait passer de 24% à 29%. L'expansion de l'irrigation aura un impact encore plus important. Si davantage d'eau est détournée pour l'irrigation à l'ON, la fréquence des années très sèches peut augmenter jusqu'à 42% - près d'une année sur deux. La probabilité d'années de catastrophe (comparable à 1984) augmentera également considérablement. Dans la situation actuelle, cela se produit une fois tous les 50 ans. Dans le scénario avec un barrage de Fomi opérationnel et une irrigation élargie à l'ON, la fréquence augmente d'un facteur cinq - à une fois tous les 10 ans.

Ces dynamiques d'inondation modifiées déterminent la quantité totale de services écosystémiques qui peuvent être fournis dans le delta. Les zones potentiellement propices à la croissance du bourgou, de l'herbe d'hippopotame et du riz sauvage diminueraient en moyenne de 17, 30 et 16% par rapport à la situation actuelle dans le cas où un grand barrage de Fomi serait exploité et la demande d'irrigation de 2045 satisfaite autant que possible. La pêche dans la région de Mopti diminuerait de 24%. La quantité de bovins, ovins et caprins qui pourraient être soutenus dans la région diminuerait entre 5 et 13%. Le nombre de jours navigables avec les ferries et les pinasses dans le delta (cruciaux par exemple pour l'accès aux marchés locaux, les prestataires de services médicaux, financiers et agricoles) réduirait en moyenne 17% entre Mopti et Koulikoro et même jusqu'à 33% entre Mopti et Gao.

La nouvelle infrastructure hydraulique est également supposée avoir des effets importants sur la biodiversité. Tout d'abord, un delta plus petit fournit moins d'habitat pour la flore et la faune. Deuxièmement, avec des moyens de subsistance offrant moins de sécurité alimentaire, les gens recourent davantage à la chasse de la faune sauvage, causant un stress énorme sur les populations locales d'oiseaux et de mammifères et sur des zones comme la forêt inondée pour la construction, les matériaux énergétiques et les médecines traditionnelles.

Si l'irrigation à l'ON devait rester au niveau de 2015, l'exploitation d'un grand barrage de Fomi devrait réduire la

valeur économique totale des principaux services écosystémiques du delta jusqu'à 3,7% au cours d'une année moyenne. Si par ailleurs, l'irrigation est maximisée comme prévu en 2045, une réduction moyenne pouvant aller jusqu'à 11,5% de la valeur de ces activités économiques est attendue (jusqu'à 24 milliards de FCFA de perte par an). En plus de la baisse moyenne de la productivité sur l'année, la possibilité d'une nouvelle période sèche, comme celle du début des années 80, combinée aux projets d'infrastructure prévus et à une population croissante, pourrait entraîner une catastrophe humanitaire chronique, entraînée par l'effondrement de la production du riz, la pêche et l'élevage, qui aggravent l'insécurité alimentaire, intensifient les conflits et entraînent une migration encore plus répandue. L'année 1984, l'année la plus sèche de la période de simulation, est souvent utilisée pour illustrer les forces destructrices des conditions de sécheresse, qui ont provoqué la mort massive du bétail et la famine. Dans le pire des cas, la combinaison d'un barrage de Fomi et d'une irrigation élargie et d'une année très sèche pourrait réduire les débits de pointe en dessous des niveaux jamais vus et assécher complètement le DIN, conduisant à un effondrement complet de l'écosystème et de la production alimentaire.

Pour les plus de deux millions de personnes vivant dans le DIN, cela signifierait une diminution des perspectives économiques et une insécurité alimentaire et hydrique accrue. Traditionnellement, les gens ont essayé de créer des moyens de subsistance durables en utilisant une combinaison d'intensification, de diversification et de migration. Alors que la migration saisonnière fait partie intégrante de certains groupes de pasteurs et de pêcheurs du DIN, la migration permanente hors du delta devient de plus en plus un mécanisme de survie alternatif. La recherche a montré que la migration permanente hors du DIN augmente à chaque baisse du niveau de l'eau. Sous le niveau d'inondation maximal prévu par la demande d'irrigation de 2045 à l'ON, entre 20% et plus de 40% des pêcheurs et des agriculteurs devraient migrer en raison de la réduction des poissons, du fourrage, et riz qui compromettrait le potentiel du DIN à soutenir les moyens de subsistances de nombreux habitants.

Les informations fournies dans ce livre ont été développées pour soutenir la prise de décision sur l'allocation des ressources en eau dans la partie supérieure du bassin du fleuve Niger, ce qui contribue à créer la sécurité de l'eau, de la nourriture et de l'énergie. De préférence, une telle alloca-

tion d'eau est optimale pareto, ce qui signifie que le développement de nouveaux services publics à partir de l'eau ne laisserait personne de moins dépendant de ces ressources en eau. Ici, il est démontré que la solution prévue pour plus de sécurité en matière d'eau, de nourriture et d'énergie en développant plus d'infrastructures fait en réalité empirer de nombreuses personnes, la biodiversité et les écosystèmes dans le delta.

Ces informations ont été générées avec des méthodologies robustes utilisant les données les plus récentes (voir annexe). Cependant, de nombreuses nouvelles questions ont surgi auxquelles il n'a pas encore été possible de répondre. Pour vraiment créer une prise de décision éclairée, ces questions et probablement d'autres devraient être traitées:

- Quelles sont les conséquences de la phase de remplissage d'un nouveau barrage de Fomi?
- Quel est l'effet du changement climatique sur la dynamique du fleuve dans le bassin du Niger et sur la faisabilité de produire de l'hydroélectricité et de l'irrigation?
- Existe-t-il des solutions alternatives possibles pour la Guinée et le Mali qui génèrent la même quantité d'eau, de nourriture et de sécurité énergétique, tout en étant moins dépendants du stockage et des détournements d'eau et qui ont des conséquences moindres dans le delta?
- Et si l'on incluait plus explicitement le facteur nutritionnel dans le débat sur la sécurité alimentaire au Mali? Une réduction des produits riches en protéines provenant du delta serait-elle acceptable?
- Quelle résilience y a-t-il dans le delta? Comment une année semblable à 1984 serait-elle absorbée par la population du DIN qui est devenue beaucoup plus importante depuis lors?
- Un investissement dans la gestion et la restauration des écosystèmes combiné à l'introduction de technologies axées sur la communauté et de chaînes de valeur ajoutée pourrait-il contribuer à améliorer la productivité alimentaire du delta?
- La recherche a montré qu'il existe une relation entre la hauteur et l'étendue de l'inondation du DIN et la volonté des gens de migrer hors du delta. Le DIN est aussi récemment connu pour une instabilité accrue. Y a-t-il une relation? Un Delta Intérieur plus sain, impulsé par les crues, aiderait-elle à rétablir la stabilité dans la région?



# Références

AECOM, 2017. Actualisation de l'étude d'impact environnemental et social du barrage à buts multiples de Fomi en Guinée, phase 1: « scoping » pour déterminer la configuration du barrage de Fomi. Commissionné par le ministère de l'Agriculture, Direction nationale du génie rural, rapport provisoire de la phase 1 novembre 2017. Technical report.

Aich, V., Liersch, S., Vetter, T., Huang, S., Tecklenburg, J., Hoffmann, P., Koch, H., Fournet, S., Krysanova, V., Müller, E.N., Hattermann, F.F., 2014. Comparing impacts of climate change on streamflow in four large African river basins. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 18, 1305–1321. <https://doi.org/10.5194/hess-18-1305-2014>.

Aich, V., Liersch, S., Vetter, T., Andersson, J.C.M., Müller, E.N., Hattermann, F.F., 2015. Climate or land use? - attribution of changes in River Flooding in the Sahel Zone. *Water* 7 (6), 2796–2820. URL: <https://doi.org/10.3390/w7062796>.

Aich, V., Liersch, S., Vetter, T., Fournet, S., Andersson, J.C., Calmanti, S., van Weert, F.H., Hattermann, F.F., Paton, E.N., 2016. Flood projections within the Niger River Basin under future land use and climate change. *Sci. Total Environ.* 562, 666–677. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.021>.

Bagayoko, N., Ba, B., Sangaré, B., and K. Sidibé, 2017. Masters of the land, Competing customary and legal systems for resource management in the conflicting environment of the Mopti region, Central Mali, *The Broker*, 21 June 2017, <https://www.thebrokeronline.eu/masters-of-the-land-d40/> [accessed on 8th of May 2020].

Barnabás, B., Jäger, K., Fehér, A., 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant*,

*Cell and Environment* 31: 11-38.

Breman et al. 1978. The Ecology of Annual Migrations of Cattle in the Sahel', *Proceedings of the First International Rangeland Conference*, Denver, pp. 392-395.

Breman, H. and C. de Wit, 1983. Rangeland Productivity and Exploitation in the Sahel, *Science*, Vol 221, 1341 - 1347  
BRLi and Betico, 2016. *Projet d'Accroissement de la Productivité Agricole au Mali, Étude du programme d'aménagement hydroagricole de la zone Office du Niger, Rapport provisoire de Phase 4, Ministère de l'Agriculture de la République du Mali, Bamako, Mali (2016)*

BRLi, 2007. Assessment of water abstraction and requirements for the Niger basin simulation model. Technical report, Ingénierie BRL: Niger Basin Authority Executive Secretary, Niamey, Niger.

Brondeau, F., 2018. The Office du Niger: an Agropole project for food security in Mali?, *Cybergeo: European Journal of Geography* [Online], Space, Society, Territory, document 870, Online since 08 November 2018, connection on 02 May 2019. URL: <http://journals.openedition.org/cybergeo/29606>; DOI: 10.4000/cybergeo.29606.

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*, v 106, pp 3349-3356.

Davids, L., M. Bekkema, M., Zwarts, L. and I. Grigoras, 2018. An improved spatial flooding model of the Inner Niger Delta, A&W-report 2529, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.

Food and Agricultural Organisation of the United Nations (FAO), FAOSTAT. Accessed 2019.

IPCC, 2007. IPCC Expert Meeting Report, Towards New Scenarios For Analysis Of Emissions, Climate Change, Impacts, And Response Strategies.

Klop, E., Sikkema, M., Diawara, M. and A. Gado 2019. Ecological hotspots and land use patterns in the Upper Niger Basin, Guinea. A&W-report 2501, Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.

Liersch, S., Cools, J., Kone, B., Koch, H., Diallo, M., Reinhardt, J., Fournet, S., Aich, V., Hattermann, F.F., 2013. Vulnerability of food production in the Inner Niger Delta to water resources management under climate variability and change. *Environ. Sci. Policy* 34, 18–33. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.10.014>.

Liersch, S., Fournet, S. and Koch, H., 2019, Assessment of Water Management and Climate Change Impacts on the Water Resources in the Upper Niger and Bani River basins, BAMGIRE programme final report, Potsdam Institute for Climate Impact Research, Germany / Wetlands International, Mali and the Netherlands.

Liersch, S., Fournet, S., Koch, H., Gado Djibo, A., Reinhardt, J., Kortlandt, J., Van Weert, F., Seidou, O., Klop, E., Baker, C. and F.F. Hattermann, 2019. Water resources planning in the Upper Niger River basin: Are there gaps between water demand and supply?, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, Vol 21, 176–194.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and

Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC.

Ministère du Développement Rural, CPS, 2015/2016. Résultats définitifs de la campagne agro pastorale situation alimentaire et nutritionnelle. (Final results of the agro-pastoral campaign – food and nutrition situation, 2015/2016).

Pearce, F., 2017. How Big Water Projects Helped Trigger Africa's Migrant Crisis. *YaleEnvironment360*.

NBA, 2007. Elaboration of an Action Plan for the Sustainable Development of the Niger Basin, Phase 2: Master plan for the development and management, Final Report.

van Oort, P.A.J. and Zwart, S.J. 2017. Impacts of climate change on rice production in Africa and causes of simulated yield changes. *Global Change Biology*, DOI: 10.1111/gcb.13967.

Schep, S.W., Palacios, E., Polaszek, T.R., Diallo, M., Zongo, B., Van Beukering, P.J.H. 2019. Ecosystem services in the Inner Niger Delta under different Water Resources Management Scenarios. *Wolfs Company*. Commissioned by Wetlands International.

Tieskens, K., van der Kroon, B., Schep, S., van Beukering, P., Mantegazza, N., Kumarasinghe, N. 2019. Impacts of Dam construction and Upstream Irrigation Systems on Rural Livelihood Strategies in the Inner Niger Delta (Mali) A Bayesian Network Approach. *IVM Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit Amsterdam & Wolfs Company, Amsterdam*. Commissioned by Wetlands International.

Thom, D. and Wells, J. (1987). *Farming Systems in the Niger*

Inland Delta, Mali. *Geographical Review*, 77(3), p.328.

United Nations, 2019. *World Population Prospects 2019*.

Tractebel, 2017. Fomi dam project on the upper Niger: Update of the feasibility study, detailed design (apd) - phase 1: Update of the feasibility study. update of the feasibility study; conceptual design report; design of Moussako scheme. Report Volume 4b, TRACTEBEL ENGINEERING S.A.

Vandersypen, K., Bengaly, K., Keita, A.C.T, Sidibe, S., Raes, D. and Jean-Yves Jamin, 2006. Irrigation performance at tertiary level in the rice schemes of the Office du Niger (Mali): Adequate water delivery through over-supply Agricultural water management, Vol 83, 144–152.

Wetlands International, 2017. *Water Shocks; Wetlands and Human Migration in the Sahel*. Wetlands International, The Netherlands) (Pearce, F. 2017).

Wetlands International. 2019. Policy Brief: Water, Peace & Security – Challenges for Central Mali. *Wetlands International, The Netherlands and Bamako, Mali*.

Wetlands International Mali. 2014. *Managing Mali's Wetlands Wealth for People and Nature*, Bamako.

Wymenga, E., Diawarra, M.L., Bijkerk, W., Hoekema, F. and J. van der Kamp. 2017. Ecological hotspots in the Upper Niger Basin and Inner Niger Delta. I. Methods and preliminary assessment. A&W-report 2253a. Altenburg & Wymenga ecological consultants, Feanwâlden. Commissioned by Wetlands International.

Wymenga, E., Diawarra, M.L., Bijkerk, W., Hoekema, F. and

J. van der Kamp, 2017. Ecological hotspots in the Upper Niger Basin and Inner Niger Delta. II Existing data and information. A&W-report 2253b. Altenburg & Wymenga ecological consultants, Feanwâlden. Commissioned by Wetlands International.

Zare, A., Barbier, B., Bologo-Traore, M., Diarra, A., Mahe, G. and J.E. Paturel, 2017. Climate Forecast Perception and Needs in Wetlands: a Case Study in the Inner Niger Delta in Mali, *Wetlands*, Official Scholarly Journal of the Society of Wetland Scientists, ISSN 0277-5212, Wetlands, DOI 10.1007/s13157-017-0926-0.

Zwarts, L., van Beukering, P., Kone, B., Wymenga, E. (Eds.), 2005. *The Niger, a Lifeline. Effective Water Management in the Upper Niger Basin*. RIZA, WI, IVM, Altenburg & Wymenga Ecologisch Onderzoek, The Netherlands.

Zwarts, L., Beukering, P., Koné, B., Wymenga, E. and Taylor, D. (2006). The Economic and Ecological Effects of Water Management Choices in the Upper Niger River: Development of Decision Support Methods. *International Journal of Water Resources Development*, [online] 22(1), pp.135-156. Available at: <https://doi.org/10.1080/07900620500405874> [Accessed 1 Oct. 2018].



© Johan Swanepoel / Shutterstock.com

# Annexe

## Méthodologie

Pour évaluer les impacts des propositions actuelles pour différents scénarios de développement d'infrastructures hydrauliques sur les services écosystémiques dans le delta, une suite d'outils a été développée pour le BNS et le DIN. Ces outils traduisent les impacts potentiels du stockage de l'eau dans les réservoirs de barrage et des détournements d'eau vers les périmètres d'irrigation, et les rejets de ces derniers, en changements dans les débits fluviaux tout au long de l'année. Avec ces informations, la dynamique des inondations et l'approvisionnement des écosystèmes - et les impacts sur les moyens de subsistance des personnes vivant dans le DIN - sont estimés.

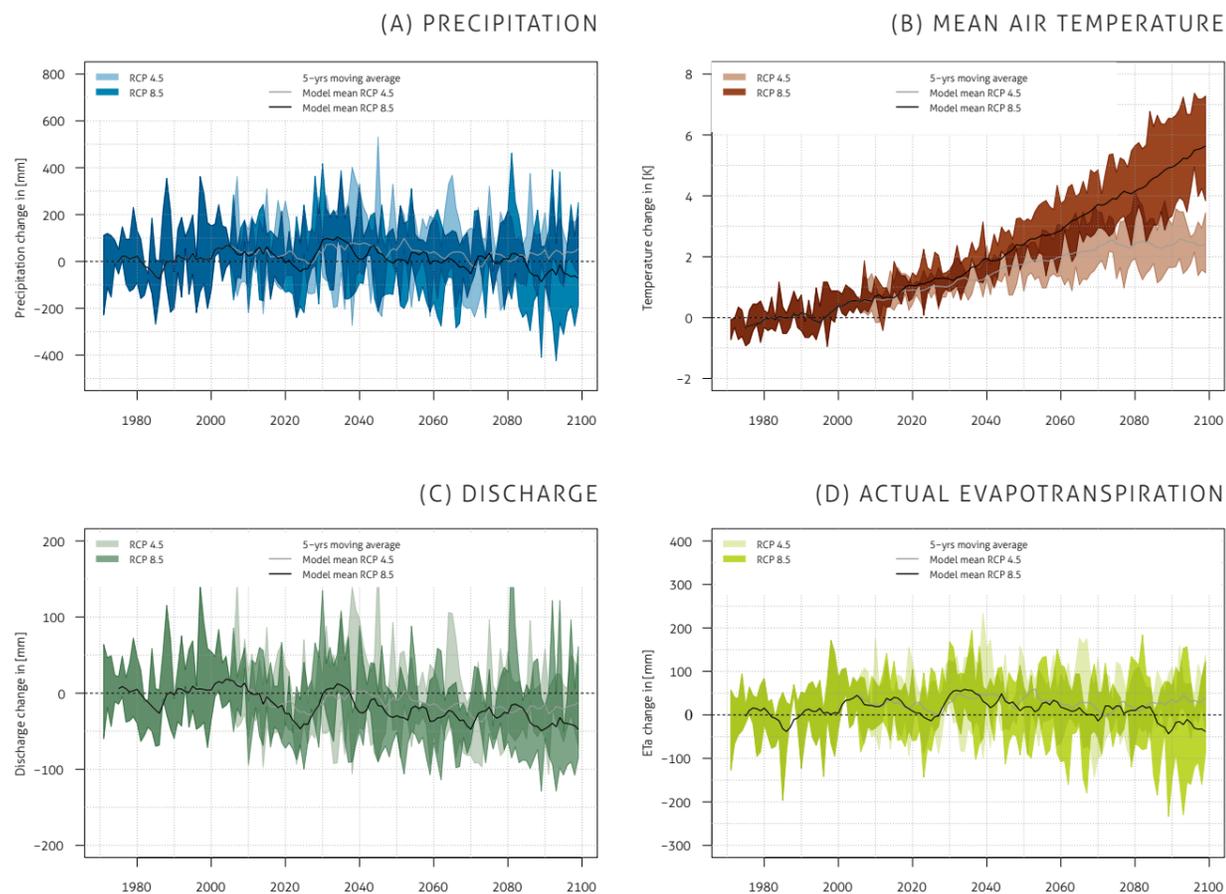
## Changement climatique

Le BNS et le DIN sont situés dans une zone de transition climatique qui comprend le climat de savane tropicale au sud-ouest, le climat semi-aride chaud au milieu et le climat désertique chaud à l'extrême nord du bassin versant. Les modèles climatiques mondiaux (CGM), qui sont utilisés pour prédire les effets du changement climatique sur la température et les précipitations, sont moins certains dans ce type de zones de transition. Par conséquent, les projections de précipitations pour le Sahel sont moins robustes que la prévision rétrospective du 20e siècle.

En ce qui concerne les futurs régimes pluviométriques, le scénario climatique (RCP) sélectionné et la période sont tous deux importants pour les prévisions futures de l'UNB. Une augmentation de la pluviométrie annuelle moyenne est généralement projetée dans le RCP4.5 à la fois dans un avenir proche (2030-2059) et dans un avenir lointain (2070-2099). Une diminution des précipitations annuelles est prévue dans les conditions du RCP8.5 dans un avenir lointain. La plupart des CGM prédisent également le même type de variabilité saisonnière et interannuelle des régimes pluviométriques que celle du 20e siècle.

Les modèles climatiques sont plus sûrs des changements de température. Tous les modèles climatiques s'accordent sur une tendance à l'augmentation de la température de l'air en Afrique de l'Ouest. Cela a un impact direct sur l'évapotranspiration de l'eau et le stress thermique, non seulement sur la végétation, mais aussi sur les personnes et les animaux. Au cours de la dernière année de la période de simulation (2099), par exemple, la plage d'augmentation de la température projetée dans le RCP8,5 se situe entre 3,9 et 7,2 °C. Pour RCP4.5, cela se situe entre 1,5 et 3,5 °C.

Dans l'ensemble, certaines études prévoient qu'une tendance au dessèchement au XXIe siècle devrait être sérieusement envisagée comme un scénario futur possible pour l'UNB, tandis que d'autres prédisent la possibilité d'une intensification brutale des précipitations sous l'effet du changement climatique futur.



**Figure 20.** Développement prévu des précipitations annuelles, de la température de l'air, des rejets et de l'évapotranspiration réelle pour le bassin supérieur du Niger. Les changements sont relatifs à la période 1971-2000

## Changement climatique versus référence historique

Bien que les changements dans les régimes pluviométriques et la température auront un impact sur la disponibilité future de l'eau, l'analyse de scénario décrite dans ce rapport ne comprend pas le changement climatique. Les changements prévus des précipitations annuelles résultant du changement climatique sont de l'ordre de la variabilité naturelle passée. Les études qui sous-tendent cette synthèse ont adopté une méthode qui superpose les différents scénarios de développement de l'eau aux conditions hydro-climatiques très variables observées dans le passé, sur la période 1961-2000. Cette période représente un large éventail de variabilité naturelle des précipitations

et se compose d'une période humide dans les années 1961 avec des anomalies pluviométriques supérieures à la moyenne du XXe siècle et d'une période extrêmement sèche dans les années 1980. En n'incluant pas l'augmentation prévue de la température d'environ 1,5 à 1,7 °C en 2035 par rapport à maintenant, la disponibilité de l'eau dans les scénarios de développement est sous-estimée d'environ 2%. Les impacts directs d'une augmentation de la température sur divers services écosystémiques, y compris les rendements des cultures (Barnabas et al. 2008, van Oorts & Zwarts 2017) et les moyens de subsistance ne sont pas évalués dans les études décrites.

## Définition des scénarios

Il existe deux principaux composants de scénario qui déterminent la disponibilité de l'eau dans le delta :

- La quantité d'eau pouvant être stockée, résultant du nombre, de l'emplacement et de la taille des barrages et des réservoirs : pas de barrages, barrages actuels et projet de barrage de Fomi proposé avec des dimensions petites, moyennes et grandes.
- La quantité d'eau détournée vers l'irrigation, déterminée par la taille, les cultures produites et l'efficacité de l'irrigation - pas d'irrigation, irrigation 2015 (actuelle), extension de l'irrigation proposée comme en 2025, 2035 et 2045.

Les demandes en eau d'irrigation sont estimées sur la base de la demande des cultures, corrigées par les coefficients d'efficacité de l'irrigation et multipliées par la superficie irriguée comme cela a été estimé pour le Plan d'action pour le développement durable du bassin du Niger par l'Autorité du Bassin du Niger (BRLi et Betico 2016; BRLi 2007a). Les prétendues améliorations de l'efficacité de l'utilisation de l'eau n'ont pas été prises en compte dans les scénarios. Vandersypen et al. (2006) ont constaté par exemple que l'efficacité d'utilisation de l'eau ne s'est pas améliorée entre 1995 et 2005. Les dimensions et l'emplacement des barrages sont dérivés de divers documents d'étude de faisabilité et d'évaluation d'impact environnemental (Tractebel 2017 ; AECOM 2017).

Par souci de simplicité et de comparabilité, un développement dynamique de la gestion des terres et de l'eau, tel qu'il a pu se produire en temps réel, n'est pas pris en compte dans les scénarios. Cela signifie qu'un composant de scénario est activé ou désactivé depuis le début de la période de simulation (1961-2000), détaché des événements en temps réel. Cette approche permet d'examiner l'impact des composants d'un scénario unique sur la disponibilité de l'eau dans la zone d'étude pendant les années sèches, normales et humides. En pratique, cela signifie que le barrage de Sélingué, bien qu'il ne soit pas opérationnel avant 1982, est continuellement opérationnel dans les simulations de 1961, dans tous les scénarios sauf dans le scénario d'écoulement naturel. Dans cette analyse, le seuil de débit minimal de 50 m<sup>3</sup> / s au barrage de Markala n'est pas utilisé car il n'est généralement pas respecté.

Les résultats des scénarios sont comparés en utilisant des valeurs moyennes des caractéristiques du scénario sur toute la période historique, ou différenciées pour les années de catastrophe, très sèches, sèches, moyennes et humides ou différenciées pour la saison humide (débit élevé) ou la saison sèche (débit faible) d'une année.

## Calcul du débit de la rivière et de la dynamique des crues

Pour calculer les impacts de différents scénarios de développement de l'eau sur les débits fluviaux, le modèle éco-hydrologique SWIM, un modèle de bassin versant semi-distribué et basé sur les processus, a été utilisé. SWIM a été sélectionné pour cette étude en partie parce qu'il contient des fonctionnalités sophistiquées pour prendre en compte diverses opérations de réservoir. SWIM a été appliqué au bassin supérieur et à l'ensemble du bassin du fleuve Niger dans plusieurs études (Aich et al. 2016; Aich et al. 2015; Aich et al. 2014; Liersch et al. 2013; Liersch et al. 2012, Koch et al. 2013). SWIM a été calibré et validé pour les débits observés fournis par le Global Runoff Data Center (GRDC) à 10 jauges sélectionnées à l'UNB. Comme la recharge et l'épuisement des eaux souterraines n'ont pas pu être incorporés dans le modèle SWIM, le modèle ne peut pas tenir compte de la « mémoire hydrologique » du système.

Pour les faibles crues, la différence entre les niveaux d'eau simulés et les niveaux d'eau observés à Akka (en fonction de la situation actuelle) peut être de l'ordre de +20 cm ou plus. Cela correspond à une surface d'inondation trop optimiste de 2 000 km<sup>2</sup> ou plus (dans cette plage, 10 cm correspondent à 1 000 km<sup>2</sup> en moyenne). Pour les fortes crues, l'inverse est vrai et la différence entre les niveaux d'eau simulés et les niveaux d'eau observés à Akka est de -40 à -60 cm. Cela correspond à une superficie d'inondation trop pessimiste de 4 000 à 6 000 km<sup>2</sup> ou plus. Pour les années humides, et donc les inondations élevées, les résultats du modèle sont toujours du bon côté. Cependant, pendant les années sèches, avec de faibles inondations, nous devons souligner que les résultats du modèle peuvent avoir un écart de l'ordre de 20%, donc la surface d'inondation peut être de 20% inférieure à celle prévue. D'autres modèles ont des problèmes comparables et ne peuvent pas rendre compte de la mémoire hydrologique, car pour le delta intérieur du Niger, aucune donnée sur les eaux souterraines n'est disponible. Cela ne tient pas compte du modèle d'inondation utilisé (Davids et al. 2019; Zwarts et al. 2005), car il est basé sur un large ensemble d'images satellites et les niveaux d'eau observés. Le modèle d'inondation n'est cependant pas équipé pour les calculs du scénario.

Pour corriger le biais mentionné, la variation relative de la disponibilité en eau entre les scénarios modélisés est calculée en pourcentages. Cette différence est ensuite projetée sur les séries chronologiques historiques observées pour le niveau d'eau maximal à Akka, donnant ainsi une

représentation plus précise de la disponibilité de l'eau dans le delta pendant les années sèches et humides. Les résultats de l'étalonnage sont suffisamment raisonnables pour les 10 jauges pour répondre aux questions traitées dans cette étude.

Les relevés à long terme des débits fluviaux et des niveaux d'eau permettent de développer des relations hydrauliques statistiquement significatives entre les niveaux d'eau à diverses positions dans le bassin, et les débits fluviaux et les niveaux d'eau dans le fleuve Niger. Cela constitue la base de l'outil de prévision des crues OPIDIN ([www.opidin.org](http://www.opidin.org)). OPIDIN combine les informations de 56 images satellites

qui distinguent les parties inondées et non inondées du DIN à différents niveaux d'eau observés. Il fournit un indicateur indirect des profondeurs et de la durée des inondations et indique si l'inondation est causée par le ruissellement local ou le débordement des principaux canaux fluviaux.

## Sondage de foyer

Pour comprendre l'état (perçu) de divers services écosystémiques dans le delta et comment les moyens de subsistance sont affectés par cet état, une enquête approfondie

sur les ménages a été réalisée. Cette enquête a été menée dans environ 95 communautés à travers le delta en 2018. Environ 1 000 personnes de divers groupes de moyens de subsistance, ethnies, âge et sexe ont été interrogées avec un questionnaire préstructuré. La majorité de la population locale échantillonnée a des moyens de subsistance diversifiés, largement tributaires du pastoralisme, de l'agriculture ou de la pêche, ou de leurs combinaisons pour leur subsistance et leurs revenus. Chacun de ces trois moyens de subsistance dépend fortement des services écosystémiques du DIN provenant de l'impulsion annuelle des inondations.

le résultat de l'analyse de scénario. Malheureusement, les statistiques démographiques ne sont pas disponibles pour les dernières années. Le dernier recensement a eu lieu en 2009. De plus, les informations sont insuffisantes pour émettre des hypothèses sur la capacité de charge des écosystèmes du delta par rapport aux pressions accrues résultant de la croissance démographique. Par conséquent, les informations du recensement de 2009 sont utilisées tout au long de l'analyse de scénario et le modèle ne tient pas compte de la croissance démographique dans le DIN. Pour d'autres services écosystémiques comme la santé publique et les services culturels, une approche plus qualitative a été utilisée. Ces services ne sont pas liés à la disponibilité de l'eau dans l'analyse de scénario.

## Calcul des changements dans la fourniture des services écosystémiques

Les services écosystémiques dans le DIN ont été identifiés et classés en importance lors d'ateliers avec les parties prenantes à Bamako.

Pour calculer les impacts du développement des infrastructures en amont sur la fourniture de services écosystémiques dans le DIN, il est nécessaire d'établir des relations entre ces services et les caractéristiques hydrologiques et d'inondation du delta. Le modèle d'inondation informe la valeur de certains services écosystémiques à différents niveaux d'inondation. Pour diverses herbes telles que le bourgou et le riz sauvage, la production et la croissance optimale peuvent être déterminées par l'étendue des inondations et la profondeur de l'eau. La faisabilité de la navigation avec différents types de bateaux nécessitant une profondeur d'eau minimale peut également être calculée.

Pour d'autres services écosystémiques, il est possible de créer des fonctions dites dose-réponse expliquant la relation statistique entre les caractéristiques hydrologiques et d'inondation du delta au cours d'une certaine année, et la disponibilité observée d'un certain service écosystémique et cette année-là. Bien que les données ne soient pas complètes, de telles fonctions dose-réponse sont possibles pour certaines marchandises certaines années, dans certaines parties du delta, car diverses institutions gouvernementales au Mali enregistrent les quantités de poisson, de bovins, caprins et d'ovins commercialisées.

Étant donné que certaines des fonctions dose-réponse utilisent la taille de la population comme variable explicative, différents paramètres de la population auront un effet sur

## Calcul de la valeur économique des services écosystémiques

La technique d'évaluation du prix du marché est appliquée aux trois principaux types de services écosystémiques d'approvisionnement calculés (poisson, riz et bétail). L'application de techniques d'évaluation économique n'était pas possible avec les services écosystémiques restants en raison de la nature du service ou du manque de données suffisantes. Dans ces cas, une évaluation qualitative a été réalisée pour mieux comprendre l'importance du service pour les personnes vivant dans le delta.

Pour l'évaluation économique des services écosystémiques dans le delta, le niveau de prix 2015 a été appliqué, car c'est l'année la plus récente au cours de laquelle tous les prix sont disponibles. Les valeurs futures n'ont pas été corrigées pour l'inflation, ce qui implique que toutes les valeurs déclarées correspondent aux niveaux de prix de 2015. Cependant, l'agrégation des valeurs économiques pour toute la période de l'analyse ne serait pas valide. Par conséquent, seules les valeurs annuelles des services écosystémiques sont fournies et comparées entre les différents scénarios. Ces valeurs annuelles sont basées sur la disponibilité moyenne en eau dans chaque scénario, quelle que soit l'année.

Les fonctions dose-réponse pour la production agricole ne sont définies que pour le riz cultivé dans le delta, car la production de céréales sèches s'explique principalement par l'évolution des précipitations locales. La production est estimée pour les zones qui dépendent de l'irrigation par

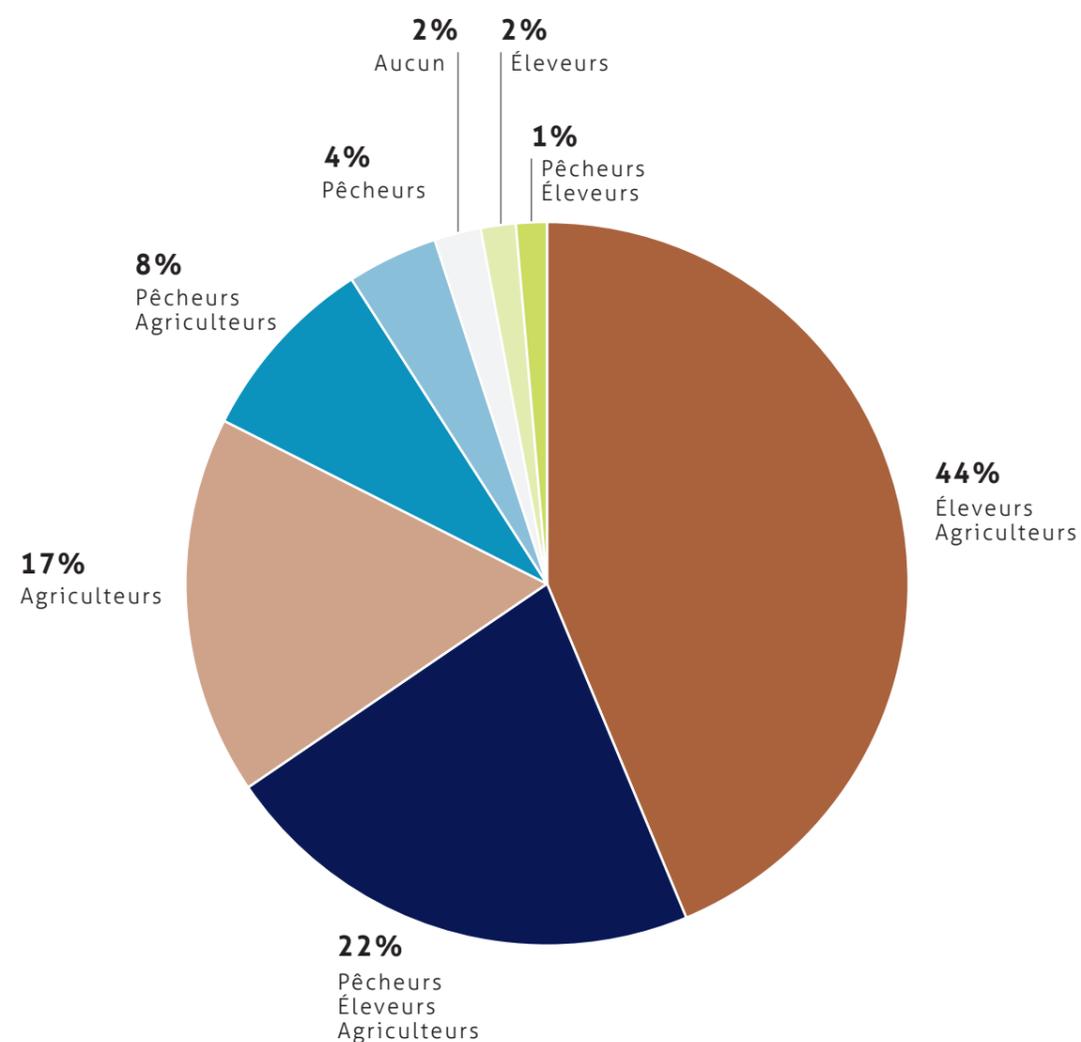


Figure 21. Distribution des moyens de subsistance dans le DIN

récession ou par irrigation semi-contrôlée. Des fonctions pourraient être définies pour les régions de Ségou et Mopti. La production à Tombouctou n'est pas intégrée dans le modèle.

## Calcul des changements dans les stratégies de subsistance

To capture the impact of flood pulse alterations on livelihood strategies in the delta, a Bayesian Network Model was constructed that explores the effects of these changes on local ecosystem services, and how the livelihoods of the farmers, pastoralists and fishers are affected. The model is based on a series of expert interviews, extensive literature reviews and a survey with more than 1,000 inhabitants of the IND identifying the degree of access that households (i.e. farmers, fishers and pastoralists) have to the five types of capital (i.e. human, physical, natural, financial and social), estimating their annual household production, and identifying their attitude towards different livelihood strategies. The main outcomes provide an insight into how many people would be unable to continue their current livelihood strategy and consider permanent migration a solution.

## Limites

Bien que l'analyse de scénario donne un aperçu perspicace du changement des valeurs des services écosystémiques dans les différents scénarios d'allocation de l'eau, il y a certaines limites à considérer. Tout d'abord, nous devons souligner que la modélisation des niveaux d'eau à Akka a une limitation significative pour les inondations inférieures et supérieures, comme expliqué ci-dessus. Cela signifie que les services écosystémiques projetés basés sur les niveaux d'eau maximum d'Akka ont les mêmes biais. Deuxièmement, il est important de souligner que l'ensemble des services écosystémiques évalués n'est pas une liste exhaustive et que, par conséquent, les valeurs déclarées sous-estiment la valeur économique totale des écosystèmes dans l'IND. Bien qu'un ensemble plus large de services écosystémiques ait été discuté, seuls ceux ayant des liens étroits avec la dynamique des inondations dans le delta et pour lesquels des fonctions dose-réponse pouvaient être dérivées ont été inclus. Les services culturels, la réglementation des maladies d'origine hydrique et les services d'approvisionnement au

niveau des ménages ont été évalués qualitativement mais n'ont pas été inclus dans l'analyse de scénario. Les services écosystémiques liés à la conservation de la biodiversité et des biens communs mondiaux, par exemple les pools de gènes, ne sont pas pris en compte.

Pour les pêcheries, la fonction dose-réponse pour les pêcheries de subsistance et les poissons commercialisés en dehors de Mopti n'a pas pu être définie. Cette définition étroite signifie que toutes les prises de poisson consommées directement ou commercialisées ailleurs dans le delta ne sont pas prises en compte.

La zone d'étude ne couvre pas toute la gamme de la production économique du DIN. En raison de la difficulté de collecter des données primaires et secondaires dans la région de Tombouctou, la zone n'a pas pu être intégrée dans l'analyse de tous les services écosystémiques produits dans cette région, bien qu'elle couvre une partie pertinente du delta. De plus, les services écosystémiques dans le reste du bassin supérieur du Niger n'ont pas été pris en compte, malgré le fait que le régime de l'eau sera affecté par la construction du projet de barrage de Fomi. Les résultats présentés sous-estiment donc les effets en aval des barrages et des scénarios d'irrigation.

Les services écosystémiques sont inclus dans le modèle d'évaluation économique à l'aide de fonctions de régression linéaire. Cependant, la fourniture de ces services n'est pas susceptible d'avoir souvent une relation linéaire avec la disponibilité de l'eau dans le delta. Au lieu de cela, il est plus probable qu'il y ait des points de basculement où les écosystèmes et les services fournis s'effondrent. Les fonctions dose-réponse utilisées dans cette étude ne sont donc efficaces que pour prédire des changements relativement faibles dans les niveaux d'approvisionnement.

Enfin, l'évaluation économique ne doit pas être interprétée comme une évaluation concluante des projets d'infrastructure prévus. Les valeurs présentées ne représentent que les effets en aval dans le DIN. Afin de mener une analyse coûts-avantages concluante sur l'opportunité du barrage, les investissements, les coûts d'exploitation et les avantages des projets d'infrastructure doivent également être pris en compte, ainsi que les externalités ailleurs dans le delta. Ces résultats doivent principalement être considérés comme un effort pour créer un aperçu des impacts des décisions de gestion de l'eau sur les services écosystémiques et les moyens de subsistance des populations du DIN.





**Wetlands**  
INTERNATIONAL

[www.wetlands.org](http://www.wetlands.org)