

L'ÉTUDE DES IMPACTS SUR LA BIODIVERSITÉ : INTÉGRATION DE LA BIODIVERSITÉ
DANS L'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DES BARRAGES SUR LES FLEUVES
TRANSFRONTALIERS D'AFRIQUE DE L'OUEST

par
Isabelle Ceillier

Essai de double diplôme présenté au Département de biologie et au Centre universitaire de formation
en environnement et développement durable en vue de l'obtention des grades de maître en écologie
internationale et de maître en environnement

Sous la direction de Madame Caroline Cloutier
et de Monsieur Jean-Pierre Pelletier

MAÎTRISE EN BIOLOGIE

Cheminement de type cours en écologie internationale

MAÎTRISE EN ENVIRONNEMENT

Cheminement de type cours en gestion de l'environnement

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Juillet 2015

SOMMAIRE

Mots-clés : Barrages, fleuves transfrontaliers, Afrique de l'Ouest, évaluation des impacts, conservation de la biodiversité, espèces en péril, sites Ramsar, atténuation, suivi.

Dans la zone soudano-sahélienne, les changements climatiques ont pour résultats une baisse des précipitations et une augmentation de l'évapotranspiration qui engendrent un déficit hydrique important. Or l'explosion démographique et la sédentarisation entraîneront une augmentation importante de la consommation d'eau pour l'alimentation et l'agriculture, ainsi que de la consommation d'énergie. Les barrages pluri-fonctions sont tout indiqués pour répondre à ces besoins grandissant. Or, les impacts des barrages sur la biodiversité tiennent autant à leur mode d'exploitation qu'à leur présence même sur le fleuve. Ils ont des impacts néfastes en entraînant des modifications majeures dans le régime hydrologique des fleuves, en créant une discontinuité dans l'environnement et en constituant une barrière qui affecte les déplacements.

Il est cependant possible de planifier ces gros ouvrages de sorte qu'ils aient des impacts réduits sur la biodiversité. L'étude d'impact environnemental est un outil de planification reconnu pour la prise en charge des impacts de tels projets sur leur environnement immédiat. L'objectif de cet essai est d'analyser la prise en charge des impacts sur la biodiversité des projets de barrage pour proposer une méthode d'évaluation des impacts environnementaux qui en permette une prise en charge adéquate et ce, dans contexte transfrontalier des grands fleuves d'Afrique de l'Ouest.

Le cadre général des ÉIE du bassin du Sénégal sert ici de modèle à l'élaboration d'une telle proposition : l'étude des impacts sur la biodiversité. Pour cela, il est suggéré d'adopter une approche écosystémique qui tienne compte des impacts du projet sur l'ensemble du bassin versant, mais aussi de l'interaction des impacts du projet avec ceux d'autres barrages présents dans le bassin versant. L'identification des impacts cumulés est donc au cœur de l'étude des impacts sur la biodiversité. Une attention particulière doit être apportée à l'identification et l'atténuation des impacts sur les espèces en péril inscrites sur la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature. Enfin, l'étude des impacts sur la biodiversité met l'accent sur l'importance des plans de surveillance environnementale qui permettent de détecter l'avènement d'effets néfastes, grâce à des indices environnementaux et en suivant la réponse d'espèces indicatrices aux changements provoqués par les barrages.

L'approche de l'étude des impacts sur la biodiversité est théoriquement solide et permet de considérer les communautés animales et végétales comme des éléments d'un système dynamique. Cependant, cette approche ne considère pas les aspects sociaux des évaluations environnementales, de même que la capacité et la volonté des promoteurs à se plier aux exigences préconisées. Elle peut cependant être combinée à une étude sociale pour peindre le portrait complet des impacts d'un projet de barrage.

REMERCIEMENTS

Je voudrais commencer par remercier sincèrement mes directeurs d'essai, Caroline Cloutier et Jean-Pierre Pelletier. Votre soutien durant cette longue année de rédaction, votre patience face à mes changements constants d'échéance, votre assiduité à corriger les chapitres que je vous envoyais, et votre confiance en moi et mon travail, malgré la qualité parfois médiocre des ébauches, ont été pour moi la lumière qui me guidait vers le bout du tunnel. Votre expertise et vos connaissances ont été parfaitement complémentaires, et m'ont inspirée à donner le meilleur de moi-même, malgré des circonstances personnelles difficiles.

Ensuite, j'envoie toute ma reconnaissance à mon père, Jean-François Ceillier. C'est un érudit qui m'a communiqué sa passion du savoir, son amour des livres et de la connaissance, et qui m'a inculqué la fierté du travail bien fait. Et par dessus tout, merci de m'avoir aidée à corriger mes fautes ! Mes nuits blanches produisaient une orthographe de piètre qualité que ton œil acéré a su détecter.

Enfin, sans les nommer pour n'oublier personne, j'aimerais remercier chaudement mes amis, colocataires, membres de la famille, collègues à Environnement Canada (certains appartenant à plusieurs de ces catégories) qui m'ont supportée durant cette année stressante, encouragée, poussée à continuer, écoutée, et parfois même nourrie, et ce malgré mes états d'âme. Vous vous reconnaîtrez dans cette description, je vous dois la satisfaction du travail terminé, et la santé psychologique qui s'ensuit.

Merci encore.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 - LES FLEUVES TRANSFRONTALIERS D'AFRIQUE DE L'OUEST – NIGER ET SÉNÉGAL.....	4
1.1 Contexte régional.....	4
1.1.1 Une variété climatique	4
1.1.2 Grands fleuves d'Afrique de l'Ouest	5
1.1.3 Démographie	6
1.1.4 L'Afrique de l'Ouest face aux changements climatiques	9
1.2 Écosystèmes fluviaux transfrontaliers et leur biodiversité	9
1.2.1 Caractéristiques générales des fleuves	9
1.2.2 Une biodiversité essentielle.....	10
1.2.3 Une biodiversité menacée	11
1.3 Bassins versants, milieux Ramsar et espèces d'intérêt international.....	13
1.4 Le bassin du Niger.....	14
1.4.1 Description du bassin	14
1.4.2 Biodiversité et milieux Ramsar	15
1.4.3 Exploitation de la biodiversité et facteurs de dégradation des écosystèmes	17
1.5 Le bassin du Sénégal.....	17
1.5.1 Description du bassin	18
1.5.2 Milieux Ramsar et biodiversité	19
1.5.3 Exploitation de la biodiversité et facteurs de dégradation des écosystèmes	19
CHAPITRE 2 - IMPACTS DES BARRAGES SUR LES FLEUVES D'AFRIQUE DE L'OUEST : LE CAS DU NIGER ET DU SÉNÉGAL	21
2.1 Généralités sur les barrages	21
2.1.1 Types de barrages.....	21
2.1.2 Caractérisation des grands barrages	22
2.1.3 Projets de grand barrage.....	23
2.1.4 Modes d'exploitation des barrages.....	23
2.2 Effets des barrages sur l'environnement et impacts potentiels.....	24
2.2.1 Modification à l'habitat.....	25
2.2.2 Invasion par des espèces	27
2.2.3 Fragmentation et isolement	28
2.2.4 Mort des individus.....	29
2.2.5 Pollution de l'eau	29
2.2.6 Effets indirects.....	29
2.3 Barrages en Afrique de l'Ouest : les cas du Niger et du Sénégal	29
2.3.1 Barrages existants sur le Niger et le Sénégal	30
2.3.2 Impacts des barrages sur les bassins du Niger et du Sénégal.....	31

2.3.3	Projets de barrages	32
2.3.4	Mesures d'atténuation actuelles	33
2.4	Suivi des impacts et indicateurs de biodiversité	35
CHAPITRE 3 - CADRE LÉGISLATIF, ADMINISTRATIF ET INSTITUTIONNEL POUR LES ÉVALUATIONS ENVIRONNEMENTALES ET LA PROTECTION DE LA BIODIVERSITÉ EN AFRIQUE DE L'OUEST – LE CAS DU FLEUVE SÉNÉGAL		38
3.1	Le fleuve Sénégal et sa gestion	38
3.1.1	Présentation de l'OMVS	38
3.1.2	Rôles de l'OMVS dans la gestion de l'eau	39
3.2	Caractérisation des évaluations environnementales	39
3.3	Comparaison des processus d'ÉIE dans le bassin du Sénégal	40
3.3.1	Cadre législatif et institutionnel au Mali	41
3.3.2	Cadre législatif et institutionnel au Sénégal	41
3.3.3	Cadre législatif et institutionnel en Mauritanie	42
3.3.4	Cadre législatif et institutionnel en Guinée	43
3.3.5	Cadre administratif de la Banque Mondiale	44
3.3.6	Synthèse et comparaison des processus	45
3.4	Engagements internationaux et cadre législatif pour la conservation de la biodiversité dans le bassin du Sénégal	48
3.4.1	Convention sur la diversité biologique	48
3.4.2	Convention de Ramsar	49
3.4.3	Convention de Bonn	49
3.4.4	Cadre législatif pour la conservation de la biodiversité dans le bassin du Sénégal	50
3.5	Analyse de la prise en charge de la biodiversité dans les ÉIE dans le bassin du Sénégal	51
CHAPITRE 4 - APPROCHE D'ÉVALUATION DES IMPACTS SUR LA BIODIVERSITÉ DES BARRAGES SUR LES FLEUVES TRANSFRONTALIERS D'AFRIQUE DE L'OUEST		53
4.1	Des conventions internationales pour la biodiversité et la gestion des impacts	53
4.1.1	Conservation de la biodiversité et des milieux naturels	53
4.1.2	Gestion des impacts transfrontaliers	54
4.2	Structure du rapport d'ÉIE	55
4.3	Étape 1 – description du site	56
4.4	Étape 2 – identification des impacts potentiels et des paramètres de l'analyse	58
4.4.1	Description du projet – sources d'impacts pendant la phase d'exploitation du barrage 58	
4.4.2	Cascades d'effets et impacts potentiels des barrages	59
4.5	Étape 3 – stratégie d'atténuation	61
4.5.1	Directive générale	61
4.5.2	Hierarchie d'atténuation des impacts	62
4.6	Étape 4 – analyse des impacts négatifs résiduels	65

4.7	Étape 5 – programmes de surveillance environnementale.....	70
4.7.1	Suivi des effets environnementaux	70
4.7.2	Suivi des impacts sur la biodiversité	70
4.7.3	Espèces indicatrices versus espèces en péril	71
4.7.4	Résultats des études.....	72
	CONCLUSION	74
	LISTE DES RÉFÉRENCES.....	78

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

Figure 1.1 – Répartition des climats soudano-sahéliens et du Golfe de Guinée dans la région de l’Afrique de l’Ouest.	4
Figure 1.2 – Battements saisonniers de la zone de convergence inter-tropicale	5
Figure 1.3 – Bassins versants transfrontaliers d’Afrique de l’Ouest	6
Figure 1.4 – Évolution de la population en Afrique de l’Ouest.....	7
Figure 1.5 – Répartition de la population en Afrique de l’Ouest.	7
Figure 1.6 – Densités de population en Afrique occidentale.....	8
Figure 1.7 – Fleuve Niger et subdivisions de son bassin.....	15
Figure 1.8 – Bassin versant du fleuve Sénégal.....	18
Figure 4.1 – Étapes de réalisation d’une étude d’impacts sur la biodiversité des grands barrages sur les fleuves transfrontaliers d’Afrique de l’Ouest	56
Tableau 2.1 – Effets de la phase d’exploitation d’un gros barrage, source d’impact à la biodiversité.....	25
Tableau 3.1 – Comparaison des processus d’ÉE et de la prise en charge des impacts sur la biodiversité dans le bassin du fleuve Sénégal.....	47
Tableau 4.1 – Description des critères de détermination de l’importance	66
Tableau 4.2 – Grille de détermination de l’importance d’un impact d’un barrage sur la biodiversité.....	68

LISTE DES ACRONYMES, SYMBOLES ET SIGLES

ABN	Autorité du bassin du Niger
ACÉE	Agence canadienne d'évaluation environnementale
BAD	Banque africaine de développement
BM	Banque Mondiale
CDB	Convention sur la diversité biologique
CEDEAO	Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest
CFBR	Comité français des barrages et réservoirs
CIGB	Commission internationale des grands barrages
CILSS	Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CMB	Commission mondiale des barrages
CMS	Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CSAO	Club de Sahel et de l'Afrique de l'Ouest
ÉE	Évaluation environnementale
ÉIB	Étude d'impacts sur la biodiversité
ÉIE	Étude de l'impact environnemental
EP	Espèces en peril
HCNVD	High Commission for Niger Valley Development
MATCL	Ministère de l'Aménagement du Territoire et des Collectivités Locales
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Économiques
OMD	Objectif du Millénaire pour le Développement
OMVS	Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal
ONG	Organisation non gouvernementale
ONU	Organisation des Nations Unies
PACO	Programme d'Afrique centrale et occidentale
RCI	Indice de connectivité fluviale (<i>River Connectivity Index</i>)
RI	Indice combiné d'impact fluvial (<i>combined river impact index</i>)
SCDB	Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique
SCDB	Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique
TEEB	The Economics of Ecosystems and Biodiversity
UICN	Union internationale sur la conservation de la nature

INTRODUCTION

D'abord conçus pour répondre aux besoins des communautés humaines, le design et le mode d'exploitation des barrages relèguent les considérations environnementales au dernier rang des préoccupations (McCartney, 2009), bien que l'ampleur des impacts des barrages sur les écosystèmes et la biodiversité ait été démontrée. Or, la biodiversité offre une panoplie de biens et services aux populations humaines, que ce soit l'approvisionnement en nourriture et en matériaux de construction, la régulation du climat, ou l'attrait des touristes; le développement et la conservation de la biodiversité sont indissociables. Par conséquent, la construction de barrages, censée être une stratégie en vue de développement humain, peut freiner ce développement en provoquant la dégradation des sources de subsistance des populations. En outre, un rapport datant de l'année 2000 de la Commission mondiale des barrages a montré qu'un nombre significatif de barrages présentaient des résultats désastreux (CMB, 2000). Entre autres, ces projets d'infrastructure hydraulique n'atteignaient ni leurs objectifs sociaux, ni économiques, et causaient des dommages sévères à la qualité de l'eau et à la biodiversité (CMB, 2000). En résumé, ces conséquences résultaient d'une mauvaise planification du projet, et d'une méconnaissance des effets potentiels des barrages sur leur environnement (Pacini et autres, 2013; CMB, 2000). Les évaluations environnementales répondent à ce besoin de prévoir les impacts qu'aurait un projet sur son environnement, afin de le préparer de sorte que ces impacts soient atténués.

L'Afrique de l'Ouest connaît depuis les années 1990 une explosion démographique non négligeable, qui se traduit dans une course au développement inégalée auparavant. Elle résulte en une intensification de l'agriculture et de l'élevage pour répondre à des besoins alimentaires plus importants, mais aussi en une demande en énergie supérieure à ce que les infrastructures peuvent fournir. Les barrages, en l'occurrence, sont un outil de développement permettant de répondre à ces besoins grandissants (CIGB, s.d.a.). Plus précisément, les gros barrages pluri-fonctions permettent de produire et fournir de l'hydroélectricité, d'en synchroniser la production avec les périodes de grande consommation, de faciliter l'extraction d'eau pour l'agriculture irriguée, et l'approvisionnement en eau potable des populations riveraines.

Or, les États d'Afrique occidentale sont fortement interdépendants en matière d'eau, les bassins transfrontaliers étant partagés entre plusieurs espaces politiques. Leurs écosystèmes aquatiques continentaux abritent par ailleurs une importante proportion de la biodiversité ouest-africaine, et même mondiale (UICN, 2004). Or, il est estimé que les infrastructures hydrauliques pour le développement ont fragmenté jusqu'à 60 % des fleuves et rivières du monde (McCartney, 2009), et les fleuves d'Afrique de l'Ouest ne dérogent pas à la règle (UICN, 2004).

Le régime pluviométrique de la région et les températures généralement chaudes renforcent la dépendance des populations humaines envers les écosystèmes d'eau douce continentaux pour l'approvisionnement en eau potable, mais aussi pour l'agriculture et l'élevage. Or, ces milieux

dépérissent, à cause de la surexploitation et des changements climatiques. La situation est particulièrement préoccupante en Afrique de l'Ouest qui, par sa géographie et sa proximité au désert du Sahara, est particulièrement vulnérable et touchée par la désertification et les changements climatiques; cette problématique est parfaitement bien illustrée par la situation dans les bassins transfrontaliers des fleuves Niger et Sénégal.

Le présent essai vise à analyser la prise en charge des impacts sur la biodiversité des projets de développement de barrage sur les fleuves transfrontaliers d'Afrique de l'Ouest, afin de proposer une approche adéquate d'évaluation environnementale. Des pistes de solution pour l'atténuation de ces impacts seront aussi fournies.

Il existe beaucoup d'études sur les écosystèmes d'eau douce et leur biodiversité, leurs menaces, principalement à cause de l'importance de l'enjeu. Les études publiées dans les revues scientifiques révisées par les pairs constituent les principales sources d'information pour cet essai, par exemple *Biological Conservation*, *Environmental Conservation*, *Freshwater Ecology*, *BioScience*, etc. Il existe cependant un peu moins d'information spécifique à l'Afrique de l'Ouest qui soit accessible, mais ces lacunes peuvent parfois être comblées en extrapolant des conclusions tirées d'études menées dans d'autres zones subtropicales avec des climats semi-désertiques. On retrouve également beaucoup d'information dans les ressources publiées des conventions internationales pour la conservation de la biodiversité et de la nature en général (Convention sur la diversité biologique, convention sur les espèces migratrices, convention de Ramsar) et le site de la Banque Mondiale (BM). Enfin, les organismes de mise en valeur et de gestion des fleuves transfrontaliers fournissent aussi de l'information spécifique au bassin versant à l'étude (Organisation de mise en valeur du fleuve Sénégal, Autorité du bassin du Niger).

L'essai est divisé en quatre chapitres. Le premier chapitre a pour but de rappeler la dépendance des populations envers les grands fleuves et leur biodiversité. On veut par là apporter des arguments forts en faveur de la conservation de la biodiversité, ou du moins d'une considération particulière pour sa gestion. Pour cela, il est essentiel de décrire le contexte géographique général dans lequel s'insère l'analyse, plus précisément, les conditions climatologiques et démographiques actuelles en Afrique occidentale. La description des bassins versants à l'étude, et la compréhension du fonctionnement des écosystèmes permettent ensuite de pousser l'analyse des services qu'ils prodiguent aux populations, et d'en tirer un tableau des menaces qui l'affectent.

Le second chapitre permet de mieux cadrer l'analyse, et de connaître les impacts des barrages sur la biodiversité. On veut ainsi établir les paramètres de l'analyse des impacts sur la biodiversité. Connaître les impacts qu'un barrage a eus sur la biodiversité d'un fleuve demanderait l'instauration de programmes de suivi efficaces et appliqués. Or, ces programmes ne sont pas toujours développés, et lorsqu'ils le sont, ne sont pas forcément appliqués. C'est pourquoi ce chapitre décrit les impacts

hypothétiques que les barrages peuvent avoir sur l'écosystème des fleuves et leur biodiversité, et s'appuie sur des exemples, lorsque possible, localisés et spécifiques au fleuve à l'étude. De plus, parfois, lors de la planification d'un projet de barrage, les promoteurs prévoient l'implantation de mesures d'atténuation pour éviter certains impacts potentiels, ce qui pourrait expliquer leur absence. Cependant, il est essentiel de tous les considérer, afin de pouvoir prendre des mesures nécessaires pour les éviter.

Le troisième chapitre porte sur les évaluations environnementales et la gestion du fleuve Sénégal. Il présente et compare les exigences réglementaires des pays du bassin du Sénégal en terme d'évaluation des impacts, mais aussi celles du principal bailleur de fonds des projets de développement en Afrique : la Banque Mondiale. Il énonce les obligations pour la protection de la biodiversité, tant au niveau législatif national qu'au niveau des conventions internationales signées par les États, puis analyse la capacité des études d'impacts à évaluer adéquatement les impacts des projets de barrages sur la biodiversité, en tenant compte du contexte transfrontalier.

Finalement, le quatrième et dernier chapitre intègre l'information présentée dans les trois précédents, afin de proposer une approche par étape d'étude d'impacts sur la biodiversité des projets de barrages sur fleuves transfrontaliers d'Afrique de l'Ouest. Cette approche se veut une version adaptée de l'évaluation des impacts sur l'environnement, de manière à tenir compte de la biodiversité, qui peut être un excellent indicateur de la santé de l'écosystème. Une meilleure prévision des impacts pouvant permettre une meilleure prise en charge, des exemples de mesures d'atténuation des impacts sont aussi proposées.

CHAPITRE 1 - LES FLEUVES TRANSFRONTALIERS D'AFRIQUE DE L'OUEST – NIGER ET SÉNÉGAL

L'Afrique de l'Ouest, fascinante de par son histoire, la diversité de ses peuples, son éventail de cultures et de paysages, recèle aussi une grande variété d'écosystèmes différents et une riche biodiversité. Les bassins versants transfrontaliers en sont un excellent exemple, et leur importance pour les populations humaines justifie qu'on s'y attarde. Afin de bien connaître un écosystème, il faut en connaître le contexte régional, en comprendre le fonctionnement, et en décrire la biologie. Il est alors possible de monter un portrait de ce qui le menace, et des potentielles sources de dégradation.

1.1 Contexte régional

Le terme « Afrique de l'Ouest » fait référence aux états membres de la Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) et de la République Islamique de Mauritanie; elle comporte donc 16 pays (ONU, 2013). Ces pays font partie du groupe des pays les moins développés, le pays le plus développé étant la Mauritanie, et se trouvant au 147^{ème} rang mondial (Burton et Egli, 2002). L'Afrique de l'Ouest se caractérise par ailleurs par ses climats et par la disponibilité en eau douce qui en influence la démographie.

1.1.1 Une variété climatique

Constituée des pays du Golfe de Guinée et des pays dits Soudano-Sahéliens (Figure 1.1), l'Afrique de l'Ouest est divisée en plusieurs zones éco-géographiques caractérisées selon leur régime pluviométrique. On distingue notamment les climats arides et semi-arides typiques des pays soudano-sahéliens, recevant entre 150 mm et 600 mm de pluie par année, et les climats sub-humides et humides plus caractéristiques des pays du Golfe de Guinée, recevant des précipitations annuelles de l'ordre de 900 mm (UICN, 2004).

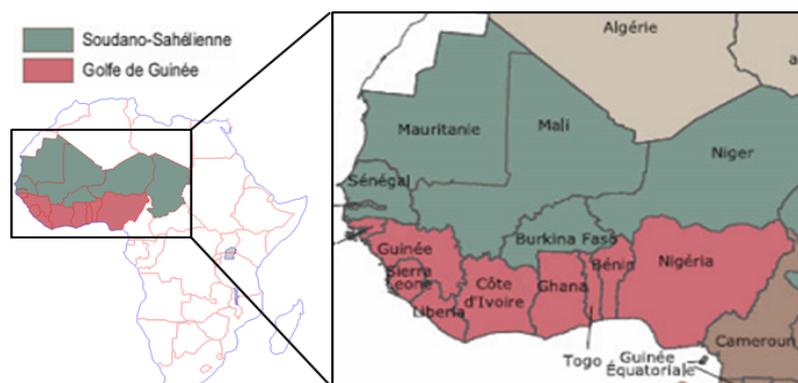


Figure 1.1 – Répartition des climats soudano-sahéliens et du Golfe de Guinée dans la région de l'Afrique de l'Ouest.

Source : Bohbot, 2008

Ce sont les mouvements de la zone de convergence inter-tropicale qui régissent les précipitations en Afrique de l’Ouest, notamment par le développement de la mousson ouest-africaine qui se produit d’avril à septembre (CNRS, n/a), et effectue un battement entre la zone guinéenne et la zone soudano-sahélienne (Figure 1.2).

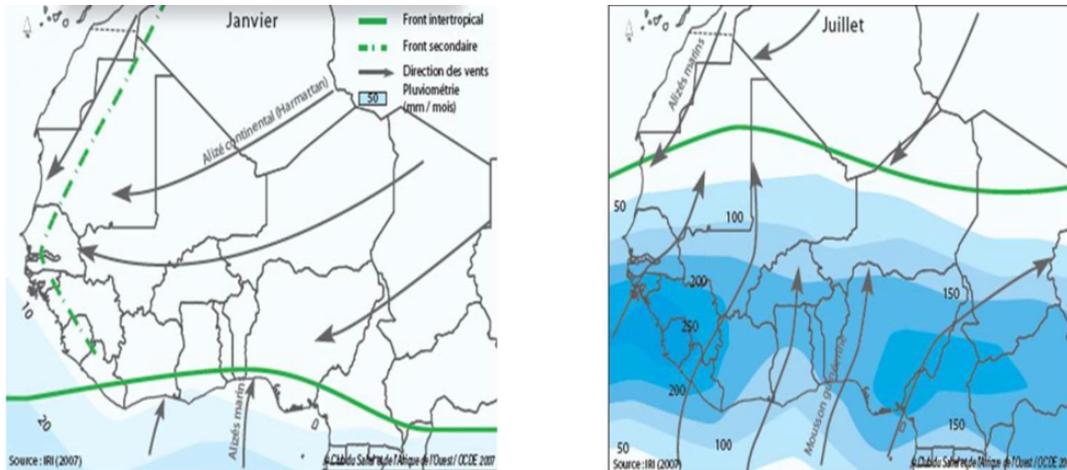


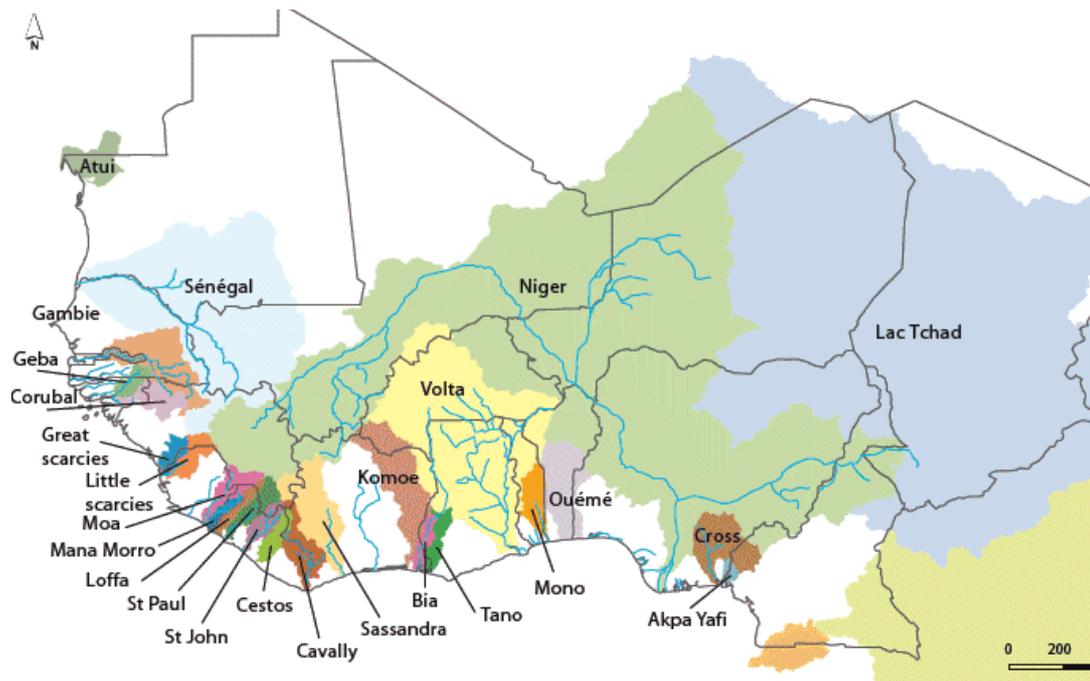
Figure 1.2 – Battements saisonniers de la zone de convergence inter-tropicale
Source : CILSS, 2012.

Les pays sahéliens reçoivent la majorité de leurs précipitations en une seule saison de pluies centrée autour du mois d’août. En revanche, les pays du Golfe de Guinée reçoivent deux saisons de pluies, une très importante autour du mois de juin, puis une autre de plus petite envergure au mois d’octobre (CILSS, 2012).

À cause des températures et du potentiel d’évapotranspiration élevés, l’Afrique de l’Ouest connaît un bilan hydrique négatif durant plus de la moitié de l’année (Burton et Egli, 2002). Dans la zone soudano-sahélienne, la plupart des mares et des cours d’eau sont temporaires. Les seuls réservoirs d’eau douce demeurent les grands fleuves, dont le très faible débit d’été n’est assuré que par l’eau des lacs remplis durant la saison des pluies (Burton et Egli, 2002). En Mauritanie par exemple, le réseau hydrogéologique est quasiment inexistant à l’exception du fleuve Sénégal, seul cours d’eau pérenne du pays, et quelques cours d’eau saisonniers dans les régions de l’Adrar (Stratégie nationale pour la conservation de la biodiversité). La disponibilité en eau douce est moins critique dans le Golfe de Guinée et c’est d’ailleurs dans cette région que tous les grands fleuves d’Afrique occidentale prennent leur source, y compris ceux desservant les pays soudano-sahéliens (UICN, 2004).

1.1.2 Grands fleuves d’Afrique de l’Ouest

Les principaux systèmes dulcicoles de la région sont des bassins internationaux, et l’Afrique occidentale en compte 25 (Figure 1.3). Les deux plus grands fleuves d’Afrique, tant en termes de longueur que de superficie des bassins versants, le Niger et le Sénégal, irriguent respectivement neuf et quatre pays (UICN, 2004).



Source : ESRI, Global GIS, WHY MAP Réalisation : M. Niasse, C. Mbow (2006)

© Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest / OCDE

Figure 1.3 – Bassins versants transfrontaliers d’Afrique de l’Ouest

Source : Niasse, 2006.

L’approvisionnement en eau douce des pays sahéliens en aval des cours d’eau dépend en grande partie du transfert de l’eau provenant des pays guinéens en amont, d’où l’importance d’une gestion intégrée et concertée de la ressource en eau. L’Autorité du bassin du Niger (ABN) et l’Organisation de mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) ont été créées dans ce but précis.

1.1.3 Démographie

En 1950, l’Afrique occidentale comptait un peu plus de 70 millions d’habitants. Depuis, la population ne cesse d’augmenter, ayant atteint, en 2010, les 305 millions d’habitants (ONU, 2013). D’ailleurs, les prévisions de l’ONU estiment à plus de 814 millions d’habitants la population totale d’Afrique de l’Ouest en 2050, soit une augmentation de presque onze fois (Figure 1.4). La croissance démographique est sûrement le plus gros défi du continent africain, car elle s’accompagne d’une augmentation des besoins alimentaires et énergétiques, qui dépendent en bonne partie de l’exploitation des écosystèmes.

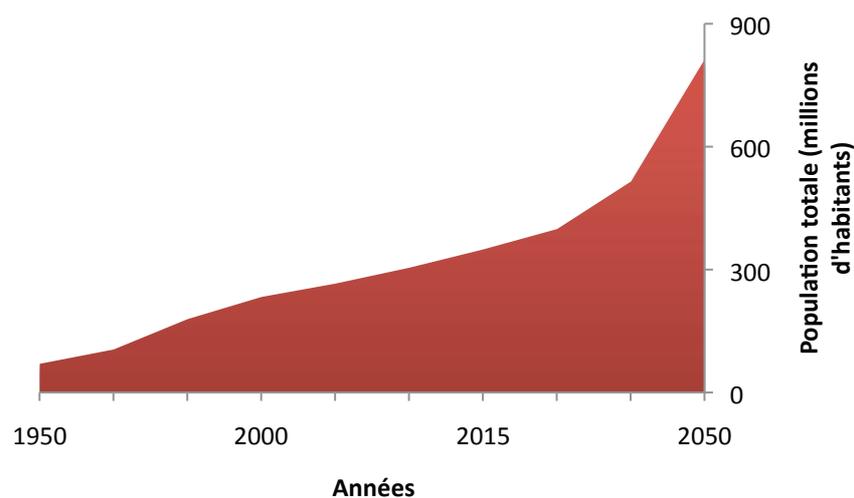


Figure 1.4 – Évolution de la population en Afrique de l’Ouest
Données de : ONU, 2013

Plus de la moitié de cette population se trouve au Nigéria, incidemment le pays le plus peuplé du continent africain (Figure 1.5). Le Ghana et la Côte d’Ivoire abritent respectivement huit et six pourcent de la population totale d’Afrique de l’Ouest, et les 34 % restants sont partagés entre les 13 autres pays de la région.

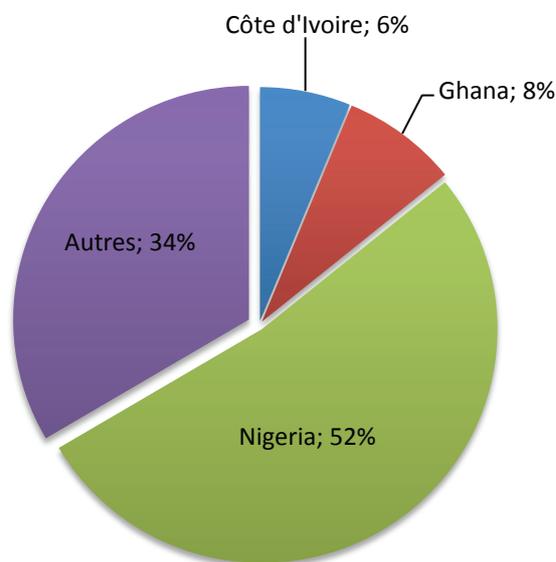


Figure 1.5 – Répartition de la population en Afrique de l’Ouest.
Données de : ONU, 2013

Les trois pays les plus peuplés d’Afrique occidentale sont tous les trois des pays du Golfe de Guinée, région plus humide que la région soudano-sahélienne. L’hostilité du climat désertique dans les zones soudano-sahéliennes pourrait constituer un facteur expliquant la faible densité des populations dans

ces zones. En effet, dans des régions où l'eau douce est un facteur limitant, la présence et la disponibilité de l'eau sont des facteurs influant les mouvements des populations.

De plus, on remarque que dans la région, les densités de population sont typiquement plus élevées dans le Golfe de Guinée, et plus particulièrement dans les deltas des fleuves Niger et Sénégal (Figure 1.6).

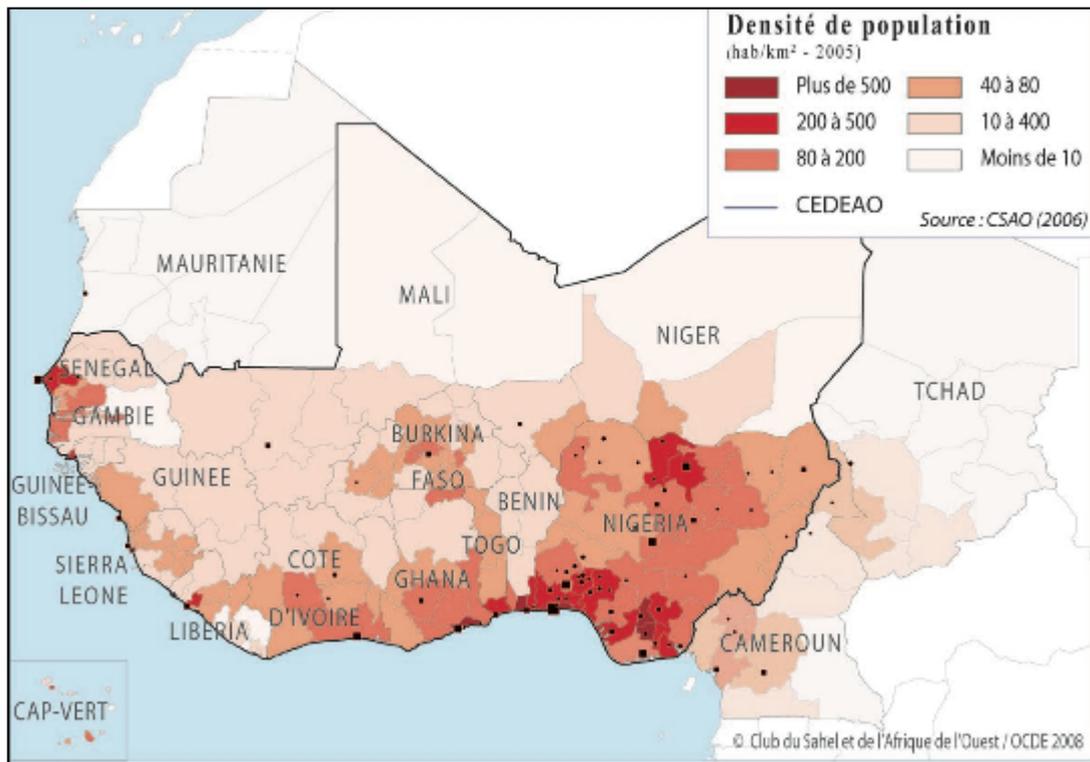


Figure 1.6 – Densités de population en Afrique occidentale.

Source : Niasse, 2006

Cette répartition de la population autour des grands fleuves et de leur embouchure n'est pas unique à l'Afrique de l'Ouest, et s'observe autour de la majorité des grands cours d'eau (Malmqvist et Rundle, 2002); on peut l'expliquer par les faits que les cours d'eau sont des écosystèmes très productifs et qu'ils prodiguent non seulement des zones de haute productivité pour l'agriculture et des ressources en abondance pour nourrir le bétail, mais aussi un couloir de transport de choix pour le commerce et les mouvements des individus (Schnaiberg et autres, 1993). Cette tendance s'observe également en Amérique du Nord, où les populations se sont établies en bordure des fleuves, utilisés alors pour la pêche, la chasse, le transport, puis plus tard pour le tourisme et la récolte de matières premières (Schnaiberg et autres, 1993). De ce fait, les écosystèmes d'eau douce courante sont encore aujourd'hui lourdement exploités par les communautés humaines pour leur développement (Malmqvist et Rundle, 2002).

1.1.4 L'Afrique de l'Ouest face aux changements climatiques

L'Afrique de l'Ouest est l'une des régions du monde les moins résilientes aux changements et aux extrêmes climatiques (UICN, 2004), tant au niveau biologique qu'humain. Or, certains changements environnementaux sont actuellement observés dans la région.

En effet, depuis les années 1960, les dérèglements climatiques généralisés ont un impact sur les mouvements de la zone de convergence intertropicale et se traduisent, en Afrique de l'Ouest, par un retard dans l'arrivée de la mousson et une diminution de la quantité des précipitations (CNRS, n/a; UICN, 2004). Ces anomalies sont particulièrement apparentes dans les pays du Sahel où plusieurs épisodes de sécheresse ont été observés au courant des cinquante dernières années (UICN, 2004). Ces dérèglements affectent incidemment l'hydrographie des cours d'eau.

Par exemple, une réduction du débit des cours d'eau a été notée depuis les années 1970; les débits des fleuves Niger et Sénégal ont respectivement diminué de 30 % et 60 % (Burton et Egli, 2002). On remarque en outre que la diminution des débits des fleuves surpasse la diminution de la pluviométrie (CILSS, 2012).

Les anomalies climatiques ont un impact sur plusieurs activités humaines hydro-dépendantes, comme la pêche d'eau douce et l'agriculture. La diminution de l'humidité ambiante et l'augmentation de la température résultent en une réduction du rendement des cultures dont les habitants de la région, en particulier les agriculteurs de subsistance, dépendent pour leur alimentation.

1.2 Écosystèmes fluviaux transfrontaliers et leur biodiversité

Un fleuve est un écosystème lotique, c'est-à-dire ouvert et unidirectionnel (Malmqvist et Rundle, 2002), qui démarre à une source et se termine à l'embouchure (Dudgeon et autres, 2006). Cette section commence par discuter des caractéristiques générales des grands fleuves, puis décrit en détails deux écosystèmes de fleuves transfrontaliers d'Afrique de l'Ouest : le Niger et le Sénégal.

1.2.1 Caractéristiques générales des fleuves

La caractéristique la plus frappante des écosystèmes fluviaux est le mouvement courant de l'eau depuis la source vers son embouchure (Malmqvist et Rundle, 2002). L'eau des fleuves peut ainsi parcourir de longues distances et des paysages diversifiés, transportant des particules de toutes sortes et offrant un couloir de navigation pour les organismes mobiles (Schnaiberg et autres, 1993).

L'embouchure d'un fleuve correspond à l'endroit où celui-ci se jette dans la mer ou l'océan, et peut prendre deux formes : un estuaire, ou un delta. Un estuaire sera formé si une partie des sédiments et des particules transportés par le fleuve est évacuée dans la mer, moyennant un courant fluvial suffisamment rapide et de fortes marées (Vatan, 1967). L'eau salée rentre dans le lit du fleuve et se

mélange à l'eau douce; l'estuaire représente donc la zone du fleuve où l'effet des marées se fait sentir, également caractérisé par des eaux saumâtres, et donc une biodiversité adaptée à ces environnements changeants (Vatan, 1967). En contrepartie, si le courant du fleuve n'est pas assez puissant, les sédiments transportés par le fleuve se déposeront. Les gros deltas se formeront typiquement dans des zones où les marées seront peu importantes et les vagues trop faibles pour disperser les dépôts, créant ainsi des ramifications au lit principal du fleuve (Vatan, 1967).

Les grands fleuves d'Afrique de l'Ouest sont aussi caractérisés par les transferts interzonaux de l'eau. À la saison des pluies, les fleuves sont gonflés par les crues et l'eau envahit la plaine d'inondation durant une période soutenue et d'autres échanges imprévus d'eau peuvent avoir lieu entre le fleuve et sa plaine. C'est le phénomène du « pouls d'inondation », une force naturelle qui gère toutes les interactions du biote des fleuves et de leurs plaines inondables (Junk, 1989).

Finalement, le régime hydrique des fleuves dépend autant de la topographie des contrées qu'ils traversent que de leurs cours d'eau tributaires, du climat et des ouvrages anthropiques qui peuvent en modifier le débit, la vitesse et le cours (Malmqvist et Rundle, 2002). Ce principe est la fondation de l'approche de gestion de l'eau par bassin versant, qui souligne l'étroite interdépendance entre un fleuve et son bassin (Tockner et Stanford, 2002); par exemple, il est reconnu que les interactions entre les fleuves et leurs plaines d'inondation sont essentielles au maintien des dynamiques écosystémiques et à la conservation de leur biodiversité (Malmqvist et Rundle, 2002).

1.2.2 Une biodiversité essentielle

En général, la nature est reconnue comme fournisseur de biens et services écologiques multiples sous forme d'approvisionnement aux populations, de régulation, d'habitat pour les espèces en péril, endémiques ou migratrices, et aussi de services culturels.

Les services écologiques sont essentiels à la réalisation des Objectifs pour le Millénaire de l'ONU, qui visent l'élimination de l'extrême pauvreté et de la faim, la réduction de la mortalité infantile et l'assurance d'un environnement durable (TEEB, 2010). Or, la biodiversité des fleuves d'Afrique occidentale et de leurs bassins versants est à même de fournir des services appartenant aux quatre grandes catégories de services écologiques (CDB, 2014), si bien que l'on pourrait en déduire que la biodiversité des fleuves d'Afrique est essentielle à la réalisation des Objectifs pour le Millénaire et au développement humain.

La biodiversité des milieux aquatiques est exploitée par les habitants afin qu'ils se procurent de quoi se nourrir, de quoi produire de l'énergie, mais aussi de quoi se soigner (Agbogidi et Ofuoku, 2006). Les espèces sauvages de mammifères, de reptiles et d'oiseaux sont alors exploitées pour leur potentiel à nourrir les habitants de la vallée (Agbogibi et Ofuoku, 2006; Hamadina et autres, 2007). La pêche continentale est une autre forme d'utilisation directe de la biodiversité des bassins versants, et fournit

une sécurité alimentaire à des millions de pauvres dans le monde (CDB, 2014). Certaines espèces d'oiseaux migrateurs sont aussi chassées pour leur viande (CMS, 2014; Sultanian et van Beukering, 2008).

De plus, la végétation qui tapisse la plupart des milieux humides associés au fleuve agit comme éponge, et comme barrière naturelle pour réguler le ruissellement d'eau dans la plaine d'inondation des fleuves (Agbogibi et Ofuoku, 2006; Uluocha et Okeke, 2004). Cette stabilisation tamponne ce que l'on appelle des événements extrêmes, évitant les épisodes de fortes inondations ou de grande sécheresse (Agbogibi et Ofuoku, 2006). De surcroît, la plaine d'inondation des fleuves, et donc la végétation adaptée au régime des crues et décrues, possède un potentiel d'évapotranspiration important (Pacini et autres, 2013). Ce phénomène confère aux espèces végétales, lorsqu'organisées en communautés, la capacité de réguler la température des sols et de l'air ambiant (Panici et autres, 2013).

Outre les services directs aux populations, la biodiversité, en l'occurrence certaines espèces migratrices et emblématiques, a une valeur culturelle et symbolique (Malmqvist et Rundle, 2002). Les espèces migratrices permettent par exemple de prévoir des épisodes climatiques, et sont même utilisées en médecine traditionnelle (CMS, 2014; Sultanian et van Beukering, 2008). La biodiversité représente également une source de revenus pour les sociétés, par le tourisme de nature (Agbogibi et Ofuoku, 2006), les espèces migratrices attirant d'ailleurs énormément de passionnés (CMS, 2014). Par ailleurs, les activités touristiques encouragent la volonté et attirent les initiatives de construction et d'entretien d'infrastructures routières et énergétiques, d'installations sanitaires et scolaires (Agbogibi et Ofuoku, 2006). De par sa définition, ce type de tourisme nécessite une conservation du capital naturel afin de maintenir le développement économique (Agbogibi et Ofuoku, 2006), et présente ainsi une opportunité sur laquelle miser lorsque l'on songe à la conservation de la biodiversité.

1.2.3 Une biodiversité menacée

Les écosystèmes d'eau douce figurent parmi les écosystèmes les plus menacés au monde (SCBD, n.a.); ils subissent des déclin au niveau de la biodiversité, et des restrictions dans la répartition des espèces qui surpassent ceux observés dans les écosystèmes terrestres les plus affectés (Suski et Cooke, 2007). Ces déclin résultent de la combinaison et de l'interaction de plusieurs menaces aux écosystèmes, tant anthropiques que naturelles. L'influence négative de l'homme sur l'environnement des grands fleuves et leur biodiversité peut être catégorisée selon trois grands types : l'altération physique de l'habitat, l'altération de la chimie de l'eau, et les modifications de l'assemblage des espèces (Adeyemo, 2003; Dudgeon et autres, 2006; Malmqvist et Rundle, 2002).

La destruction et la dégradation de l'habitat ont autant de causes directes qu'indirectes. L'excavation dans le lit des cours d'eau est un bon exemple d'une destruction directe de l'habitat aquatique, alors

que des activités modifiant le régime des eaux à l'échelle du bassin versant, comme par exemple des modifications dans le couvert végétal du bassin-versant, peuvent indirectement dégrader l'habitat (Malmqvist et Rundle, 2002), en modifiant le débit, le temps de réponse et le calendrier des crues (Malmqvist et Rundle, 2002), de même que la qualité de l'eau (Dudgeon et autres, 2006). La biodiversité des fleuves est adaptée à un environnement comportant des fluctuations naturelles; la variabilité des débits d'eau, la dynamique des crues, et le courant dans l'eau sont des paramètres de l'environnement fluvial auxquels se sont adaptées les espèces qui y résident. Toute activité ou infrastructure liée à l'exploitation du courant d'un fleuve est susceptible de tamponner ces fluctuations saisonnières, allant parfois jusqu'à les supprimer complètement, constituant donc une menace potentielle à cette biodiversité spécialisée (Malmqvist et Rundle, 2002).

La pollution de l'eau est principalement due aux rejets industriels et domestiques dans les rivières et les milieux humides (Adeyemo, 2003), et à l'utilisation d'intrants agricoles dans les terres du bassin versant d'un fleuve. Les rejets industriels et les pesticides sont souvent constitués de produits chimiques soit reconnus dangereux, ou dont la toxicité n'a pas été évaluée. Comme toute faune et flore spécialisée, les espèces adaptées à la vie dans les fleuves sont très vulnérables à tout changement dans la qualité de leur habitat. L'excès de nutriments apportés par les fertilisants dans l'eau crée par ailleurs un milieu favorable à la prolifération d'espèces végétales envahissantes qui préfèrent les environnements stagnants, riches en éléments phosphorés (UICN, 2004).

Une menace réside dans les activités susceptibles de provoquer des changements dans les assemblages biologiques des écosystèmes. La surpêche et la chasse sont des nuisances directes à la biodiversité et peuvent être les principales menaces à la survie ou au rétablissement des espèces, en causant la mort des individus. Elles affectent surtout les espèces de vertébrés et plus précisément les poissons, les reptiles et quelques amphibiens (Dudgeon et autres, 2006). De plus, la pêche a principalement lieu dans les cours d'eau et les criques (Hamadina et autres, 2007), où la richesse spécifique et le taux d'endémisme des poissons d'eau douce et des crustacés, comme les crabes, est la plus élevée (Agbogibi et Ofuoku, 2006; UICN, 2006), ce qui la rend plus vulnérable aux changements des assemblages.

Les fleuves agissent comme couloirs de distribution pour les espèces exotiques; en effet, ces espèces rencontrent peu d'obstacles à leur dispersion dans ce type d'écosystème qui, en outre, par son écoulement, facilite cette dispersion. Dans les fleuves, les espèces peuvent coloniser tous les milieux reliés au fleuve, des milieux humides adjacents jusqu'au delta (Dudgeon et autres, 2006). Cette colonisation par des espèces dites envahissantes est une menace supplémentaire pour les écosystèmes et leur biodiversité. En outre, comme ces espèces doivent leur capacité d'invasion au fait qu'elles sont typiquement généralistes, très résilientes, et possèdent une forte capacité d'adaptation, elles ont souvent plus de succès dans les habitats qu'elles colonisent que les espèces indigènes, les délogeant de

leur niche écologique et limitant leur survie, pouvant même en pousser certaines à l'extinction (Malmqvist et Rundle, 2002). Il sera par ailleurs plus facile pour des espèces envahissantes de coloniser des écosystèmes aquatiques déjà fragilisés et soumis à d'autres types d'impacts, créant un déséquilibre et une fenêtre d'action pour ces espèces opportunistes.

Toutes ces menaces anthropiques mettent à risque la capacité des écosystèmes à résister et à s'adapter aux changements environnementaux globaux, comme les changements climatiques, en réduisant leur résilience (Dudgeon et autres, 2006). Parmi les menaces non directement attribuables aux activités anthropiques, on note que les changements climatiques et la désertification ajoutent une source supplémentaire d'inquiétudes pour la préservation des milieux des bassins versants en Afrique de l'Ouest. Ces phénomènes globaux auraient, pour effet principal, des changements du régime hydrique des fleuves, notamment dans la quantité d'eau qui circule dans l'écosystème (Malmqvist et Rundle, 2002). L'augmentation de la température, qui est envisagée au cours des prochaines décennies, risque aussi d'accentuer l'évapotranspiration, ce qui aura des effets additionnels sur le régime hydrique des fleuves et leur débit (Malmqvist et Rundle, 2002). La désertification entraîne également un changement dans l'utilisation des sols, ce qui pourrait engendrer de l'érosion et dégrader les systèmes fluviaux indirectement (Malmqvist et Rundle, 2002; UICN, 2004). Ce phénomène se manifeste par le comblement du lit des fleuves, comme dans le fleuve Niger où cette tendance est observée (UICN, 2004).

1.3 Bassins versants, milieux Ramsar et espèces d'intérêt international

On retrouve typiquement, dans les eaux douces d'Afrique de l'Ouest, un très haut taux d'endémisme et un indice de richesse spécifique élevé chez les mollusques, certains insectes aquatiques, notamment de la classe des odonates, et les plantes aquatiques (Dudgeon et autres, 2006; UICN, 2006). Ces espèces peuvent être de bons indicateurs de la qualité de l'eau, étant donné qu'ils risquent de souffrir directement des altérations.

Les milieux Ramsar sont d'importance internationale. Ils sont ainsi qualifiés car ils sont tout d'abord des points chauds de biodiversité (Ramsar, 1971); en Afrique de l'Ouest, ils sont reconnus comme abritant une très riche biodiversité, fournissant des habitats importants dans le cycle de reproduction des poissons et des crustacés (UICN, 2004), et présentant un très haut taux d'endémisme en plus de renfermer des espèces au statut de conservation précaire et varié (Dudgeon et autres, 2006; Uluocha et Okeke, 2004). La biodiversité des grands fleuves d'Afrique de l'Ouest est en effet composée en grande partie d'espèces en péril, internationalement reconnues comme étant vulnérables, en danger, et en danger critique d'extinction selon l'UICN (Hamadina et autres, 2007; UICN, 2006). De plus, un très haut taux d'endémisme se traduit par une non substituabilité des espèces (Dudgeon et autres, 2006), ce qui souligne l'importance de leur conservation.

En plus de jouer un rôle important dans le maintien du régime hydrique des fleuves, les milieux humides des grands fleuves d'Afrique occidentale abritent au delà d'une centaine d'espèces d'oiseaux aquatiques ou limicoles et sont des habitats d'importance internationale pour la sauvagine (Sultanian et van Beukering, 2008; Uluocha et Okeke, 2004). De plus, les plaines d'inondations autour du fleuve accueillent les oiseaux migrateurs de l'Eurasie entre les mois d'octobre et mars, pour ce que l'on appelle la période d'hivernage (Sultanian et van Beukering, 2008; Uluocha et Okeke, 2004), ainsi que beaucoup d'autres espèces migratrices. Or, ces espèces sont essentielles au maintien de la structure et des fonctions des écosystèmes (CMS, 2014). Ils sont par ailleurs de très bons indicateurs potentiels de la qualité de l'environnement, et des changements qui peuvent s'y produire (CMS, 2014).

Ensuite, les milieux Ramsar revêtent une importance particulière au niveau culturel ou dans le bien-être des populations humaines (Ramsar, 1971), réputés pour supporter les activités productrices agricoles, comme la culture de décrue, l'élevage et la pêche (UICN, 2004).

1.4 Le bassin du Niger

Le fleuve Niger, avec ses 4130 km, est le plus long des fleuves d'Afrique de l'Ouest. Le bassin est divisé en quatre subdivisions et comprend une dizaine de milieux Ramsar.

1.4.1 Description du bassin

Le fleuve Niger prend sa source dans le Fouta Djallon en Guinée, traverse le Mali, le sud-ouest du Niger, et le Nigéria, où il rencontre la rivière Bénoué et forme le delta du fleuve Niger (Figure 1.7). Le Niger supérieur traverse la cuvette de Haute Guinée, et est alimenté par d'importants affluents provenant des montagnes de Guinée (Figure 1.7), où les précipitations sont abondantes (Burton et Egli, 2002); le débit moyen mensuel est environ de 196 m³/s, et est soutenu par les relâchements d'eau par le barrage Sélingué (ABN, 2013).

Le delta intérieur du Niger commence à Koulikoro, où le relief s'adoucit pour créer une vaste plaine d'inondation en période de crue, laquelle couvre en moyenne 20 000 à 30 000 km² à l'année (Burton et Egli, 2002; Zwarts et autres, 2005a). La partie centrale du delta intérieur est également alimentée par un affluent, le Bani. Le delta intérieur donne aussi naissance à plusieurs défluent, dont le plus important est le Kondi, qui remplit le lac Télé et le système Faguibine, où se pratique l'agriculture de décrue (Burton et Egli, 2002); le débit mensuel moyen au niveau du delta intérieur est environ de 184 m³/s.

Le Niger moyen sort du delta intérieur et traverse plus de 1300 km de territoire aride (Burton et Egli, 2002), et reçoit de l'eau d'affluents sur sa rive droite; son débit mensuel moyen est enregistré à 300 m³/s (ABN, 2013). Finalement, le Niger inférieur commence lorsque le fleuve entre au Nigéria, et comporte plusieurs affluents pérennes, dont la rivière Kaduna (Ramsar, 2008a). Il est rapidement

rejoint par la rivière Bénoué. À leur confluence, le débit mensuel moyen est de 2600 m³/s (ABN, 2013), le Niger devient alors le delta du Niger (Burton et Egli, 2002). Dans le Niger inférieur, le lac Kainji s'est formé à la suite de la construction du barrage de Kainji et est maintenant partie intégrante du bassin (Ramsar, 2005a), et le lac Oguta est également alimenté par les défluent (Ramsar, 2008b).

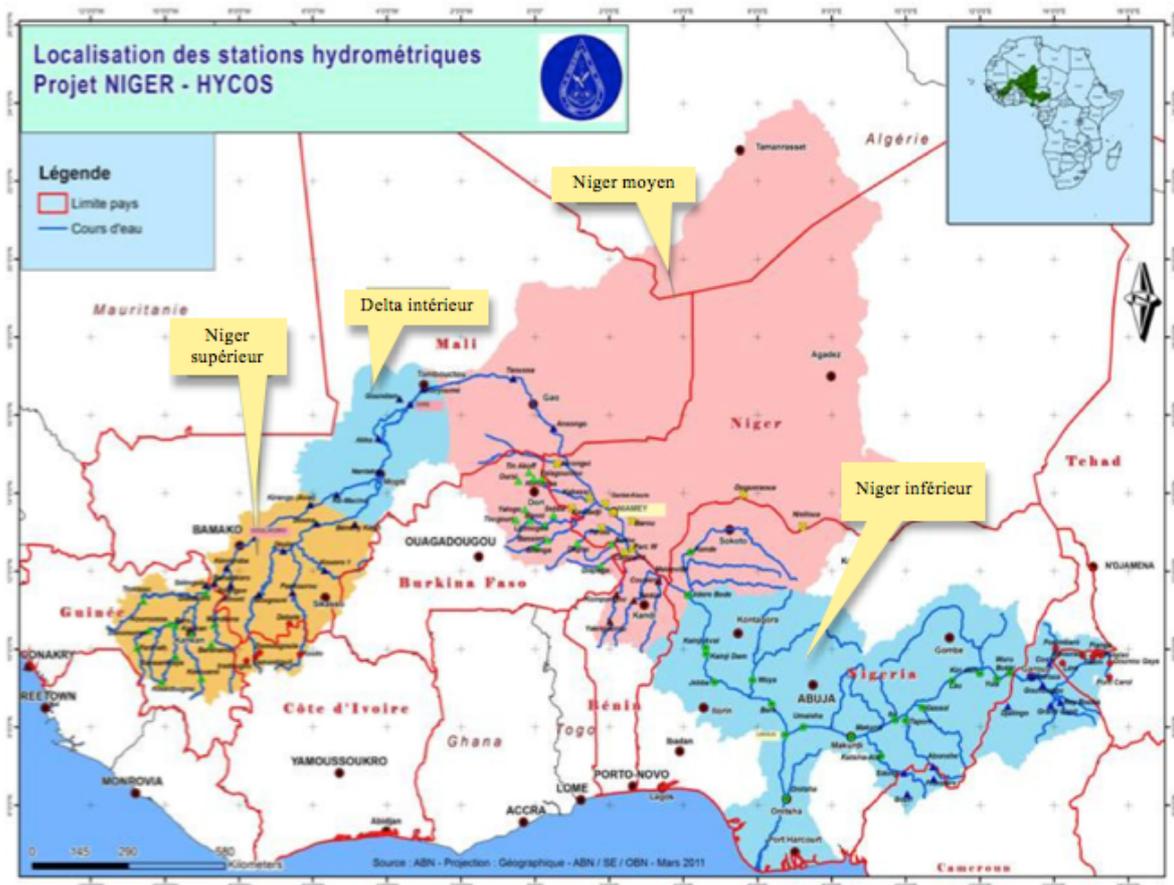


Figure 1.7 – Fleuve Niger et subdivisions de son bassin
Source : ABN, 2013.

1.4.2 Biodiversité et milieux Ramsar

Le complexe Kokorou Nanga est un réseau de milieux humides partagé entre le Niger, le Burkina Faso et le Mali; il était auparavant rempli par les crues du fleuve Niger (Ramsar, 2000). Il offre des habitats à presque 50 000 oiseaux marins appartenant à 56 espèces différentes (Ramsar, 2000). Il abrite également une espèce de reptile vénéré par certaines ethnies en tant que puissant esprit protecteur (Ramsar, 2000).

Le delta intérieur du Niger est, quant à lui, un milieu Ramsar à lui seul. C'est un site particulièrement productif et riche en biodiversité (Zwarts et autres, 2005b), qui offre une aire de refuge et de repos pour une quantité phénoménale d'oiseaux migrateurs, avec plus de 350 espèces observées à cet endroit (Ramsar, 2004), dont deux des plus grosses colonies reproductrices de hérons et de cormorans (Zwarts et autres, 2005b). Il est également essentiel à la survie de plusieurs reptiles comme le python des

roches (*Python sebae*), le varan du Nil (*Varanus niloticus*), des cobras et des vipères, de même que plusieurs espèces d'amphibiens (Ramsar, 2004). On y retrouve également des espèces en péril telles que l'hippopotame nain, le lamantin, aujourd'hui menacées par la pression anthropique dans le delta interne (Ramsar, 2004; Zwarts et autres, 2005b). Enfin, le delta présente plus de 130 espèces de poissons dont 24 sont endémiques (Ramsar, 2004), et présente des champs extensifs de *bourgou*, une plante flottante indispensable à la reproduction des poissons (Zwarts et autres, 2005b). Le *bourgou* sert de nourriture et d'abri aux poissons en période de reproduction, et représente donc un habitat clé pour les oiseaux piscivores durant les crues et une source de nourriture pour le bétail lorsque les eaux régressent vers le lit du fleuve en période de décrue (Zwarts et autres, 2005b).

Plus en aval, les sites Ramsar de la zone humide du moyen Niger, et ceux du Parc national du W, partagés entre le Niger, le Bénin et le Nigéria, sont le dernier habitat où l'on peut retrouver certaines espèces de poissons, disparues ailleurs dans le bassin versant (Ramsar, 2005b; Ramsar, 2005c). En outre, la graminée de l'hippopotame *Echinochloa stagnina*, ainsi que *Antheophora nigrimana* y poussent, constituant un habitat pour des milliers d'oiseaux marins et d'espèces en péril, comme la mangouste à queue blanche (*Ichneumia albicauda*), le renard pâle (*Vulpes pallida*), et le lamantin africain (*Trichechus senegalensis*) (Ramsar, 2005a). Le Parc national du W abritait également un nombre important d'éléphants d'Afrique, espèce menacée selon l'UICN, de buffles et d'antilopes (Hamadina et autres, 2007; Ramsar, 2005c). Cependant, ayant longtemps été chassés dans cette région, peu ou pas d'individus de ces espèces ont été observés à l'embouchure du fleuve Niger depuis les vingt dernières années (Hamadina et autres, 2007).

En se rapprochant du delta, les îles Foges, au Nigéria, font partie d'un parc national où sont retrouvées plus de 180 espèces d'oiseaux, de même que des hippopotames, des bubales roux (*Alcelaphus buselaphus*), des cobes à croissant (*Kobus ellipsiprymnus*), et des singes verts (*Chlorocebus sabaes*) (Ramsar, 2008c). Le lac Oguta compte parmi sa biodiversité 258 espèces de phytoplancton et quarante espèces de poissons, et des petites populations éparses de l'espèce en péril du singe de Sclater (*Cercopithecus sclateri*) s'y abreuvent (Ramsar, 2008b). Les milieux humides du Niger inférieur représentent aussi une zone de reproduction très importante pour le Guêpier gris-rose et abritent beaucoup d'espèces d'oiseaux endémiques (Ramsar, 2008a).

Enfin, le delta du Niger est une des zones les plus riches en biodiversité d'Afrique de l'Ouest. Il comprend des réserves forestières où l'on retrouve un taux élevé d'endémisme, de même que plusieurs espèces en péril inscrites sur la liste rouge de l'UICN, dont le singe de Sclater, le Hocheur à ventre roux (*Cercopithecus erythrogaster*), le primate piliocolobus, la genette à crête, ainsi que la sous-espèce Heslop de l'hippopotame nain (*Choeropsis liberiensis heslopi*) (Hamadina et autres, 2007; Ramsar, 2008d) espèces en péril inscrites sur la liste rouge de l'UICN. Il sert d'aire de repos à de

nombreuses espèces d'oiseaux marins endémiques, ainsi qu'au perroquet Jaco (*Psittacus erithacas*), et d'aire de fraie et de pouponnière pour les poissons du delta (Ramsar, 2008e).

1.4.3 Exploitation de la biodiversité et facteurs de dégradation des écosystèmes

La végétation des plaines alluviales sert de pâturage aux élevages des populations locales (Ramsar, 2005b). Les populations locales vivent de la pêche et de la chasse, comme source principale de protéines (Hamadina et autres, 2007; Ramsar, 2004; Ramsar, 2008b), ainsi que de la récolte des ressources dans le bassin (Ramsar, 2008a; Ramsar, 2008c). Le tourisme est également croissant, principalement dans le domaine de l'ornithologie et de l'observation des oiseaux (Ramsar, 2000; Ramsar, 2008b). Certains milieux humides du bassin revêtent aussi une importance culturelle et mystique pour les communautés riveraines (Ramsar, 2004; Ramsar, 2008b).

Plus spécifiquement, une étude sur la valeur économique des oiseaux migrateurs en Afrique de l'Ouest, particulièrement au Mali, Sultanian et van Beukering (2008) a montré que les populations vivant aux abords du delta intérieur du Niger dépendent plus fortement de la présence des oiseaux migrateurs pour leur approvisionnement en nourriture lors des années plus sèches. Au contraire, lors des années particulièrement arrosées, ces populations auront une diète plus piscivore et typiquement plus variée, les ventes d'oiseaux sur les marchés seront moindres; les oiseaux ne sont donc qu'une solution de secours pour qui tente de nourrir sa famille. Ceci met en lumière l'importance d'une biodiversité riche, qui permet aux populations humaines une plus grande résilience et une moins forte dépendance face aux conditions climatiques changeantes et imprévisibles.

La biodiversité est grandement menacée par la surpêche dans la vallée du Niger (Ramsar, 2008c). En revanche, les espèces inscrites sur la liste rouge de l'UICN, sont surtout menacées par la destruction de l'habitat et le braconnage (Hamadina et autres, 2007). On pense entre autres au hocheur à ventre roux et aux espèces emblématiques comme le crocodile du Nil, le lamantin d'Afrique et la loutre à cou tacheté, toutes des espèces vivant dans le fleuve Niger, vulnérables selon l'UICN (Hamadina et autres, 2007; Ramsar, 2008d). En revanche, les principaux facteurs de dégradation des écosystèmes sont la réduction des précipitations et la déforestation (Ramsar, 2000; Ramsar, 2008a; Ramsar, 2008b; Ramsar, 2008c). La portion inférieure du bassin souffre également de la pollution par les eaux usées, et de la sédimentation (Ramsar, 2008b), menaces corrélées avec l'augmentation de la densité de population (Figure 1.6).

1.5 Le bassin du Sénégal

Le Sénégal est le deuxième plus grand fleuve d'Afrique de l'Ouest, d'une longueur d'environ 1800 km. Le bassin peut être décrit selon trois subdivisions différentes, et comprend cinq milieux Ramsar.

1.5.1 Description du bassin

Le fleuve et ses trois affluents principaux, le Bafing, le Bakoyé et la Falémé, naissent du Fouta Djallon en Guinée (Figure 1.8), et produisent plus de 80 % de son débit (Burton et Egli, 2002). Le cours supérieur du fleuve s'arrête à Bakel, à 40 km en aval de la frontière avec le Mali.

Après avoir quitté le Mali, le fleuve constitue la frontière entre le Sénégal et la Mauritanie, et il traverse ce que l'on appelle la Vallée, une plaine alluviale, jusqu'à Dagana. La Vallée accueille des affluents qui participent très peu au débit, pour la plupart intermittents, à l'exception du Gorgol, seul affluent permanent qui coule en Mauritanie (Burton et Egli, 2002).

La partie inférieure du fleuve, son delta, commence après Dagana jusqu'à l'embouchure avec l'océan Atlantique, au niveau de Saint-Louis du Sénégal. En saison pluviale, le fleuve gonfle et les défluent vont remplir les lacs de Guiers et le Rkiz, respectivement au Sénégal et en Mauritanie (Cogels et autres, 1997; OMVS, n/a). Durant les périodes sèches, l'eau salée de l'océan Atlantique s'infiltre dans le fleuve et beaucoup de cours d'eau s'assèchent (Cogels et autres, 1997); les lacs de Guiers et le Rkiz figurent alors parmi les seules réserves d'eau douce durant plusieurs mois par année (Cogels et autres, 1997).



Figure 1.8 – Bassin versant du fleuve Sénégal

Source : OMVS, n/a.

1.5.2 Milieux Ramsar et biodiversité

Le lac permanent d'eau douce Magui (14°38'39''N; 11°01'38''W) reçoit de l'eau de défluent du fleuve, et se situe en amont de la frontière entre le Sénégal et le Mali (Ramsar, 2013a). Au niveau de Dagana, le site Ramsar de la Réserve Naturelle Communautaire de Tocc Tocc est un lac côtier d'eau douce qui participe au soutien du régime hydrique du fleuve Sénégal, au même titre que le lac Magui (Ramsar, 2013a; Ramsar, 2013b). Ces deux lacs servent de zone de fraie, de pouponnière et d'aire d'alimentation pour plus de 98 espèces de poissons du fleuve Sénégal, dont des espèces figurant à la base de l'alimentation des populations côtières du Sénégal et de Mauritanie (Ramsar, 2013a; Ramsar, 2013b). Il abrite en outre des colonies d'environ 95 espèces d'oiseaux marins, comme le pélican blanc (*Pelecanus onocrotalus*), ainsi que des petits mammifères et des reptiles (Ramsar, 2013a). La Réserve de Tocc Tocc sert entre autre d'habitat à l'espèce de tortue d'eau douce *Pelusios adansonii*, et au lamantin d'Afrique occidentale (*Trichechus senegalensis*), tous deux endémiques à l'Afrique de l'Ouest (Ramsar, 2013b).

Les crues irriguent des milieux humides Ramsar de part et d'autre de la frontière, comme le Parc National du Diawling en Mauritanie, le Parc National du Djouj, le bassin du Ndiel et la réserve faunique de Gueumbeul au Sénégal. Ces sites font partie de la plaine alluviale saline du fleuve Sénégal, et contiennent un réseau de lacs, de lagons et de mangroves, importants milieux d'alimentation pour les poissons et les crustacés (Ramsar, 1992a; Ramsar, 1994). Ils sont importants pour nombre d'oiseaux migrateurs comme les oiseaux paléarctiques et afrotropicaux, qui les utilisent comme halte migratoire, ou encore une aire de reproduction et d'hivernage; on y observe par exemple différentes espèces de la famille des hérons et des cigognes, des canards et autre Anatidés, pour un nombre total excédant 400 000 individus au mois de janvier (Ramsar, 1992a; Ramsar, 1992b; Ramsar, 1994). On y trouve aussi des mammifères, entre autres des phacochères, des chacals et des singes patas, mais les gazelles ont récemment disparu du parc (Ramsar, 1994).

1.5.3 Exploitation de la biodiversité et facteurs de dégradation des écosystèmes

La biodiversité du fleuve Sénégal est exploitée pour son potentiel alimentaire, non seulement par la pêche et la chasse (Ramsar, 1992c; Ramsar, 1994; Ramsar, 2013b), mais aussi par la culture d'espèces indigènes dans les milieux humides (Ramsar, 1992c; Ramsar, 2013a). Les populations locales vont également récolter les produits et sous-produits forestiers sur les sites Ramsar à diverses fins (Ramsar, 2013a), comme la production de parfum à base de *Cyperus articulatus* (Ramsar, 2013b).

Les sites Ramsar sont aussi un lieu de conservation de la biodiversité et constituent ainsi une attraction pour les touristes de nature et des zones récréatives pour les habitants (Ramsar, 1992a; Ramsar, 1992b).

La principale menace à ces milieux est d'origine naturelle, et est liée à la réduction des précipitations (Ramsar, 1992b; Ramsar, 1992c). La surpêche est également une menace importante à la biodiversité, surtout dans les lacs lorsque l'on se rapproche du delta (Ramsar, 2013b). L'agriculture demeure tout de même également un facteur de dégradation dans le bassin du Sénégal, à cause des prélèvements d'eau pour l'irrigation (Cogels et autres, 1997; Ramsar, 2013b), mais aussi des intrants chimiques qui détériorent la qualité de l'eau et favorisent l'invasion des écosystèmes par des plantes aquatiques envahissantes, comme *Salvinia molesta* et la Typha (*Typha australis*) (Ramsar, 1994; UICN, 2004; Uluoka et Okeke, 2004), *Pistia stratiotes* et *Paspalum vaginatum* (Ramsar, 1992b; UICN, 2004; Uluoka et Okeke, 2004).

En conclusion, les populations d'Afrique de l'Ouest dans les bassins du Niger et du Sénégal, sont très fortement dépendantes de la biodiversité des fleuves. Cette biodiversité connaît cependant de multiples menaces, beaucoup d'origines anthropiques pour le développement ou tout simplement la survie des populations. Des pertes, et même des changements de la biodiversité peuvent affecter les processus écosystémiques des rivières (Covich et autres, 2004a). Les menaces à la survie des espèces des écosystèmes d'eau douce peuvent parfois mener des espèces à disparaître d'une région ou d'un pays (Hamadina et autres, 2007). L'UICN (2004) soulève d'ailleurs les répercussions potentielles d'une perte de biodiversité sur les populations pauvres d'Afrique de l'Ouest, lesquelles sont souvent les plus dépendantes des ressources d'eau douce pour leur survie; ces populations ont peu d'alternatives pour leur approvisionnement en nourriture, et sont donc davantage affectées par les extinctions locales, la baisse de la diversité et la diminution des populations animales (UICN, 2004). Rappelons également que de telles pertes de biodiversité risquent de rendre encore plus problématique l'enjeu de la croissance démographique.

Il y a donc un besoin urgent de régler ce paradoxe, afin que le développement de l'Afrique de l'Ouest ne se fasse plus aux dépens des écosystèmes et de la biodiversité auxquels il est si étroitement lié. En particulier, les barrages sont des outils du développement qui offrent de multiples services aux populations et jouent parfois même un rôle de conservation des écosystèmes. Ils sont en pleine expansion en Afrique de l'Ouest, en réponse entre autre à l'explosion démographique qu'elle subit et aux incertitudes pluviométriques auxquelles les pays sahéliens, notamment, font constamment face (UICN, 2012). Après avoir décrit les écosystèmes des fleuves et leur biodiversité, il est temps de décrire les impacts que peuvent avoir les barrages sur ces écosystèmes.

CHAPITRE 2 - IMPACTS DES BARRAGES SUR LES FLEUVES D'AFRIQUE DE L'OUEST : LE CAS DU NIGER ET DU SÉNÉGAL

Ce chapitre offre un cadre pour l'identification des impacts des barrages sur la biodiversité en général, de même que quelques pistes pour la détection de ces impacts en Afrique de l'Ouest. Pour cela, il faut comprendre ce qu'est un barrage et comment il fonctionne. Ensuite, grâce à la connaissance des écosystèmes fluviaux apportée par le premier chapitre, il est possible d'identifier les types d'effets que les barrages peuvent avoir sur les milieux naturels, et donc leurs impacts subséquents sur la biodiversité. Finalement, les indicateurs d'impacts découlent directement de cette analyse.

2.1 Généralités sur les barrages

Un barrage est une construction humaine, un ouvrage de retenue et de régulation érigé sur un cours d'eau, et peuvent servir à créer de grands plans d'eau en amont du barrage, appelés réservoirs (Hydro-Québec, 2015; Le Petit Robert, 2015).

Les barrages contribuent depuis longtemps à la gestion des ressources en eau douce et de l'écoulement des fleuves et des rivières afin de répondre aux besoins des civilisations. D'après la Commission internationale sur les grands barrages (CIGB), les principaux rôles des barrages étaient historiquement de répondre aux besoins d'approvisionnement en eau potable et en irrigation des populations humaines (CIGB, s. d.a; Hydro-Québec, 2015). Puis, avec le temps et face à la croissance démographique, les barrages ont été étroitement associés au développement humain, permettant entre autre de contrôler les inondations dues aux crues extrêmes, de lessiver les sédiments, de faciliter la navigation et la production d'énergie, et d'améliorer la qualité de l'eau (CIGB, s. d.a; Hydro-Québec, 2015; UICN, 2004).

2.1.1 Types de barrages

Il existe deux grandes catégories de barrages : les barrages au fil de l'eau, et les barrages à réservoir. Les barrages au fil de l'eau ne permettent pas la mise en réserve de l'eau et la puissance électrique produite dépend uniquement du débit du cours d'eau. Au contraire, les barrages à réservoir sont préférés lorsque l'on veut pouvoir contrôler la production d'électricité et la synchroniser avec les périodes de forte demande. Ces barrages présentent une hauteur de chute généralement assez élevée. (Hydro-Québec, 2015)

Les réservoirs sont des étendues d'eau créées à l'aide d'ouvrages de retenue que sont les barrages et les digues. Ces derniers, en restreignant ou en contrôlant le débit d'un cours d'eau, créent en amont de l'ouvrage un plan d'eau de niveau plus élevé que le reste du cours d'eau. Une digue, souvent construite en association avec un barrage, est un ouvrage de retenue destiné à retenir l'eau et faire

obstacle à son passage et à ses mouvements. Elle l'empêche par exemple de se déverser dans une vallée secondaire (Hydro-Québec, 2015).

Il existe plusieurs types de barrages à réservoir et le choix de l'un ou l'autre type va souvent dépendre des ressources en matières premières, de la taille et du débit du cours d'eau sur lequel l'ouvrage sera érigé et de la nécessité d'installer des portes d'ouverture et des écluses (CIBG, s. d.b; Hydro-Québec, 2015). Les trois types les plus communs sont le barrage en remblai, le barrage-poids et le barrage-voûte ou à contreforts.

Les évacuateurs de crue sont une composante très souvent ajoutée aux barrages par les ingénieurs. Ils permettent entre autre le contrôle du niveau de l'eau afin de prévenir les inondations lors des crues, ou tout simplement le relâchement d'eau dans le cours d'eau pour maintenir un débit minimal. Plusieurs technologies existent mais, étant donné que la plupart des barrages servent également à la production d'énergie, les opérateurs des barrages vont préférer les mécanismes d'évacuation de crue vannés. Ceux-ci permettent de contrôler la retenue d'eau dans le réservoir lors des périodes normales et d'optimiser la décharge d'eau en période de forte crue, ou de forte demande en énergie. (CFBR, 2012)

2.1.2 Caractérisation des grands barrages

La définition d'un « grand » barrage peut varier en fonction des facteurs considérés. La taille du barrage peut dépendre de la capacité de production électrique, mais aussi de sa hauteur de chute et de son débit, du volume du réservoir, etc.

La définition d'un « grand » barrage devrait aussi refléter sa capacité d'influer sur l'hydrologie et l'écologie du fleuve et de son bassin, puisque les impacts les plus importants des barrages sont le plus souvent dus à leur capacité de modifier le régime hydrique d'un fleuve et de son bassin versant. Dans ce document, la « grandeur » du barrage tiendra donc de sa hauteur de chute, de la taille de son réservoir ou du volume d'eau pouvant être relâché. Ce sont d'ailleurs ces deux paramètres qui sont aussi les plus pertinents lors de l'étude des impacts environnementaux. Les barrages au fil de l'eau ne sont donc pas abordés dans cet essai, étant donné qu'ils ne créent pas de réservoir.

Selon la CIGB, un grand barrage est défini de deux façons :

- Un barrage mesurant entre 5 et 15 mètres de haut, et dont le volume excède 3 millions de mètres cubes d'eau (UICN, 2004; Hydro-Québec, 2015); ou
- Un barrage dont la hauteur excède 15 mètres (référence).

Cependant, aux fins de cet essai, certains barrages, comme Diama sur le fleuve Sénégal, seront considérés comme de grands barrages en raison de leurs retombées environnementales.

2.1.3 Projets de grand barrage

Un projet de grand barrage comporte de trois à quatre phases. La première phase sera toujours l'élaboration du projet, pendant laquelle devrait être faite une évaluation précise des impacts, positifs et négatifs, directs et indirects, environnementaux, économiques et sociaux, propres au projet et cumulatifs. S'ensuit la phase de construction du barrage et éventuellement de la centrale hydroélectrique. En raison de l'étendue relativement peu importante des impacts sur la biodiversité associés à ces deux phases, elles ne feront pas l'objet d'une étude plus approfondie dans le cadre de cet essai. Cependant, il est à noter que les impacts les plus importants sur les populations humaines apparaissent lors de ces phases, surtout en termes de relocalisation forcée des villages et de leur population et donc de la perte de terres ancestrales, à cause de la création du réservoir (HCNVD et BAD, 2008).

Une fois le barrage et la centrale construits, on passe à la phase d'exploitation, avec le potentiel d'impacts environnementaux et socio-économiques le plus grand. C'est sur cette phase que l'on doit concentrer les efforts d'atténuation des impacts, être novateur et développer des méthodes soucieuses de l'environnement, compatibles avec les efforts de conservation de la biodiversité.

Finalement, la dernière étape des barrages en est le démantèlement, lorsque celui-ci a atteint la fin de sa vie. Cette étape est parfois laissée pour compte, étant donné que des pratiques existent pour modifier les ouvrages de barrage afin de les restaurer et de les adapter aux nouvelles conditions du fleuve sur lequel ils sont érigés. Cependant, cette étape comporte également son potentiel d'impacts environnementaux néfastes.

Outre le barrage en lui-même et la centrale, l'analyse des impacts des projets de barrages-réservoir doit également porter sur la construction de digues de retenue pour le réservoir. Il faut également considérer, lors de la planification du projet, la construction de routes d'accès aux barrages et des pistes de liaison entre le barrage et la rive, lesquelles apportent aussi leur lot d'impacts environnementaux. (OMVS, 2006a)

2.1.4 Modes d'exploitation des barrages

Le mode d'exploitation des barrages, c'est-à-dire le calendrier de libération des débits et la quantité d'eau relâchée, dépend du rôle envisagé pour le barrage. Certains barrages sont construits en poursuivant un seul but, par exemple le contrôle des inondations. En revanche, les barrages polyvalents, ou pluri-fonctions, permettent de répondre à plusieurs besoins en même temps, ce qui représente un atout considérable pour les pays en développement : d'un seul investissement découlent plusieurs bénéfices domestiques et économiques (CIGB, s. d.a).

En Afrique de l'Ouest, les barrages polyvalents vont généralement combiner la production d'hydroélectricité, l'approvisionnement en eau douce pour l'irrigation et va favoriser la navigation (McCartney, 2009).

Dans ce cas, la régulation du débit de l'eau qui passe à travers ces ouvrages dépend de la demande humaine en eau et en énergie. En effet, lors des périodes de basse demande, l'eau est pompée et entreposée dans des réservoirs, et lorsque la demande augmente, comme en milieu de journée, les opérateurs produisent de l'énergie rapidement en faisant passer l'eau dans les turbines, augmentant ainsi le débit du fleuve. C'est une façon très efficace de stocker l'énergie, l'hydroélectricité étant la meilleure façon de produire de l'énergie rapidement directement en fonction de la demande. Cependant, cette gestion peut entrer en conflit avec d'autres objectifs des barrages comme le contrôle des crues. (Dumas et autres, 2010; Ndiaye, 2003)

Cependant, les barrages peuvent aussi être exploités de sorte à assurer un débit environnemental constant du fleuve, en stockant l'eau en période d'excès pour la remettre en circulation en période de carence lors de la saison sèche. Ce mode de gestion des ressources en eau, un régime artificiel, vise à contrer le phénomène d'assèchement des écosystèmes en aval des barrages, de même qu'il procure aux populations de l'eau douce toute l'année (UICN, 2004; UICN, 2012).

Ayant été construits à une époque où les débits des fleuves étaient différents (souvent plus élevés), plusieurs des barrages en Afrique de l'Ouest sont aujourd'hui désuets. En effet, les plans des barrages se basaient sur les normes hydrologiques au moment de leur construction, dans les années 1980, et sont donc désadaptés aux conditions actuelles de pluviométrie moindre. Les sécheresses d'aujourd'hui expliquent les déficits dans le remplissage des réservoirs des barrages et, par conséquent, la diminution de la production hydroélectrique et des réserves en eau potable (UICN, 2004).

2.2 Effets des barrages sur l'environnement et impacts potentiels

On distingue ici les effets des barrages, qui sont des conséquences invariables de leur érection sur les fleuves, et leurs impacts. Les effets des barrages sur les écosystèmes sont les mêmes, peu importe le milieu récepteur, alors que les impacts qui résultent de ces effets sont spécifiques au milieu et à sa biodiversité.

Les effets directs sont causés par le projet de barrage lui-même sur son environnement et peuvent être catégorisés en fonction de leur origine, au nombre de cinq pour la phase d'exploitation du barrage (Tableau 2.1); les phases de construction et de démantèlement ne sont pas traitées dans ce chapitre. Les effets indirects, quant à eux, sont ceux engendrés par les activités permises par l'ouvrage hydraulique. Ils ont des causes multiples et dépendent de plusieurs facteurs, explicités en 2.2.5.

Tableau 2.1 – Effets de la phase d’exploitation d’un gros barrage, source d’impacts sur la biodiversité

Type d’impact	Origine de l’effet	Exemples d’effet
Directs	(i) Modifications à l’habitat	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Lotique à lenticque ➤ Ennoiement des habitats en amont du barrage ➤ Réduction du débit du fleuve ➤ Accumulation des sédiments dans le bassin ➤ Refoulement des sédiments vers l’aval
	(ii) Invasion par des espèces exotiques	
	(iii) fragmentation et isolement	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Barrière à la circulation des poissons ➤ Isolement génétique d’espèces aquatiques ➤ Obstacle à la migration des espèces aquatiques
	(iv) mort des individus, extraction ou déplacement d’espèces	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Piégeage et mort des poissons dans les turbines
	(v) pollution de l’eau	
Indirects	Changements dans la démographie, l’économie, l’utilisation des terres, etc.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Augmentation des populations en périphérie du fleuve ➤ Augmentation de la pêche dans le réservoir ➤ Intensification de l’agriculture irriguée

2.2.1 Modification à l’habitat

Un barrage est un ouvrage de régulation du débit des fleuves (McCartney, 2009; Renöfält et autres, 2010), et va donc avoir une incidence sur les milieux naturels par la modification du régime hydrologique des cours d’eau (McCartney, 2009) et des effets sur la qualité de l’eau (Dumas et autres, 2010). Ces modifications peuvent avoir de très sérieux impacts sur les populations de poissons et les communautés végétales qui vivent au sein du fleuve et de ses milieux humides (Cogels et autres, 1997).

Tout d’abord, le plus important effet de cette régulation est une réduction du débit du fleuve (McCartney, 2009; Thomas and Adams, 1999). Cette réduction résulte surtout de la mise en réserve de l’eau dans le réservoir, et de son prélèvement pour l’irrigation et la consommation (Pacini et autres, 2013; Thomas et Adams, 1999; Zahar et autres, 2008). En résultent des épisodes d’étiage plus fréquents et de plus grande amplitude (McCartney, 2009; Thomas and Adams, 1999), et une réduction de la quantité d’eau transférée entre le fleuve et sa plaine d’inondation (Pacini et autres, 2013; Renöfält et autres, 2010; Thomas et Adams, 1999). Les conséquences potentielles de ces changements comprennent entre autres l’assèchement des rivières saisonnières (Uluocha et Okeke, 2004) et donc des milieux humides en aval du barrage (McCartney, 2009; Pacini et autres, 2013; Renöfält et autres, 2010; Thomas et Adams, 1999), qui abritent une biodiversité importante et spécialisée.

Ensuite, un grand barrage est caractérisé par l'inondation des terres jusqu'à former un réservoir en amont (McCartney, 2009). Par la formation de ce réservoir, le barrage cause la conversion d'un système lotique, caractérisé par ses eaux courantes, en un système lentique caractérisé par des eaux immobiles (McCartney, 2009; (Mueller et autres, 2011). Mueller et autres (2011) ont d'ailleurs montré que les barrages ont un effet prononcé sur la structure des communautés animales et végétales des fleuves, et affectent la disponibilité des niches écologiques pour les espèces rhéophiles. Ces espèces ayant développé des adaptations leur permettant de survivre et de proliférer dans des milieux où les courants sont forts et agités, elles ne sont pas adaptées aux environnements plus calmes et au faible débit causé par la création d'un barrage. Les gros barrages sont également reconnus pour leurs impacts sur les espèces de poissons pulmonés (dipneustes) (Pacini et autres, 2013).

Certains facteurs abiotiques s'en voient donc altérés, menaçant la survie des espèces qui sont adaptées aux conditions précédant la construction du barrage. Par exemple, les réservoirs sont caractérisés par l'entreposage d'un volume relativement grand d'eau immobile qui réduit les échanges avec l'air et favorise l'accumulation de chaleur, contrairement aux systèmes lotiques. Ainsi, la formation des réservoirs en amont des barrages s'accompagne inévitablement d'un réchauffement de l'eau (Pacini et autres, 2013). Or, la température de l'eau est un facteur influant plusieurs processus écologiques des espèces aquatiques, comme le comportement alimentaire, l'assimilation de la nourriture par les tissus et la production primaire (McCartney, 2009; Pacini et autres, 2013); ce déphasage thermique de l'eau est sûr d'affecter les espèces aquatiques, adaptées à un environnement plus frais (McCartney, 2009; Pacini et autres, 2013).

En outre, on note une accumulation anormale de sédiments en amont des barrages due à la conversion des eaux courantes en système stagnant (McCartney, 2009). Les mesures de dé-sédimentation consistent généralement à lessiver les sédiments en générant un faible débit; conséquemment, le lit du fleuve ou de ses tributaires peut se remplir en aval du barrage et ainsi s'en voir rétréci (Zahar et autres, 2008), alors que plus en aval du barrage, la charge sédimentaire des eaux est réduite (McCartney, 2009; Thomas and Adams, 1999). Ce rétrécissement en réduit la capacité de rétention de l'eau et augmente les risques d'inondations lors des décharges par les barrages (Zahar et autres, 2008). Ces impacts sur l'hydrologie et la taille du lit du fleuve sont d'autant plus rapides dans les régions semi-arides, climat qui caractérise certaines portions des bassins versants de l'Afrique de l'Ouest.

Ensuite, les barrages perturbent le régime naturel des crues du fleuve (Pacini et autres, 2013; Renöfält et autres, 2010) en provoquant l'étalement et l'aplanissement, c'est-à-dire que leur amplitude est réduite (McCartney, 2009; Thomas and Adams, 1999). Or, la réduction ou la suppression des grandes crues annuelles favorise l'érosion des berges et des côtes (Zahar, 2008) qui, couplée à la réduction de l'apport sédimentaire, provoque une perte des plaines d'inondation et la dégradation des deltas et des estuaires (McCartney, 2009; Zahar, 2008). La perte de surface inondée et de la productivité de ces

milieux a des impacts directs sur les communautés de poissons, les grands mammifères et les oiseaux (CIB, 2000; Pacini et autres, 2013; Thomas and Adams, 1999). En effet, cette dégradation de la plaine alluviale compromet le succès reproducteur des espèces d'oiseaux des rivages et migratrices, qui occupent naturellement ce milieu lors de l'hivernage, ou l'utilisent comme halte migratoire (Ndiaye, 2003; Thomas et Adams, 1999). On note aussi que les conditions d'alimentation des oiseaux sont proportionnelles à la hauteur des crues. Celles-ci déterminent donc le recrutement d'oiseaux marins et de rivage en Afrique sub-tropicale (Zwarts et autres, 2005a); d'ailleurs, en période de basses-eaux, les oiseaux sont beaucoup plus vulnérables à la chasse (Zwarts et autres, 2005a). De même, on observe une dégradation des zones de frayères pour les poissons qui se traduit par une réduction de la production halieutique et de l'ichtyofaune (Sid'Ahmed, 2013).

Finalement, la construction d'un barrage peut s'accompagner d'un changement et d'une discontinuité dans la salinité de l'eau, créant un milieu très dulcicole en amont du barrage, et un autre pouvant être très salé en aval du barrage. Ces modifications peuvent gravement altérer les assemblages d'espèces et les communautés végétales et animales.

2.2.2 Invasion par des espèces

Les périodes de sécheresse typiques du climat soudano-sahélien d'Afrique occidentale limitent normalement la croissance de certaines espèces de plantes aquatiques qui ne peuvent s'adapter à de longues périodes d'insuffisance en eau. Ce facteur limitant disparaît avec la stabilisation artificielle du régime hydrique des fleuves; les écosystèmes aquatiques se font donc envahir par la végétation (Cogels et autres, 1997; Dumas et autres, 2010). De plus, ces plantes préfèrent les environnements plus dulcicoles et leur succès augmente avec la température de l'eau (Dumas et autres, 2010).

Les barrages créent donc des conditions favorables à la prolifération d'espèces végétales exotiques et envahissantes, par la réduction du niveau d'écoulement, le réchauffement local de l'eau, la diminution de la vitesse de propagation du débit (ONU, 2004) et la diminution de la salinité lorsque les barrages sont situés près de l'embouchure d'un fleuve (Dumas et autres, 2010). De plus, lors de l'inondation des terres en amont du barrage, les sols et la végétation inondés relâchent du phosphore; cet enrichissement en nutriment (McCartney, 2009), ainsi que l'absence de prédateurs naturels (Hill, 2003), contribuent également au succès de ces plantes dans les bassins ouest africains.

Les conséquences écologiques de la prolifération des espèces végétales envahissantes ne sont pas de moindre importance: elles entraînent l'asphyxie des milieux dulcicoles par le processus d'eutrophisation (UICN, 2004). De plus, ces plantes aquatiques font compétition aux espèces végétales indigènes qui se voient exclues de leur habitat naturel (Hill, 2003).

Enfin, les fleuves agissant comme couloir naturel pour la propagation des espèces flottantes, non attachées à un substrat (Hill, 2003; Pacini et autres, 2013); elles ont la possibilité de se répandre à

travers le réseau de cours d'eau et de milieux interconnectés des différents bassins versants, y compris les milieux Ramsar d'importance internationale.

2.2.3 Fragmentation et isolement

Les barrages sont une barrière qui crée une discontinuité dans le cours d'eau (Dumas et autres, 2010; Mueller et autres, 2011) et pose un obstacle aux échanges longitudinaux au sein de l'écosystème fluvial (McCartney, 2009).

Les communautés de poissons diffèrent de part et d'autre du barrage (Renöfält et autres, 2010). Par exemple, on retrouvera plus d'espèces benthivores en aval qu'en amont du barrage. La richesse spécifique et la diversité en poissons est moindre en amont qu'en aval des barrages, alors que la richesse spécifique des macrophytes semble inchangée (Mueller et autres, 2011). Cela semble suggérer que les espèces mobiles, et migratrices, sont plus affectées par les barrages que les espèces sédentaires.

De plus, certaines espèces de la faune qui habitent les fleuves tendent à chercher et utiliser différents habitats à différents moments de leur cycle de vie, comme les insectes et les mollusques. Par ailleurs, les migrations le long d'un grand cours d'eau font partie de l'histoire naturelle de plusieurs espèces animales, allant des crustacés d'eau douce jusqu'aux mammifères marins (Dudgeon et autres, 2006). Ces migrations se font au sein même du cours d'eau, ou du cours d'eau vers la mer ou un lac et vice-versa (Dudgeon et autres, 2006). Les barrages ont un impact direct sur ces espèces en interrompant la connectivité de l'écosystème linéaire, et menacent ainsi directement la survie des espèces migratrices (Pacini et autres, 2013; Renöfält et autres, 2010).

Une autre source de menace à la biodiversité tient du fait que les barrages imposent une barrière physique au déplacement des espèces (Liermann et autres, 2012). De même que les obstacles naturels tels que les rapides, les barrages créent des zones où les proies se concentrent, entraînant des changements de comportement chez les prédateurs (Ndiaye, 2003). Ils rendent également la dispersion difficile pour les espèces terrestres qui tentent de fuir les événements extrêmes et les conditions défavorables à leur survie tels que les fortes inondations (Hamadina et autres, 2007).

Enfin, cet effet de barrière des barrages peut, de la même façon, entraîner l'isolement des populations d'une même espèce et réduire les échanges génétiques. Cette réduction apparente de la taille des populations réduit la diversité génétique des espèces, leur résilience, et donc leur survie. Dans le cas des espèces en péril inscrites sur la liste rouge de l'UICN, ces impacts peuvent mener à l'extinction. Ainsi, les barrages contribuent à la réduction de l'abondance des populations de poissons et de la biodiversité aquatique en général (Liermann et autres, 2012; Pacini et autres, 2013).

2.2.4 Mort des individus

Les barrages hydroélectriques comportent des évacuateurs de crue et des turbines dans lesquelles les poissons et autres organismes aquatiques peuvent se retrouver piégés, être blessés ou mourir (Benstead et autres, 1999).

2.2.5 Pollution de l'eau

L'activité bactérienne dans les réservoirs peut mener à la transformation du mercure inorganique contenu dans les sols en méthylmercure; il s'agit de la forme organique la plus toxique du mercure, car elle affecte le système nerveux central des vertébrés et menace leur survie. De plus, de par son caractère organique, le méthylmercure est sujet à la bioaccumulation et à la bioconcentration dans la chaîne alimentaire aquatique (McCartney, 2009). Les poissons, en particulier les carnivores et les benthivores, vont donc typiquement avoir des concentrations très élevées de cette toxine dans leurs tissus, et pourraient représenter des dangers sanitaires pour les populations humaines qui dépendent de la pêche comme source principale de protéines (McCartney, 2009).

Les effets de pollution de l'eau sont cependant indirects pour la plupart, et sont traités dans la sous-section suivante.

2.2.6 Effets indirects

Les ouvrages hydrauliques vont permettre l'intensification de l'agriculture grâce à l'irrigation. Un effet indirect du développement de ces structures est donc la pollution de l'eau par les intrants agrochimiques (McCartney, 2009; Pacini et autres, 2013).

De plus, les fluctuations artificielles du débit du fleuve pourraient provoquer la désynchronisation de l'agriculture traditionnelle de décrue (Uluocha et Okeke, 2004), ce qui peut entraîner une conversion vers l'agriculture irriguée, et augmenter la dépendance des populations envers les barrages. Cette succession d'événements donne un caractère inévitable aux impacts négatifs que les ouvrages hydrauliques ont sur leur milieu récepteur.

Finalement, la création du réservoir en amont du barrage libère une nouvelle niche d'exploitation de l'écosystème par les humains; les populations s'approvisionnent en poissons dans le réservoir où la pêche est plus facile et fructueuse que dans un cours d'eau, dans des zones où la surpêche est déjà une menace à la biodiversité (voir Chapitre 1).

2.3 Barrages en Afrique de l'Ouest : les cas du Niger et du Sénégal

Avec la croissance démographique envisagée en Afrique de l'Ouest et les changements climatiques prévus par le GIEC, les populations d'Afrique de l'Ouest risquent de voir leur dépendance envers les

cours d'eau augmenter (citation svp!). Les besoins énergétiques devraient calquer la croissance, de même que les besoins alimentaires auxquels on ne pourra répondre que par une agriculture plus indépendante des conditions météorologiques, comme l'agriculture irriguée.

Pour répondre à ces besoins futurs, la construction de barrages pourrait augmenter sur les grands fleuves comme le Niger, le Sénégal et leurs tributaires. Dresser un portrait des impacts d'un projet de barrage nécessite de tenir compte des impacts qu'ont les autres structures hydrauliques au sein du même bassin.

2.3.1 Barrages existants sur le Niger et le Sénégal

Dans le bassin du Niger, il existe aujourd'hui moins de cinq barrages notables. Le barrage de Sélingué a été construit au Mali, sur le Sankarani, un tributaire du Niger au niveau de son cours supérieur, à quelques kilomètres de la frontière avec la Guinée. Il mesure 23 mètres de haut et son réservoir a une capacité d'environ 2 km³. Ce barrage est en exploitation depuis 1982 et a été conçu en vue d'alimenter les grandes villes maliennes en électricité et d'irriguer jusqu'à 60 000 hectares de terres agricoles (Zwarts et autres, 2005b).

Il existe en outre deux barrages au fil de l'eau en aval du barrage de Sélingué, soit les barrages de Markala et Sotuba, respectivement construits pour l'irrigation et pour la production d'hydroélectricité.

Dans le bassin du Sénégal, en contrepartie, il existe deux barrages majeurs, de même que quelques autres infrastructures qui peuvent avoir des effets sur l'écosystème. Le barrage Diama a été construit en 1985, à 27 kilomètres de l'embouchure du fleuve Sénégal vers l'océan Atlantique, en Mauritanie/Sénégal (Cogels et autres, 1997; Dumas et autres, 2010; Ndiaye, 2003). C'était, initialement, un ouvrage anti-sel conçu pour empêcher les intrusions d'eau salée de remonter le cours du fleuve et de contaminer la vallée (Dumas et autres, 2010; Cogels et autres, 1997). En raison des demandes croissantes en eau pour l'irrigation, sa capacité de stockage de l'eau est également mise à profit aujourd'hui; son réservoir a une capacité relativement limitée, d'environ 0,25 km³ (Dumas et autres, 2010). Durant la saison sèche, les lacs de Guiers et R'Kiz peuvent également être alimentés par l'eau retenue en amont de Diama (Ndiaye, 2003).

Le barrage de Manantali se situe quant à lui à plus de mille kilomètres de l'embouchure du Sénégal, au Mali, et il est exploité depuis 1989 (Cogels et autres, 1997; Ndiaye, 2003). Ce barrage a été érigé sur le Bafing, l'un des principaux tributaires du fleuve Sénégal (Ndiaye, 2003). C'est un ouvrage pluri-fonctions, qui avait pour rôles le contrôle des crues pour réduire les risques d'inondation et fournir de l'eau douce en périodes de sécheresse, l'approvisionnement en eau pour l'irrigation, la production d'hydroélectricité, et même le trafic fluvial (Cogels et autres, 1997). Il comporte un réservoir d'environ 12 km³, et peut produire jusqu'à 800 GwH d'électricité par année (Dumas et autres, 2010; Ndiaye, 2003).

Les barrages de Manantali et de Diama appartiennent à l'OMVS et sont gérés de façon concertée par les trois pays membres qui en profitent. Ils ont tous les deux été construits pour répondre à des besoins toujours croissants de développement, après vingt ans de sécheresse et donc dans un contexte de désertification des zones soudano-sahéliennes (Dumas et autres, 2010; Ndiaye, 2003). Ces barrages devaient représenter une réponse aux incertitudes face à la disponibilité en eau, aux besoins en eau pour l'agriculture et l'élevage, et aux besoins énergétiques des capitales (Dumas et autres, 2010). Cependant, la planification des barrages n'a pas tenu compte des prévisions démographiques. Les gestionnaires du barrage de Manantali font aujourd'hui face à des besoins conflictuels qui influencent leur mode de gestion et la balance entre la mise en réserve d'eau versus le relâchement. En effet, la production d'électricité adaptée aux besoins des capitales nécessite la mise en réserve de l'eau en amont du barrage, et le relâchement de l'eau aux heures de forte consommation d'énergie. Or, ce mode de gestion réduit grandement la capacité du fleuve à contrôler les crues (si le réservoir est plein en période de crue, il ne peut pas stocker davantage d'eau) et limiter les inondations à la fin de la saison des pluies (Dumas et autres, 2010). Ce mode de gestion est également en conflit avec les mesures de création de crues artificielles favorisant l'agriculture de décrue, et le relâchement d'eau en période de sécheresse pour maintenir un débit minimal constant (Dumas et autres, 2010).

Par contre, la Mauritanie a également instauré un barrage pour son seul intérêt sur le Gorgol, le principal affluent du cours inférieur du Sénégal, et le seul cours d'eau pérenne de la Mauritanie. Sa présence doit être prise en compte dans l'évaluation des impacts combinés de tous les barrages sur le fleuve Sénégal (voir chapitre 4).

2.3.2 Impacts des barrages sur les bassins du Niger et du Sénégal

Parmi les effets de la construction des barrages dans les bassins d'Afrique de l'Ouest, on note par exemple une prolifération de la salade d'eau (*nom latin*) qui a envahi l'écosystème du Niger intérieur suite à la construction et la mise en opération du barrage de Sélingué (UICN, 2012). Le même phénomène a été observé dans le fleuve Sénégal, où le typha (*Typha xxx*) a proliféré dans les sites Ramsar du Djouj et Diawling, étendant une « moquette géante » qui asphyxiait les milieux humides (UICN, 2004; Dumas et autres, 2010).

L'environnement créé par les barrages est aussi favorable à la croissance d'autres plantes aquatiques (*Ceratophyllum demersum*, *Potamogeton schweinfurthii*) nécessaires à la survie et la reproduction de mollusques. Parmi eux, on retrouve des escargots, hôtes intermédiaires de la maladie intestinale de la schistosomiase, aussi appelée bilharziose ou dermatite des nageurs (Cogels et autres, 1997; Dumas et autres, 2010), une maladie parasitaire due à un ver. Dans le fleuve Sénégal, certains chercheurs prétendent que l'apparition et la persistance de cette maladie est directement imputable à la construction et au *modus operandi* du barrage de Diama et de son réservoir, au Sénégal (Cogels et autres, 1997).

En outre, le barrage de Sélingué est construit si près de la source du Niger qu'il cause une réduction du débit et du niveau d'eau sur le reste du cours du fleuve. Le delta intérieur du Niger s'en est vu réduit en termes de superficie, et le niveau du lac Faguibine s'est abaissé. De même, le milieu humide du Parc national de Diawling dans le delta du fleuve Sénégal, en Mauritanie, a été grandement affecté par la mise en exploitation des barrages de Diama et Manantali, à cause de la réduction du débit et du niveau d'eau. Ce site Ramsar subissait un assèchement de plus en plus grave, avant que des mesures d'atténuation soient mises en place pour régénérer le milieu humide (Dumas et autres, 2010; OMVS, s. d.).

Enfin, sur le Sénégal, on remarque que la salinité moyenne du lac de Guiers a considérablement diminué depuis la construction du barrage de Diama vers la fin des années 1980. Cependant, l'accumulation de sel en aval du barrage a résulté en un changement draconien des milieux avec, notamment, la régression des écosystèmes de mangroves, qui n'étaient pas adaptés à de tel niveau de salinité (Dumas et autres, 2010).

Quant à eux, les barrages au fil de l'eau ont des impacts individuels minimes sur l'environnement étant donné qu'ils n'ont pas une capacité de stockage d'eau particulière, et ne modifient pas substantiellement le niveau de l'eau dans le fleuve (Zwarts et autres, 2005b). Il n'est cependant pas exclu que leurs effets combinés avec les barrages réservoirs aient des impacts importants sur la biodiversité (voir Chapitre 4).

2.3.3 Projets de barrages

Le barrage Fomi serait, pour sa part, construit en Guinée sur le Niandan, un autre tributaire du Niger, avec des objectifs de production d'électricité, d'irrigation et de contrôle des inondations. Son réservoir aurait une capacité jusqu'à trois fois supérieure à celle du Sélingué.

Dans le Delta intérieur du Niger, Zwarts et ses collaborateurs (2005a) ont décrit une zonation de la végétation selon un gradient de distance par rapport au lit du fleuve. Cette zonation est due en majeure partie aux conditions environnementales imposées par les crues, différentes plantes étant adaptées à différentes profondeurs d'eau lors des crues; la *bourgou*, par exemple, a une production optimale dans des eaux dont la profondeur excède trois mètres, alors que le riz sauvage préfère les eaux d'environ deux mètres de profondeur (Zwarts et autres, 2005b). Si le niveau d'eau est réduit dans le delta intérieur, alors la distribution et la production de ces plantes seront modifiées (Zwarts et autres, 2005a). Or, il est anticipé que le barrage de Fomi pourrait réduire l'étendue des champs de *bourgou* de 62 % par rapport à 2005, et ces pertes ne seront pas compensées par la création de nouveaux habitats humides dans le delta (Zwarts et autres, 2005a).

Le barrage Tossaye est également planifié. Il serait construit au Mali sur le Niger en amont du lac Faguibine, aurait un réservoir d'environ 4,5 km³, et permettrait de produire de l'électricité, d'irriguer

jusqu'à 830 km² de terres, et de faciliter la navigation sur le Niger (Zwarts et autres, 2005b). En plus de ces objectifs, le barrage de Tossaye devrait, grâce à son réservoir, contribuer à rehausser le niveau d'eau du lac et ainsi atténuer les impacts du barrage de Sélingué au Mali et ceux potentiels du barrage de Fomi en Guinée, résultant de la réduction du débit du fleuve.

Le projet de Kandadji est un autre gros barrage-réservoir qui serait érigé au Niger, à 61 km de la frontière malienne, afin d'alléger les incertitudes liées au manque d'eau dans ce pays semi-aride. Il remplira des objectifs de revitalisation des écosystèmes, d'approvisionnement en eau douce pour la consommation et l'irrigation et de production d'électricité. Le réservoir aurait une capacité de presque 2 km³. (HCNVD et BAD, 2008)

Dans le bassin du Sénégal, les barrages de Koukoutamba et de Boureya sont tous deux en cours de planification. Ils seraient installés sur le Bafing, en Guinée, et permettraient entre autres la production annuelle respective de 858 GWh et de 717 GWh. Cette production s'apparente à la production possible du barrage de Manantali; on devrait donc s'attendre à la même envergure d'effets potentiels à considérer dans leurs études d'impacts environnementaux. Enfin, le barrage de Gourbassi serait érigé sur la Falémé, un autre tributaire du fleuve Sénégal, à la frontière entre le Mali et le Sénégal. Il pourrait, quant à lui, permettre la production d'environ 100 GWh par an d'électricité. Grâce à ce réseau de barrages sur le bassin du Sénégal, les autorités visent à contrôler les débits du fleuve presque en totalité, et augmenter la capacité d'emmagasinage de l'eau à près de 23 milliards de mètres cube d'eau (OMVS, s. d.)

2.3.4 Mesures d'atténuation actuelles

La planification d'un projet d'une envergure telle que celle des grands barrages inclut très souvent la proposition de mesures d'atténuation qui limiteraient les impacts négatifs sur l'environnement. Il serait intéressant de voir ce qui est fait actuellement en terme de prévisions pour éviter ou minimiser les impacts des barrages, et si ces mesures ont le succès escompté ou non.

En Afrique de l'Ouest, les mesures adoptées touchent souvent les modes d'exploitation des barrages. Par exemple, afin de réduire l'incidence de la sédimentation dans les réservoirs, il est possible de procéder au lessivage du réservoir, c'est-à-dire de relâcher, à intervalles prédéterminés, des eaux fortement turbides dans le fleuve (McCartney, 2009). Cette technique n'est cependant pas sans répercussions, et pour réduire l'hyperconcentration de sédiments directement en aval du barrage, il est possible de creuser le lit du fleuve pour enlever mécaniquement une partie des sédiments. Cette méthode vise à laisser au fleuve sa capacité naturelle de contrôle des inondations, par infiltration de l'eau dans les berges et donc de pouvoir contenir plus d'eau (Zahar et autres, 2008).

Le régime de crues artificielles permet d'assurer la pérennité de l'écosystème et favorise plusieurs espèces. À titre d'exemple, à Manantali et Diama, à la suite de la dégradation prononcée des milieux

humides de Djouj et Diawling, dans le delta du fleuve Sénégal, respectivement au Sénégal et en Mauritanie, les opérateurs des barrages ont pris la décision de simuler des crues artificielles et des inondations dans les plaines afin de restaurer les milieux humides qui subissaient un assèchement (Ndiaye, 2003). Ce relâchement d'eau douce a permis de rétablir la productivité des milieux humides en aval des grands barrages (Duvail & Hamerlynck, 2003).

Les plaines inondables peuvent alors accueillir à nouveau des espèces qui nidifient dans de tels environnements, comme la grue couronnée (*Balearica pavonina*), qui repart ensuite dans les zones plus arides de l'Afrique de l'Ouest pour le reste de son cycle vital. De plus, les plaines inondables regorgent également de communautés de zooplancton qui attirent les oiseaux qui s'en nourrissent, comme les flamants, également une grande attraction touristique, et les canards souchets (*Anas clypeata*) qui recommencent à utiliser le bassin du Sénégal comme habitat d'hivernage (Duvail & Hamerlynck, 2003). L'hivernage est une période critique pour la conservation de ces espèces qui forment les couples reproducteurs à ce moment-là. Des mesures qui favorisent les espèces migratrices d'oiseaux des rivages sont donc particulièrement prisées et devraient être envisagées systématiquement dans l'élaboration d'un tel projet.

Il est également possible d'observer une augmentation des populations de phacochères et de la graminée *Sporobolus robustus*, également grâce à la restauration des crues artificielles et à la réhabilitation subséquente des écosystèmes de plaines inondables (Duvail et Hamerlynck, 2003).

Limiter la prolifération du typha en supprimant l'inondation artificielle et causer une sécheresse est une autre mesure qui a été envisagée et testée dans le bassin du Sénégal (Duvail et Hamerlynck, 2003). Elle a eu du succès; cependant, elle n'est pas adaptée lorsque le barrage poursuit des objectifs de préservation de la qualité de l'eau et de production d'électricité. Il est aussi possible de faire le nettoyage mécanique du fleuve, mais cette méthode est coûteuse en temps et en argent. L'utilisation d'herbicides n'est pas recommandée, car elle aurait des effets négatifs sur d'autres composantes de l'écosystème potentiellement plus grands que les retombées positives attendues.

Les mesures d'atténuation remplissent un rôle de prévention des impacts, le plus possible. Or, lorsque des impacts imprévus surviennent, il est nécessaire de réagir afin de limiter les dégâts, souvent par des projets de restauration. Par exemple, Mueller et ses collaborateurs (2011) mentionnent des mesures qui permettent la formation de séries d'habitats submergés peu profonds de part et d'autre des barrages, afin d'uniformiser la profondeur des habitats et de réduire la vitesse du courant, le tout afin de réhabiliter un habitat de qualité pour la faune et la flore.

Sinon, d'autres projets de restauration des plaines en aval des barrages comportent souvent l'inclusion de structures supplémentaires dans les barrages, telles que des écluses, afin de relâcher périodiquement

de l'eau douce dans l'écosystème et maintenir un apport suffisant pour rétablir l'écosystème à son état initial (Duvail and Hamerlynck, 2003).

2.4 Suivi des impacts et indicateurs de biodiversité

Malgré ces mesures d'atténuation, il a est connu que des effets néfastes importants résultent tout de même des barrages dans les bassins du Sénégal et du Niger. Or, plusieurs autres grands barrages sont prévus sur ces fleuves, et avec l'ampleur des impacts potentiels qu'ils pourraient engendrer sur la biodiversité, l'importance d'effectuer une évaluation et un suivi des impacts s'impose comme une évidence.

L'absence d'impacts documentés sur la biodiversité n'est en fait pas forcément synonyme d'une absence d'impact; elle peut aussi partiellement s'expliquer par l'absence de programmes de suivi adéquats, ceux-ci n'ayant pas été prévus dans les plans initiaux du projet de barrage. Afin de détecter, puis de suivre les impacts du projet, il est important d'identifier des indicateurs qui permettront de faire ce suivi. Ces indicateurs sont déterminés en fonction des impacts potentiels qu'auraient des barrages sur la biodiversité, ainsi que les impacts actuellement observés sur les fleuves Niger et Sénégal.

Par exemple, certaines espèces d'insectes aquatiques peuvent être utilisées comme indicateurs biologiques de la qualité de l'eau, leur présence attestant de la fonctionnalité de l'écosystème (Pacini et autres, 2013).

La continuité d'un système riverain est un critère important pour évaluer l'état d'un cours d'eau (Haguigui et autres, 2014). Or, on a vu que les barrages causent de la fragmentation et de l'isolation des populations des espèces. Cet impact peut être détecté en comparant les assemblages d'espèces dans les communautés végétales et animales de part et d'autre d'un barrage (Mueller et autres, 2011; Renöfält et autres, 2010); cela permettrait en plus d'évaluer la différence dans les facteurs abiotiques entre l'amont et l'aval du barrage. En effet, une structure hydraulique au milieu d'un fleuve pouvant créer deux milieux aux conditions différentes en amont et en aval, les espèces végétales pourraient différer entre ces deux milieux, selon leurs adaptations. Cependant, on a observé que les macrophytes présentent des communautés écologiques similaires de part et d'autre d'un barrage, alors que d'autres espèces végétales et animales diffèrent (Mueller et autres, 2011). Ils ne sont donc pas un bon indicateur des effets de fragmentation d'un barrage sur la biodiversité, et ne devraient donc pas être employés pour la détection des impacts sur la biodiversité.

De plus, les espèces animales potentiellement les plus touchées par l'instauration d'un barrage seront les espèces migratrices. Rolls et autres (2014) suggèrent de comparer les assemblages d'espèces contenant des espèces potamodromes et diadromes, c'est-à-dire qui effectuent respectivement des migrations uniquement en eau douce, ou entre l'eau douce et l'eau salée.

De plus, on a noté que les barrages affectent les plaines inondables. Or, les conditions des écosystèmes de plaine inondable sont directement reliées au maintien des populations de mammifères et d'oiseaux, qui les utilisent comme milieu reproducteur, nourricier et comme abri. Ainsi, faire le suivi des effectifs de ces population peut s'avérer être un indicateur fiable de l'efficacité des mesures d'atténuation mises en place, comme par exemple les populations de phacochères, *Phacochoerus africanus* (Duvail and Hamerlynck, 2003). Outre les populations animales, certaines espèces végétales indigènes peuvent grandement profiter des mesures d'atténuation, comme *Sporobulus robustus*, traditionnellement récolté par les femmes des villages pour la confection de tapis (Duvail and Hamerlynck, 2003), et dont le succès reproducteur est grandement altéré par la prolifération de la salade d'eau et du typha dans les fleuves Niger et Sénégal (UICN, 2012).

Enfin, étant donné que certains chercheurs ont remarqué que plusieurs espèces animales étaient en péril d'extinction suite à l'instauration de barrages sur les grands fleuves d'Afrique de l'Ouest, il est primordial d'effectuer un suivi étroit de cette biodiversité. De telles études pourraient permettre de déterminer si oui ou non les mesures d'atténuation mises en place pour les projets de barrage sont efficaces pour ralentir, voire arrêter les épisodes d'extinction des espèces (Pacini et autres, 2013).

Finalement, la présence de colonies d'oiseaux des rivages et d'oiseaux migrateurs durant la période d'hivernage est un bon indicateur de la qualité de l'environnement suivant la construction d'un ouvrage hydraulique. Entre autres mesures, il est aussi possible d'évaluer l'abondance de ces espèces, et plus particulièrement le nombre de couples reproducteurs d'oiseaux, et ce, d'une année à l'autre pour reconnaître des tendances (Duvail and Hamerlynck, 2003). La stabilisation, voire une augmentation, signifierait que les mesures d'atténuation visant à créer un environnement attirant et propice à la reproduction des oiseaux des rivages sont efficaces pour la conservation des espèces aviaires.

Utiliser des images satellites pour observer les superficies inondées de milieux humides d'intérêt (milieux Ramsar), en aval des barrages, pour voir à quel point ces superficies sont réduites/inchangées (McCartney, 2009).

En conclusion, l'introduction de barrages sur les fleuves est considérée comme une menace majeure pour la biodiversité des eaux douces (Mueller et autres, 2011), pourtant essentielle à la survie des populations. Ils sont des barrières causant une discontinuité et une perte de connectivité. Ils peuvent en outre entraîner des changements dans les processus hydrologiques, avec des impacts sur la quantité et la qualité d'habitats disponibles pour les espèces aquatiques ou riveraines, et dans les communautés. Ils ont le potentiel de provoquer la disparition de certaines espèces, représenter un obstacle au rétablissement des espèces en péril, changer les assemblages d'espèces aquatiques et réduire la diversité et la quantité d'espèces d'oiseaux des rivages et oiseaux migrateurs qui passent l'hiver en Afrique de l'Ouest. De plus, les grands barrages requièrent l'inondation de grandes superficies de

terres, parfois des terres agricoles indispensables au développement humain. Ils s'accompagnent donc aussi du déplacement de communautés vivant aux abords des fleuves sur lesquels sont installés les gros ouvrages. Les barrages à réservoirs créent en plus une étendue d'eau stagnante, propice au développement de populations d'insectes aquatiques, notamment des moustiques vecteurs de maladie (malaria, paludisme). Les barrages ont donc également un potentiel d'impacts sur la santé des communautés humaines adjacentes. Par ailleurs, Les impacts majeurs incombent principalement à l'altération du régime hydrique du fleuve et à la discontinuité créée par une barrière physique au sein d'un écosystème linéaire tel qu'un fleuve (Mueller et autres, 2011). Ces effets des barrages font de ces derniers une menace majeure pour la biodiversité, le rétablissement et même la survie de certaines espèces menacées.

Cependant, ces barrages peuvent être exploités de sorte à limiter les incidences des catastrophes naturelles liées aux extrêmes climatiques comme les inondations lors des crues ou les sécheresses, grâce aux mécanismes de régulation du débit. Ils participent aussi à l'assurance d'une sécurité alimentaire en fournissant un accès à l'eau douce aux populations d'Afrique de l'Ouest, une source d'énergie durable et une agriculture plus intensive, pour répondre à la croissance démographique.

Il est d'ailleurs possible de planifier ces gros ouvrages de sorte qu'ils aient des impacts réduits sur la biodiversité. Mais pour cela, il faut connaître les impacts potentiels des barrages sur la biodiversité, identifier des mesures d'atténuation et être en mesure de détecter le déclenchement de tels impacts ou d'impacts imprévus, pour s'y adapter. Ces conclusions justifient la nécessité d'une méthode adéquate et adaptée d'évaluation de l'impact environnemental des barrages et de l'évaluation des impacts cumulatifs, spécialement dans le contexte spécifique à l'Afrique de l'Ouest, avec les grands enjeux de gestion de l'eau et le caractère transfrontalier des impacts. Mais avant de proposer une approche, il faut étudier et connaître les cadres législatifs, réglementaires et politiques qui régissent les évaluations environnementales en Afrique occidentale.

CHAPITRE 3 - CADRE LÉGISLATIF, ADMINISTRATIF ET INSTITUTIONNEL POUR LES ÉVALUATIONS ENVIRONNEMENTALES ET LA PROTECTION DE LA BIODIVERSITÉ EN AFRIQUE DE L'OUEST – LE CAS DU FLEUVE SÉNÉGAL

Les évaluations environnementales pourraient être un outil de planification des projets de barrage. Ce chapitre établit le cadre général des évaluations de l'impact environnemental dans les pays du bassin du fleuve Sénégal. Il traite également des engagements internationaux et des dispositions légales qui visent la protection de la biodiversité. En cela, ce chapitre a pour objectif de souligner en quoi les processus nationaux diffèrent et se ressemblent. Par ailleurs, il examine si, globalement, les évaluations environnementales du bassin permettent d'atteindre les objectifs visés dans les conventions internationales et les lois nationales.

3.1 Le fleuve Sénégal et sa gestion

La gestion coopérative des ressources du fleuve Sénégal date de l'époque coloniale, alors que la France administrait l'ensemble des pays de ce bassin versant. Plusieurs organisations et comités ont été fondés et ensuite démantelés, à partir des années 1930. Puis, la période de décolonisation a commencé pour les quatre États du bassin du fleuve Sénégal. La Guinée, le Sénégal, le Mali et la Mauritanie ont obtenu leur indépendance respectivement en octobre 1958, avril, septembre et novembre 1960, ce qui a précipité l'institutionnalisation de la coopération pour la mise en valeur du fleuve.

3.1.1 Présentation de l'OMVS

L'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) a été créée en 1972; elle comprenait initialement le Mali, le Sénégal et la Mauritanie. Parmi les objectifs de l'Organisation figuraient l'accélération du développement économique des États membres et la réduction de la vulnérabilité de leurs économies respectives face aux aléas climatiques et aux facteurs externes. Les barrages hydroélectriques s'inscrivent dans ces objectifs et sont d'ailleurs l'infrastructure centrale du Schéma directeur d'aménagement (SDAGE). La Guinée s'est jointe à l'Organisation en 2006.

Le SDAGE est un document qui prévoit la gestion durable des ressources du bassin du fleuve Sénégal à des fins de développement économique et humain, ainsi que l'évaluation des impacts sur le milieu. L'OMVS espère réduire les risques de conflits liés à la gestion de l'eau et ainsi assurer une certaine stabilité dans cette zone d'Afrique de l'Ouest.

Les activités de l'OMVS sont actuellement financées en partie grâce à la vente de l'électricité produite par la centrale de Manantali aux capitales du Sénégal, de la Mauritanie et du Mali. Les quatre États membres se sont engagés dans cette organisation afin de faciliter l'administration de la ressource, et

les projets spécifiques sont financés par des organisations internationales et des institutions financières.

3.1.2 Rôles de l'OMVS dans la gestion de l'eau

La gestion des eaux et de l'environnement du fleuve Sénégal passe par la Commission Permanente des Eaux (CPE), instituée par l'OMVS pour prendre en charge les questions relatives à l'utilisation équitable de l'eau du fleuve Sénégal, ainsi que les questions relatives à la gestion des aménagements dans ce bassin. La CPE a pour rôle principal d'émettre des avis et des recommandations sur les principes et les modalités de la répartition équitable des eaux du fleuve Sénégal et de traiter les demandes d'utilisation de l'eau et les projets d'aménagement susceptibles de modifier d'une manière sensible le régime du fleuve Sénégal.

Pour ce faire, la CPE appuie ses décisions sur la Charte des eaux adoptée en 2002. Cette dernière établit un cadre pour l'évaluation des nouveaux projets liés à l'utilisation de l'eau, laquelle doit se faire selon des principes de préservation et de protection de l'environnement.

Récemment, l'OMVS s'est dotée de « l'Observatoire de l'Environnement » qui, lorsqu'il sera opérationnel, devrait permettre une meilleure gestion des flux hydriques ainsi que le suivi et le contrôle des paramètres écologiques sur l'ensemble du bassin du Sénégal. À travers cet observatoire, il serait possible d'effectuer le suivi de l'état de la biodiversité pour le fleuve. Le Haut Commissariat de l'OMVS semble être responsable des évaluations environnementales pour les projets partagés entre les différents États membres (OMVS, 2006); il n'y a cependant pas de directive pour le développement d'une étude d'impact des barrages. Pour l'évaluation des impacts du barrage de Félou, au Mali, l'OMVS a utilisé une directive de la CEDEAO (OMVS, 2006).

3.2 Caractérisation des évaluations environnementales

Dans sa définition la plus large, une évaluation environnementale est un outil de caractérisation de la composition et de l'état de l'environnement biophysique et de l'environnement humain.

Généralement, les évaluations environnementales nationales sont non seulement un outil d'aide à la décision, mais aussi un outil de planification dans le souci d'assurer la pérennité des écosystèmes pour les générations futures. Lorsqu'elles sont menées systématiquement, elles permettent de déterminer, d'atténuer et de surveiller les incidences d'un projet ou d'une activité sur l'environnement naturel et socio-économique (ACDI, 2010). En outre, en regard du statut de dépendance des États d'Afrique de l'Ouest envers l'aide financière internationale pour le développement, les évaluations environnementales nationales sont également un processus qui permet de se conformer aux normes environnementales exigées par les plus importants bailleurs de fonds.

Il existe une variété d'évaluations environnementales, lesquelles sont catégorisées entre autres selon le type d'initiative évaluée, le domaine de l'impact étudié, et l'échelle à laquelle les incidences sont analysées.

L'évaluation environnementale stratégique (ÉES) sert à évaluer les effets d'un projet de politique, de plan ou de programme sur l'environnement naturel ainsi que sur la société et l'économie. Cette dernière fait suite à la formulation de la politique, du plan ou du programme et n'inclut généralement pas d'exigence quant au suivi des impacts.

L'évaluation de l'impact environnemental (ÉIE) est un instrument de planification. Elle désigne une prévision intégrée des impacts d'un projet ou d'une activité sur les environnements biophysique et biologique, la santé humaine, le bien-être social, économique et culturel des populations. Elle est menée le plus tôt possible, dans la phase d'élaboration des projets, afin d'assurer que sa conception est respectueuse de l'environnement et d'éviter les modifications coûteuses en cours de réalisation. Elle inclut par ailleurs des mesures d'atténuation des impacts afin de réduire les incidences négatives des projets sur l'environnement. Idéalement, l'ÉIE comporte aussi des mesures de suivi des impacts afin de vérifier l'efficacité des mesures d'atténuation, ainsi que des mesures correctives si le projet s'avère avoir des incidences négatives importantes. Ainsi, l'évaluation de l'impact environnemental devrait être menée durant l'intégralité du cycle d'un projet.

Enfin, une étude régionale (ÉR) désigne un autre type d'évaluation qui a pour objectif d'évaluer le potentiel de développement d'une région, par l'examen des effets cumulatifs des différents projets de développement anticipés dans le secteur (ACÉE, 2014). Une telle étude peut tout d'abord permettre d'établir les seuils d'impacts acceptables pour une même région. C'est un outil de prévention, qui emploie une approche écosystémique afin de planifier intelligemment le développement d'un secteur géographique donné et de tenir compte de tous les effets potentiels du développement de ce secteur sur les écosystèmes. En cela, l'étude régionale va au-delà de l'étude d'impact, à l'échelle d'un projet, et elle peut être utilisée en complément de cette dernière. Idéalement, l'étude régionale devrait être effectuée préalablement à un projet, et ses résultats peuvent permettre de déterminer de l'importance des effets cumulatifs qui est requise dans la plupart des ÉIE.

3.3 Comparaison des processus d'ÉIE dans le bassin du Sénégal

Cette section présente une comparaison des processus d'évaluation environnementale des différents pays du bassin du Sénégal. On présente d'abord les exigences réglementaires des pays de l'OMVS en termes d'ÉIE, puis les exigences de leur principal bailleur de fond, la Banque Mondiale. Le tableau 3.1 offre une synthèse de cette information.

3.3.1 Cadre législatif et institutionnel au Mali

Le Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement (MEA) du Mali est responsable de la mise en œuvre de la politique environnementale. Connexe à cette politique, le décret n° 08-346/P-RM, impose la réalisation d'une étude d'impact pour tout projet de développement; les projets susceptibles de gravement porter atteinte à l'environnement sont soumis à une étude exhaustive, administrée par le MEA et gérée à travers la *Direction nationale de l'assainissement, du contrôle des pollutions et des nuisances*. (BM et CORAF/WECARD, 2012)

Ces études exhaustives doivent comprendre :

- Une description détaillée du projet à réaliser;
- Une description et une analyse détaillées de l'état du site et de son environnement naturel, socio-économique et humain;
- Une évaluation des impacts prévisibles directs et indirects à court, moyen et long terme du projet sur l'environnement naturel, socio-économique et humain;
- Une présentation des mesures envisagées pour supprimer, réduire ou compenser les conséquences dommageables du projet sur l'environnement;
- Les résultats de la consultation publique;
- Le programme de suivi et de surveillance de l'environnement.

Pour tous les projets soumis à l'ÉIE, le Ministre chargé de l'environnement doit délivrer un permis qui autorise l'exécution des travaux, s'il est d'avis que les effets sont peu importants ou importants mais justifiés. Il est donc primordial que l'étude des impacts soit juste, complète et précise pour que le Ministre puisse se faire une opinion informée sur la nature des impacts.

Dans les exigences réglementaires du contenu des ÉIE, il n'est pas fait mention de l'évaluation des impacts transfrontaliers des projets de développement et il n'existe pas de disposition visant spécifiquement la protection et la conservation de la biodiversité.

3.3.2 Cadre législatif et institutionnel au Sénégal

Au Sénégal, le ministère chargé de l'environnement et de la protection de la nature (MEPN) est responsable de la politique du gouvernement en matière d'environnement. C'est cependant la Direction de l'Environnement et des Établissements Classés (DEÉC) qui est chargée de l'application de cette politique, et qui veille notamment à la mise en œuvre et au respect des dispositions relatives aux évaluations environnementales (MATCL, n.a.). Pour cela, la DEÉC prépare les avis résultant des études d'impacts, afin d'informer le Ministère chargé de l'environnement à qui revient la décision de délivrer ou non l'autorisation nécessaire pour entamer un projet de développement (MATCL, n.a.).

Sont soumis à une évaluation environnementale tous les projets de développement ou activités susceptibles de porter atteinte à l'environnement (BM et CORAF/WECARD, 2012). Ce code (*Loi n°2001-01 du 15 janvier 2001*) fait de l'ÉE un des outils d'aide à la décision pour les autorités compétentes chargées de l'environnement. Le *décret n°2001-282 du 22 avril 2001* est un outil de mise en œuvre de la loi, qui impose l'ÉIE préalablement à la réalisation d'un projet et détermine la procédure à suivre et le contenu de l'ÉIE. Les projets sont catégorisés selon l'importance des impacts potentiels sur l'environnement (BM et CORAF/WECARD, 2012). Pour les projets susceptibles d'avoir des impacts significatifs sur l'environnement, l'ÉIE permet d'intégrer les considérations environnementales dans l'analyse économique et financière du projet, et l'ÉE sera approfondie. Le Ministère chargé de l'environnement au Sénégal doit aussi, selon l'article L 48 du Code de l'Environnement, informer et consulter les gouvernements des pays voisins de tout projet susceptible d'engendrer des impacts transfrontaliers (MATCL, n.a.).

Le Code de l'Environnement est complété par cinq arrêtés, dont ceux pour les termes de référence des ÉIE, les conditions de délivrance de l'Agrément pour l'exercice des activités relatives aux ÉIE, et le contenu du rapport de l'ÉIE.

L'arrêté ministériel n° 9472 (2001), portant sur le contenu du rapport de l'ÉIE, exige :

- La description et la collecte de donnée sur les composantes de l'environnement du site, incluant la flore et la faune;
- L'identification des impacts, positifs et négatifs, directs, indirects et cumulatifs, du projet proposé sur ces composantes de l'environnement;
- L'identification et la description de mesures préventives de contrôle, de suppression, d'atténuation et de compensation des impacts négatifs;
- Un plan de surveillance et de suivi de l'environnement pour pallier aux insuffisances en matière de connaissance et d'incertitudes quant aux impacts potentiels du projet.

On remarque que cet arrêté ministériel mentionne la biodiversité comme une des composantes de l'environnement à part entière dans le processus d'évaluation environnementale. De plus, il fait état d'une hiérarchie d'atténuation, préférant la suppression et l'atténuation des impacts à la compensation, et exige la considération des impacts cumulatifs dans le rapport d'ÉIE.

3.3.3 Cadre législatif et institutionnel en Mauritanie

En Mauritanie, le Secrétariat d'État à l'Environnement est responsable de la gestion des questions environnementales. Il veille notamment à l'application de la *Loi portant sur le Code de l'Environnement*. Entre autre, cet organe est responsable de la mise en œuvre du décret n° 094/2004 relatif à l'Étude d'Impact Environnemental. Il est également responsable de l'harmonisation des différentes dispositions légales en ce qui a trait aux évaluations environnementales. Par exemple, les

projets miniers en Mauritanie nécessitent l'appui financier de bailleurs de fonds comme la Banque Mondiale, soutien qui n'est garanti que par l'adoption de mesures de suivi environnemental et social qui doivent être coordonnées avec les exigences nationales.

Le décret n° 094/2004 relatif à l'ÉIE établit le processus d'évaluation des impacts, ainsi qu'une liste des travaux et activités qui doivent être assujettis à une évaluation environnementale. Les projets de barrages sur les grands fleuves font partie de la catégorie A, soit les activités susceptibles d'avoir des impacts significatifs directs ou indirects sur l'environnement.

Selon le décret, le rapport d'ÉIE doit comprendre :

- L'analyse de l'état initial du milieu et de l'environnement;
- L'analyse des impacts directs et indirects sur le site et son environnement;
- L'indication des risques éventuels pour l'environnement hors du territoire national;
- L'indication des lacunes relatives aux connaissances;
- Le plan de gestion environnementale;
- Un résumé destiné au public et aux décideurs.

Le rapport, une fois terminé, doit être remis au ministre compétent à qui revient la décision d'autoriser ou non la réalisation du projet ou de l'activité.

3.3.4 Cadre législatif et institutionnel en Guinée

La protection de l'environnement en Guinée s'appuie sur un certain nombre d'institutions. Le ministère de l'Environnement, Eaux et Forêts assure la conception, l'élaboration et la mise en œuvre de la politique du gouvernement dans les domaines de la sauvegarde et de la gestion rationnelle des ressources naturelles renouvelables ainsi que de l'amélioration de la qualité de vie. En son sein, on trouve le Bureau Guinéen d'Étude et d'Évaluation Environnementale (BGEEE) qui assure la mise en œuvre de la procédure d'évaluation environnementale.

Les principaux textes législatifs et juridiques en matière environnementale sont les suivants :

- L'ordonnance n°045/PRG/87, du 18 mai 1987, sur le code de la protection de la nature et de la mise en valeur de l'environnement, dont un chapitre est consacré à la faune et à la flore (article 48 - 57) qui décrit le contenu exigé dans le rapport d'ÉIE;
- La loi L/97/038/AN, adoptant et promulguant le Code de protection de la faune sauvage et la réglementation de la chasse, du 09 décembre 1997, visant à assurer la protection et la gestion de la faune sauvage à travers quatre actions prioritaires : (i) la conservation et la valorisation des espèces animales et leurs habitats, (ii) la réglementation des activités cynégétiques, (iii) la protection des milieux et des espèces et (iv) la réglementation de la chasse;
- Décret D/89/199/PRG/SGG du 8 novembre 1989 réglementant les études d'impact;

Le rapport d'ÉIE remis à l'autorité ministérielle chargée de l'environnement doit contenir :

- L'analyse de l'état initial du site et de son environnement;
- L'évaluation des conséquences prévisibles de la mise en œuvre du projet sur le site et son environnement naturel et humain;
- L'énoncé des mesures envisagées par le pétitionnaire pour supprimer, réduire et compenser si possible les conséquences dommageables du projet sur l'environnement et l'estimation des dépenses correspondantes;
- La présentation des autres solutions possibles et raisons pour lesquelles, du point de vue de la protection de l'environnement, le projet présenté a été retenu.

3.3.5 Cadre administratif de la Banque Mondiale

En Afrique de l'Ouest, il existe une dépendance importante envers l'aide internationale pour le développement. Les bailleurs de fonds accordant des fonds aux projets ayant été les mieux évalués sur les plans économique, social et environnemental, il n'est pas rare que les politiques d'évaluation environnementale nationale tentent de s'harmoniser avec les directives et les exigences de ces bailleurs de fonds. De cette façon, les pays et les promoteurs maximisent leur engagement afin d'obtenir les sommes requises et favorisent le maintien de la collaboration entre les différentes parties prenantes.

Un des bailleurs de fonds les plus exigeants est la Banque Mondiale. Elle agit dans le respect de politiques de sauvegarde environnementale et sociale, qui régissent l'octroi de financement pour les projets de développement dans le but de protéger l'environnement et la société contre les effets négatifs potentiels de ces projets. Les politiques opérationnelles (PO) de la Banque Mondiale, pertinentes à la conservation de la biodiversité dans les projets de grands barrages sont : PO 4.01 Évaluation environnementale; PO 4.04 Habitats Naturels; PO 7.50 Projets relatifs aux voies d'eau internationales. (BM et CORAF/WECARD, 2012)

En vertu de la PO 4.01 relative aux évaluations environnementales, la BM exige que les projets qui lui sont proposés en vue d'un financement soient soumis à une évaluation environnementale, afin d'évaluer leurs viabilité écologique et d'améliorer ainsi la prise de décision. Le processus administré par la BM permet entre autres de tenir compte des résultats des évaluations environnementales nationales, du cadre politique et législatif de l'État concerné et de ses capacités institutionnelles liées à l'environnement. Ce dernier élément est essentiel dans le cas où des mesures d'atténuation sont exigées; il faut que le pays ait la capacité d'imposer la mise en œuvre de ces mesures et, si le promoteur ne les applique pas, d'imposer des sanctions. La BM tente par ailleurs, à travers ses conditions de financement et ses processus d'évaluation, de respecter les exigences stipulées dans les accords et traités internationaux auquel le pays souscrit.

La BM peut choisir parmi une gamme d'instruments d'évaluation, notamment l'ÉIE, ou encore les évaluations environnementales régionales ou sectorielles. À la suite d'un examen environnemental préalable à un projet soumis à une demande de financement, la BM catégorise ce dernier selon son type, sa localisation, sa vulnérabilité et son échelle, ainsi que la nature et l'ampleur des impacts environnementaux potentiels.

Les projets de gros barrages sur les fleuves transfrontaliers sont catégorisés A, comme tout autre « projet susceptible d'avoir des incidences négatives importantes sur l'environnement qui sont perceptibles, diversifiées, ou sans précédent et qui peuvent toucher une région plus vaste que les sites ou les installations qui font l'objet des travaux ».

Pour les projets de la catégorie A, la BM exige que l'emprunteur consulte les groupes touchés par le projet, ainsi que les organisations non gouvernementales (ONG), au moins deux fois, notamment lors de la remise du rapport final d'ÉIE. Le promoteur doit aussi fournir des plans de surveillance environnementale, d'inspection et de gestion des mesures d'atténuation comme partie intégrante du plan de tout projet, avant de se voir accorder un financement.

D'après la PO 4.04 relative aux Habitats Naturels, la BM considère que les zones d'intérêt écologique sont les cours d'eau, les milieux humides, les forêts, les prairies, et les autres habitats naturels retrouvés dans les parcs, les réserves, etc.

3.3.6 Synthèse et comparaison des processus

Premièrement, les ÉIE suivent une méthode qui étudie les effets directs des projets sur leur environnement. Cependant, outre les impacts engendrés par les composantes d'un projet, celui-ci va aussi indirectement affecter la biodiversité en favorisant ou permettant d'autres activités qui auront, elles aussi, des impacts (OMVS, 2006). L'analyse des impacts indirects est requise au Mali, au Sénégal et en Mauritanie, mais ne l'est ni en Guinée, ni pour la BM (Tableau 3.1).

Ensuite, il n'est précisé ni pour le Mali, la Mauritanie ou la Guinée, s'il est requis de considérer les impacts cumulés dans le rapport d'évaluation environnementale (Tableau 3.1), c'est-à-dire qu'il n'est pas requis de tenir compte de l'interaction et de la combinaison des effets du projet de barrage avec les effets des autres barrages sur le même fleuve, ou dans le même bassin versant.

Enfin, en ce qui concerne les mesures d'atténuation, le Sénégal et la Guinée accordent une importance à la hiérarchisation des méthodes. C'est-à-dire que, dans le plan d'atténuation, le promoteur devrait considérer tout d'abord des façons d'éviter ou de supprimer les impacts négatifs importants sur l'environnement, puis instaurer des mesures de réduction ou minimisation des impacts. Pour les impacts qui n'ont pu être ni supprimés, ni réduits, la compensation devrait être considérée et incluse dans l'évaluation économique du projet. Cette séquence de priorisation est un outil qui a prouvé son

efficacité dans la gestion des impacts négatifs des projets sur l'environnement. Elle permet en effet de tenir compte des solutions les plus économiques pour éviter et réduire les effets néfastes d'un projet, et ainsi d'éviter les mesures correctives coûteuses lors de la réalisation du projet.

Ainsi, on remarque que les processus d'évaluation environnementale dans les quatre États du bassin du Sénégal sont décrits de façon sommaire dans les lois, les décrets et les arrêtés, et que leurs exigences sont sensiblement les mêmes d'un pays à l'autre tout en s'harmonisant avec les exigences de la Banque Mondiale. On estime donc que les exigences en matière d'ÉIE pour l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest peuvent être représentées par celles du bassin versant du fleuve Sénégal.

Tableau 3.1 – Comparaison des processus d'ÉE et de la prise en charge des impacts sur la biodiversité dans le bassin du fleuve Sénégal

	Mali	Sénégal	Mauritanie	Guinée	Banque Mondiale
Impacts indirects pris en compte	Oui	Oui	Oui	Non précisé	Non précisé
Impacts cumulatifs pris en compte	Non précisé	Oui	Non précisé	Non précisé	Non précisé
Impacts transfrontaliers pris en compte	Non précisé	Obligation de notifier	Oui	Non précisé	Oui – PO 7.50 Projets relatifs aux voies d'eau internationales
Hierarchie d'atténuation des impacts néfastes	Non	Oui – Contrôle, suppression, atténuation, compensation	Non	Oui – Suppression, réduction, et compensation (si possible)	Non
Programme de suivi environnemental requis	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Autorisation gouvernementale requise	Oui	Oui	Oui	Oui	

3.4 Engagements internationaux et cadre législatif pour la conservation de la biodiversité dans le bassin du Sénégal

Les États du bassin du Sénégal sont signataires de plusieurs conventions internationales visant spécifiquement la protection de la biodiversité et de certains écosystèmes d'intérêt particulier. En ratifiant ces conventions, les États membres s'engagent à atteindre des objectifs de préservation des milieux naturels et de la biodiversité.

3.4.1 Convention sur la diversité biologique

La Convention sur la diversité biologique a été négociée en 1992 lors du sommet de Rio de Janeiro sur l'environnement et le développement. En réponse à ce qui est communément appelé la sixième période d'extinctions massives, engendrée principalement par les activités anthropiques, cette convention a pour objectif la conservation de la diversité biologique et l'utilisation durable de ses éléments. En 2010, pour l'année de la diversité biologique, le SCDB a créé un programme multilatéral sur l'utilisation de la biodiversité afin de réduire la pauvreté mondiale, en l'occurrence l'un des objectifs de développement du Millénaire (ODM). Le SCDB gère aussi un programme spécifique sur la biodiversité des eaux continentales, précisément le sujet touché par le présent document.

La CDB encourage les parties contractantes à prendre des mesures de conservation de la faune et de la flore sur leur territoire, en fonction de leurs moyens et toujours à l'intérieur de leurs cadres législatifs en matière d'environnement. Elle encourage également les parties contractantes à utiliser des outils d'évaluation de l'impact environnemental, ciblés sur les impacts sur la diversité biologique et qui empêcheraient son utilisation durable et ce, lorsque le gouvernement entreprend un projet potentiellement nuisible à celle-ci.

Lors de la ratification de la CDB, les parties contractantes se sont engagées, en fonction des conditions et des moyens qui leur sont propres, à élaborer des stratégies, des plans ou des programmes nationaux pour assurer la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique. Dans la mesure du possible, les mesures énoncées dans ces stratégies doivent être mises en œuvre dans le processus décisionnel national (SCDB, 2014); les évaluations environnementales des projets de barrage dans la vallée du Sénégal sont donc directement visées par cette initiative.

La Mauritanie a soumis la seconde version de son plan national pour la conservation de la biodiversité (SPANDB) en novembre 2014. Le Mali a soumis le sien en août 2006, et une ébauche du plan sénégalais est également disponible.

Basée sur ces publications, les SPANDB exposent des actions réalisables afin de préserver les habitats naturels et d'éviter la destruction des écosystèmes fragiles, comme les milieux humides. De par leur participation à ces différentes conventions, ces pays s'engagent à prendre des mesures qui aboutiront à

la conservation, voire à l'augmentation de la biodiversité ainsi qu'à la mise en valeur des écosystèmes pour soutenir le développement.

L'article 14 de la CDB, concernant les études d'impact et la réduction des effets nocifs, engage les pays membres à adopter des procédures permettant d'exiger l'évaluation des impacts, en vue d'éviter ou de réduire au minimum les effets nuisibles à la diversité biologique. Par ailleurs, elle encourage la prise en compte des impacts transfrontaliers, ainsi que la notification aux États pouvant souffrir de ces impacts néfastes dus à la réalisation d'un projet.

3.4.2 Convention de Ramsar

Cette convention est le plus ancien accord international concernant l'environnement : elle a été adoptée à Ramsar en 1971, après avoir été négociée durant une dizaine d'années par des gouvernements, des spécialistes en milieux humides et des organisations non-gouvernementales (ONG).

Les parties contractantes à cette convention s'engagent à promouvoir l'utilisation rationnelle des zones humides sur leur territoire, à coopérer sur le plan mondial pour la conservation des zones humides transfrontalières partagées ainsi que des espèces partagées; elles s'engagent en outre à monter une liste des milieux humides d'importance internationale. La convention entend, par là, toute zone humide d'importance significative pour la conservation de la biodiversité (zone d'hivernage pour les oiseaux, pouponnière à poissons, etc.); cet engagement de coopération s'applique également au niveau social et économique pour les populations. Aujourd'hui, la convention compte 160 pays membres, et dénombre plus de deux mille sites Ramsar.

La conservation des milieux humides sous la convention de Ramsar se fait en coopération avec des organismes chargés de la protection des oiseaux d'eau et des oiseaux migrateurs.

Le Sénégal, la Mauritanie et le Mali sont tous trois des signataires de la Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale. Ensemble, les trois États ont inscrit six milieux humides appartenant au bassin du fleuve Sénégal sur l'inventaire de Ramsar, reconnaissant non seulement leur importance pour la biodiversité, mais aussi pour les populations humaines locales.

3.4.3 Convention de Bonn

La convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage, ou convention de Bonn (CMS, de l'anglais *Convention of Migratory Species*), est un accord international qui a été signé en 1979.

Cette convention vise la protection des espèces animales migratrices et elle engage les parties contractantes à prendre les mesures nécessaires pour conserver ces espèces et leur habitat, en se

souciant particulièrement des espèces menacées. Les parties peuvent atteindre ces objectifs par plusieurs mécanismes, dont la prise de mesures de conservation *in situ* pour les espèces migratrices en danger d'extinction et l'établissement d'accords internationaux pour la protection et la gestion des autres espèces migratrices.

Cette convention possède une clause de coopération internationale pour la conservation de la faune et de la flore et plus particulièrement de la diversité biologique des fleuves et de leurs milieux humides associés. Elle devrait donc être prise en considération lors de l'analyse du cadre réglementaire régissant les évaluations d'impact environnemental et en particulier de la prise en charge des impacts sur la biodiversité.

Le Sénégal, la Mauritanie et le Mali sont tous trois des parties contractantes de cette convention. Le Sénégal est signataire de cinq Memoranda d'entente, notamment ceux pour les tortues de l'Atlantique, la paruline aquatique, l'éléphant d'Afrique de l'Ouest, les oiseaux de proie et les requins.

Cependant, les rapports nationaux de 2011 du Sénégal et de la Mauritanie pour la CMS déclarent que les politiques gouvernementales et les plans d'action ne tiennent pas compte des espèces migratrices dans la planification des barrages. En 2014, le Mali a produit un rapport dans lequel l'État affirme tenir compte des considérations de conservation de la faune migratrice dans la planification de ses barrages.

Selon la résolution 7.2 de la CMS, l'accent a été mis sur l'importance de l'ÉIE afin d'éviter que toute espèce migratrice soit menacée. Elle exhorte également les États membres à prendre en considération les effets impliquant une contrainte sérieuse envers la migration, les effets transfrontaliers sur les espèces migratrices, ainsi que les impacts sur les schémas et les aires de migration. (CMS, 2002)

3.4.4 Cadre législatif pour la conservation de la biodiversité dans le bassin du Sénégal

Il existe très peu d'assises légales pour appuyer la protection de la biodiversité dans le bassin du Sénégal, puisqu'on ne connaît aucune loi visant strictement la conservation ou la protection d'espèces en péril au Sénégal, au Mali ou en Mauritanie, ce qui pourrait aider à expliquer le peu d'importance accordée à ce domaine lors des évaluations environnementales comme celle pour le barrage de Félou au Mali (OMVS, 2006b).

Cependant, au Mali, il existe plusieurs politiques nationales visant la conservation de la biodiversité, dont la politique nationale des zones humides (PNZH) qui met l'accent sur la faune aviaire et la flore aquatique. Il existe aussi la stratégie nationale d'utilisation et de conservation de la biodiversité biologique, qui tente d'établir un cadre pour la conservation des plantes locales cultivées et des races d'animaux menacées de disparition.

Par ailleurs, au Sénégal, le Ministre de l'Environnement et du Développement durable compte dans son mandat la préservation de la faune et de la flore; il doit aussi protéger les cours d'eau contre l'invasion par les plantes aquatiques. Dans le meilleur des mondes, ces obligations seraient prises en considération lors de la décision de délivrer l'autorisation pour les projets de barrage, puisque c'est le même ministre qui délivre les autorisations nécessaires à la réalisation des projets de barrages sur le fleuve Sénégal.

3.5 Analyse de la prise en charge de la biodiversité dans les ÉIE dans le bassin du Sénégal

Lorsque les barrages sont construits sans évaluation d'impact préalable, les projets montrent une très faible planification, un mauvais contrôle des impacts négatifs et des effets désastreux sur les écosystèmes (Pacini et autres, 2013); la nécessité d'une planification adéquate des projets de barrages n'est donc plus à démontrer.

Tout d'abord, il n'est fait mention de la biodiversité, dans la panoplie d'outils légaux pour les évaluations environnementales, que dans le processus du Sénégal. Cette absence peut s'avérer désavantageuse pour la considération de la biodiversité dans les évaluations environnementales. Les impacts sur les espèces en péril, les plus vulnérables aux changements dans leur milieu et, plus particulièrement, à la perte de leur habitat, pourraient ne pas être considérés dans l'étude. Les espèces aquatiques migratrices, particulièrement susceptibles d'être affectées par un gros projet de barrage, pourraient être ignorées lors de l'analyse des impacts. La perte de biodiversité due à l'invasion du cours d'eau par des espèces aquatiques pourrait ne pas être atténuée, tout comme les autres impacts non analysés.

En outre, l'ÉIE est une méthode qui ne tient généralement compte que des impacts des composantes du projet évalué sur son environnement immédiat. Dans le cas des impacts à la biodiversité, une évaluation segmentée des effets individuels du projet sur chaque espèce présente serait trop restrictive et ne tiendrait pas compte des interactions entre les espèces et avec le milieu naturel. Une telle approche ne montre donc pas le fonctionnement de l'écosystème, ni dans quelle mesure ce dernier est affecté par un projet. De plus, d'après Pacini et autres (2013), l'absence d'évaluation des impacts cumulatifs peut s'avérer très dangereuse dans le cas des projets de barrage, et engendrerait une analyse biaisée et incomplète.

Les pays du bassin du Sénégal, et plus généralement en Afrique de l'Ouest, sont fortement interdépendants pour ce qui est de l'eau, les bassins fluviaux étant partagés entre plusieurs espaces politiques (UICN, 2004). Le niveau et la qualité de l'eau dans les fleuves, la biodiversité qui s'y trouve et s'y déplace, ont une incidence importante sur les populations. Cela accentue l'interdépendance des États en aval des fleuves par rapport aux États en amont (UICN, 2004). C'est pourquoi, dans le contexte transfrontalier et pour la prise en compte des impacts sur la biodiversité, on préconise

l'approche écosystémique, l'évaluation et des actions à l'échelle du bassin versant pour avoir une influence positive sur le statut de la biodiversité (Dudgeon et autres, 2006), plutôt qu'une gestion principalement *in situ*, qui n'est pas adaptée aux écosystèmes fluviaux. Les processus d'évaluation environnementale étudiés indiquent d'ailleurs une obligation de notifier le pays dans lequel de tels impacts pourraient se produire, bien qu'ils ne requièrent pas leur prise en charge.

Finalement, les dispositions légales et réglementaires ne sont pas toujours respectées par les promoteurs de projets (BM et CORAF/WECARD, 2012), et aucune sanction n'est imposée aux contrevenants, apportant un levier de faible poids pour inciter les promoteurs à entreprendre des mesures de conservation (BM et CORAF/WECARD, 2012). Par ailleurs, la faiblesse globale dans l'application des politiques et des législations de protection des espèces et des écosystèmes abritant une riche biodiversité paraît évidente. Cette lacune mène, depuis des décennies, à la dégradation des milieux naturels, surtout des zones humides du bassin du Sénégal (OMVS, 2013). La BM s'est d'ailleurs retirée, il y a plusieurs dizaines d'années, des projets de barrages en Afrique occidentale, à cause des impacts environnementaux et sociaux jugés beaucoup trop grands.

En conclusion, nous avons vu que l'évaluation environnementale est un outil général de planification reconnu pour la prise en charge des impacts des projets sur leur environnement immédiat. Par ailleurs, nous avons établi que les États du bassin du Sénégal ont ratifié des conventions internationales traitant de la conservation de la biodiversité et des écosystèmes d'intérêt leur conférant des obligations de prise en charge de ces impacts. Or, l'approche d'ÉIE n'est pas adéquate pour la prise en compte des impacts des barrages sur la biodiversité au niveau requis par ces conventions, d'où l'intérêt de développer une approche d'ÉIE qui serait adaptée à de telles considérations.

Le cadre général des ÉIE du bassin du Sénégal peut donc servir de base à la proposition d'une approche d'évaluation environnementale permettant non seulement une analyse complète et exhaustive des impacts, mais aussi des mesures d'atténuation adaptées et efficaces ainsi qu'une surveillance environnementale ciblée, ce qui fait l'objet du prochain chapitre.

CHAPITRE 4 - APPROCHE D'ÉVALUATION DES IMPACTS SUR LA BIODIVERSITÉ DES BARRAGES SUR LES FLEUVES TRANSFRONTALIERS D'AFRIQUE DE L'OUEST

Dans les chapitres précédents, on a décrit les bassins du Niger et du Sénégal, leur biodiversité et la dynamique des fleuves; on a ensuite analysé et répertorié les impacts connus des barrages sur la biodiversité, et fait des renvois à ce qui avait pu être observé ou non sur les fleuves Niger et Sénégal. Le troisième chapitre traitait des évaluations environnementales dans le bassin du Sénégal, de même que des engagements internationaux et des dispositions légales pour la protection de la biodiversité dans les États du bassin.

Ce dernier chapitre a pour objectif de proposer une approche d'étude d'impact sur la biodiversité (ÉIB), qui considère adéquatement les impacts sur la biodiversité des projets de gros barrages sur les fleuves transfrontaliers en Afrique de l'Ouest. Les pratiques exemplaires et les objectifs de conservation préconisés dans les conventions internationales sur la biodiversité servent de base à cette proposition. L'intégration et les recommandations qui en découlent sont appuyées par des faits ou des consensus scientifiques et sont associés à chaque étape d'une ÉIE standard, selon les grandes parties que le rapport devrait contenir.

4.1 Des conventions internationales pour la biodiversité et la gestion des impacts

Plusieurs conventions internationales peuvent servir de balises à l'étude d'impact environnemental pour des projets de barrage avec un potentiel d'impacts transfrontaliers.

4.1.1 Conservation de la biodiversité et des milieux naturels

Les conventions qui s'intéressent à la protection et à la conservation des différentes espèces associées aux fleuves et aux milieux humides à l'échelle mondiale ont été signées par tous les États d'Afrique de l'Ouest qui partagent une vision commune de ce à quoi la communauté internationale devrait aspirer en termes de conservation de la biodiversité, incluant les États du bassin du Sénégal. Les valeurs véhiculées par ces conventions, de même que leurs objectifs et leurs principes directeurs, sont déjà entérinés par les pays concernés par cet essai, et peuvent donc servir de base à l'évaluation des impacts à la biodiversité en ce qui a trait aux projets de développement.

Plus précisément, la CDB fournit des principes sur lesquels toute ÉIE devrait s'appuyer afin d'évaluer les impacts sur la biodiversité, qui ont été développés en collaboration avec les bureaux de la Convention de Ramsar, et la CMS. Ces principes visent notamment l'atteinte d'un des trois objectifs principaux de la CBD, soit la conservation de la biodiversité (CEA, 2006) :

- La diversité des écosystèmes, des espèces et génétique est conservée durablement. La priorité est donnée à la protection des écosystèmes menacés, en déclin ou endémiques, des milieux qui jouent un rôle essentiel à la provision de services écosystémiques, des habitats uniques, des espèces endémiques, menacées ou en voie de disparition.
- Parfois, la biodiversité est irremplaçable, par exemple une espèce ou un habitat qui est unique et ne peut être retrouvé nulle part ailleurs. Il faut donc conserver et protéger ces espèces et ces milieux qui ne peuvent pas être recréés, et dont la valeur future est inconnue.
- Les habitats jouant un rôle essentiel de support dans le cycle vital d'espèces migratrices.
- Les opportunités d'augmenter la biodiversité à travers la restauration, la création ou la réhabilitation de milieux naturels sont saisies. Les impacts néfastes qui ne peuvent pas être évités sont compensés entièrement, afin qu'il n'y ait pas de perte nette des fonctions de la biodiversité.

De plus, la CEDEAO, avec l'appui de l'UICN, a développé des lignes directrices pour le développement d'infrastructures hydrauliques durables en Afrique de l'Ouest. Ces recommandations ont été formulées par une commission d'experts indépendants, et s'inscrivent dans six axes majeurs guidant le développement des grands barrages dans cette région du continent. Les pratiques exemplaires proposées ici pour la prise en compte de la biodiversité dans les ÉIE des gros barrages sur les fleuves transfrontaliers d'Afrique de l'Ouest s'inspirent de ces lignes directrices et s'inscrivent dans ces axes (UICN-PACO, 2012) :

1. Affirmer le rôle majeur des organisations de bassins dans le développement et la mise en œuvre des projets à caractères transfrontaliers.
2. Intégrer les populations affectées comme acteurs, partenaires et bénéficiaires du projet.
3. S'assurer que les différents acteurs du développement des projets jouent leurs rôles respectifs.
4. Évaluer et optimiser la rentabilité des grands ouvrages hydrauliques en Afrique de l'Ouest.
5. Capitaliser et échanger les expériences existantes dans le cadre de la CEDEAO.
6. Adopter un cadre de référence régional pour la conduite des évaluations environnementales et sociales et assurer la mise en œuvre effective des plans associés.

4.1.2 Gestion des impacts transfrontaliers

Bien que les pays d'Afrique de l'Ouest n'aient pas signé la Convention d'Espoo, aussi appelée Convention sur l'évaluation de l'impact sur l'environnement dans un contexte transfrontière, les pratiques exemplaires présentées dans le texte de la convention peuvent être utilisées pour tous les projets avec un potentiel d'impacts transfrontaliers. En l'occurrence, l'importance de gérer les impacts dans certains sites, désignés pour leur importance internationale, est réitérée : les milieux Ramsar, les parcs nationaux, les réserves naturelles et tout autre milieu présentant un intérêt écologique particulier sont considérés comme étant particulièrement sensibles, et méritent une attention spéciale, surtout s'ils

se retrouvent à l'extérieur des frontières du pays où est érigé le barrage. De même, la Convention d'Espoo suggère de gérer avec minutie les impacts sur la biodiversité d'importance internationale, comme les espèces en péril de l'UICN et les espèces migratrices incluses aux appendices de la CMS.

En suivant cet ordre d'idée, lors du développement de l'ÉIB, les gouvernements des pays transfrontaliers au projet et les secrétariats des conventions internationales (CDB, CMS, Ramsar, UICN) devraient être consultés, afin qu'ils puissent contribuer aux différentes sections de l'ÉIB. Cela remplirait, premièrement, l'obligation de notifier les États voisins de la possibilité d'un impact transfrontalier. Deuxièmement, cette consultation fournirait aux gouvernements et aux autres parties prenantes l'occasion d'exprimer leurs inquiétudes quant aux impacts du projet, et de formuler des recommandations en lien avec leurs mandats, principalement s'il y a un risque d'impact transfrontalier important.

4.2 Structure du rapport d'ÉIE

Toute ÉIE pour les projets de barrages en Afrique de l'Ouest devrait contenir : la description du site et de ses conditions environnementales initiales, la description du projet et de ses composantes pouvant affecter le milieu menant à l'identification des impacts potentiels du projet, l'identification des mesures d'atténuation, l'analyse des impacts environnementaux directs et indirects, ainsi que des plans de suivi environnemental. Cette approche est d'ailleurs entérinée par des groupes de scientifiques (Kanokporn et Iamaran, 2011), de même que des États comme le Canada et les États-Unis (LCÉE, 2012; Loi américaine d'ÉE).

Dans le cas des barrages sur des fleuves transfrontaliers, des éléments d'analyse supplémentaires devraient être pris en compte, en raison de la nature linéaire de l'écosystème considéré, du mouvement de l'eau, et des transferts d'eau au sein du bassin versant. En particulier, toute étude d'impact environnemental de barrages sur des fleuves transfrontaliers d'Afrique de l'Ouest devrait considérer l'ensemble des impacts potentiels du projet, directs ou indirects, nationaux ou transfrontaliers, dans l'analyse des impacts transfrontaliers potentiels, ainsi que les impacts cumulés des différents projets de barrages au sein du bassin versant (Kanokporn et Iamaran, 2011).

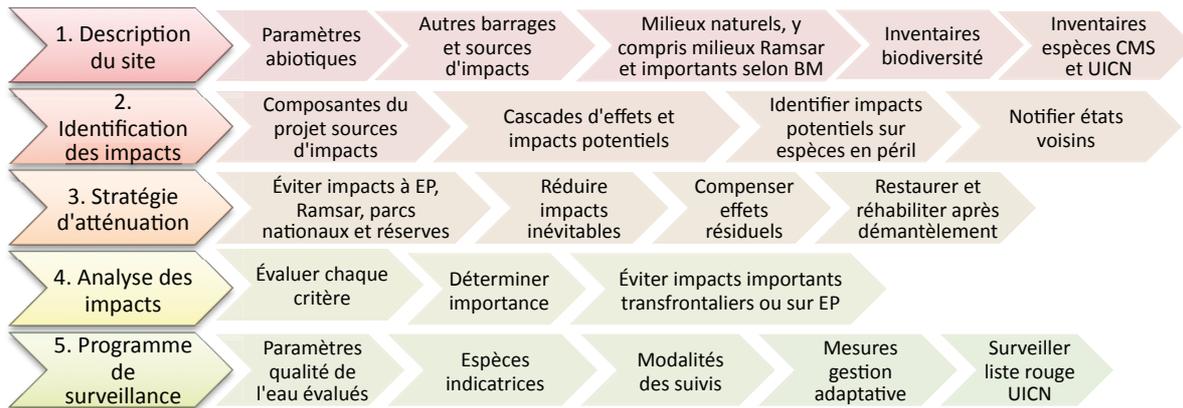


Figure 4.1 – Étapes de réalisation d’une étude d’impacts sur la biodiversité des grands barrages sur les fleuves transfrontaliers d’Afrique de l’Ouest

Les prochaines sections de ce chapitre expliquent les différentes étapes de la réalisation de l’ÉIB (figure 4.1).

4.3 Étape 1 – description du site

La description de l’état initial de l’écosystème permet entre autres d’établir un seuil fonctionnel qui devrait informer l’analyse de l’importance des impacts qui suit. En effet, tout impact engendrant une différence significative par rapport à ce seuil devrait être considéré comme important, et devrait donc être atténué.

L’approche écosystémique est employée pour gérer les terres et leurs ressources d’une manière intégrée et qui promeut leur conservation et leur utilisation durable (CEA, 2006). Cette approche tient compte du fait que la biodiversité ne connaît pas les limites administratives telles que les frontières des pays, et qu’une compréhension absolue des dynamiques et des interactions est impossible; elle offre un cadre de gestion établi à une échelle appropriée pour considérer les impacts sur la biodiversité, avec des mesures adaptatives qui tiennent compte des incertitudes inhérentes à l’étude du fonctionnement des écosystèmes (CEA, 2006). Plus spécifiquement, dans le cadre des projets de barrages sur les fleuves transfrontaliers, il est donc pertinent que l’échelle à laquelle les impacts seront évalués soit celle du bassin versant.

En effet, à cause de la linéarité de l’écosystème et du lien hydrologique étroit qu’il existe entre le fleuve et les milieux avoisinants, caractériser uniquement le site où sera construit le barrage n’est pas suffisant. Un changement de l’environnement apparemment local pourrait avoir des répercussions hors du site même du projet. Ainsi, dans le cas des projets de barrages, il est plus judicieux de considérer l’écosystème en aval du barrage, de même que les milieux humides hydrologiquement associés au fleuve, qui pourraient être affectés par le barrage. On pense par exemple aux forêts riveraines, aux lacs

remplis par le fleuve, etc. Il faut aussi considérer le réservoir présent en amont du fleuve et les habitats qui pourraient disparaître suite à l'enneigement.

Kanokporn et Iamaran (2011) détaillent certains aspects qui doivent être intégrés dans la caractérisation de l'écosystème. Il s'agit des paramètres biophysiques, en l'occurrence la température de l'eau, le débit du fleuve, les dynamiques de crues et décrues, la salinité de l'eau, et le substrat (Souchon et Nicolas, 2011).

Ensuite, dans l'optique de décrire le site à l'échelle du bassin versant, il faut également faire la liste des autres barrages avec lesquels le projet est susceptible d'interagir pour causer des impacts à la biodiversité. On devrait aussi énumérer toutes les activités anthropiques qui se produisent dans le bassin versant et ont le potentiel d'affecter l'écosystème et sa biodiversité.

Uluocha et Okeke (2004) mettent l'accent sur l'importance des milieux humides dans les régions semi-arides soudano-sahéliennes; ils accumulent de l'eau, la remettent en circulation pendant les périodes plus sèches. Ils participent ainsi au maintien d'un débit d'eau dans les cours d'eau et à l'amélioration de la qualité de l'eau. Il est donc important d'identifier la localisation géographique de chaque milieu de l'écosystème du fleuve potentiellement affecté par le barrage, directement ou indirectement, soient les aires protégées, les forêts riveraines, les cours d'eau tributaires, les lacs remplis et drainés par le fleuve et les milieux humides qui y sont hydrologiquement reliés (Kanokporn et Iamaran, 2011; Souchon et Nicolas, 2011). Une description spécifique et détaillée des services écologiques et une évaluation quantitative des fonctions fournies par ces milieux devraient également être présentées.

Plus spécifiquement, et à cause de la dépendance des pays d'Afrique de l'Ouest à l'aide internationale pour les projets de barrage, dans ce contexte géographique il est nécessaire de porter une attention particulière à l'identification des milieux naturels jugés d'importance par la Banque Mondiale et les milieux Ramsar par exemple. Ces milieux sont d'ailleurs reconnus pour leur importance internationale dans le maintien de la santé des écosystèmes et la provision de services aux populations humaines. Leur vouer une attention spéciale s'inscrit tout à fait dans l'objectif visé par l'approche d'ÉIB.

L'écosystème est ensuite caractérisé par ses biocénoses, c'est à dire l'ensemble des êtres vivants, organisés en communautés, qui dépendent des milieux physiques, comme la végétation riveraine et la faune. Plusieurs inventaires écologiques sont nécessaires afin d'établir de solides données de bases sur lesquelles bâtir l'analyse des impacts, mais aussi pour servir de mesure de référence pour le suivi ultérieur. Pour cela, il faudrait faire l'inventaire du potentiel biologique des organismes aquatiques ou dépendants du fleuve, et ce pour les différentes classes d'animaux (poissons, batraciens, reptiles, oiseaux, mammifères), ainsi que les végétaux. Toutes les espèces qui pourraient utiliser le fleuve et ses écosystèmes reliés, d'une façon ou d'une autre, à un moment donné de leur cycle de vie, devraient être

inclus dans la description des biocénoses. Par exemple, des insectes pondent dans les zones humides, des mammifères viennent s'y abreuver, des oiseaux viennent s'y alimenter, sans pour autant dépendre entièrement du fleuve.

Il est recommandé de faire la distinction entre les espèces indigènes et les espèces exotiques. Pacini et autres (2013) proposent également de décrire les comportements migratoires des espèces aquatiques du fleuve sur lequel serait érigé le barrage.

De plus, une pratique exemplaire serait d'effectuer des inventaires spécifiques pour déterminer la présence, l'abondance, la densité et la distribution des oiseaux migrateurs qui utilisent les milieux du bassin versant du fleuve comme zone d'hivernage, en se référant aux listes et au site de la CMS; il faudra d'ailleurs faire la liste des habitats remarquables pour ces oiseaux. Les espèces menacées d'extinction, sur la liste rouge de l'UICN, devraient être inventoriées de la même façon (Souchon et Nicolas, 2011). Une bonne connaissance de la distribution, de l'abondance et de la densité des espèces endémiques au bassin versant est aussi importante.

Il est essentiel que les méthodes d'inventaire soient reconnues, spécifiques et appropriées à chaque espèce menacée ou espèces migratrices. Ces inventaires doivent entre autre être entrepris pendant une période appropriée pour ces espèces, de façon à réduire les perturbations au maximum, avec une attention spéciale apportée aux échelles spatiales et temporelles auxquelles sont effectués les études, ces paramètres ayant un grand pouvoir d'influence sur l'exactitude des données (Souchon et Nicolas, 2011).

4.4 Étape 2 – identification des impacts potentiels et des paramètres de l'analyse

Une fois que la description de l'environnement naturel est faite, l'on peut cibler l'analyse des impacts que pourrait avoir le projet sur les éléments importants de la biodiversité, et les paramètres de l'écosystème qui ont été décrits précédemment. Cette analyse consiste en l'identification, tout d'abord, des impacts potentiels sur les différents éléments clé de l'environnement, puis en la détermination de l'importance des effets néfastes, lorsque les mesures d'atténuation suggérées par le promoteur sont prises en compte.

4.4.1 Description du projet – sources d'impacts pendant la phase d'exploitation du barrage

Les impacts potentiels d'un projet n'existent que par l'interrelation entre une activité source d'impact et le milieu récepteur. Ainsi, on commence cette étape en décrivant les composantes et activités du projet de barrage qui pourraient susciter des effets sur la biodiversité, pendant la phase d'exploitation.

Il faut décrire le barrage, sa hauteur de chute, la taille de son réservoir, son mode d'exploitation et le débit qui sera relâché. Il faut également préciser la quantité d'électricité qui pourra être produite, si

c'est l'un des rôles du projet, de même que la quantité d'eau qui sera prélevée pour les différents usages (irrigation, approvisionnement pour l'eau potable, etc.).

4.4.2 Cascades d'effets et impacts potentiels des barrages

La gamme complète des impacts potentiels à la biodiversité peut provenir de deux types de sources : les effets directs sur les milieux, et les effets indirects (CEA, 2006). Les effets directs sont ceux qui découlent du projet de barrage et de ses activités. Dans la mesure du possible, les impacts directs devraient être quantifiés et qualifiés afin de peindre une image complète des altérations potentielles de la biodiversité induites par le projet (Mueller et autres, 2011).

En suivant les lignes directrices de la CDB en matière d'évaluation des impacts sur la biodiversité (CEA, 2006), et des études sur l'évaluation des impacts des grands barrages (Brismar, 2004), les effets des infrastructures hydrauliques devraient être regroupés selon leur origine : i) changements hydrogéomorphologiques, (ii) fragmentation de l'habitat, (iii) mort des individus, extraction ou déplacement d'espèces, (iv) perturbations, et (v) introduction ou favorisation de l'invasion par des espèces.

Dans le cas précis des barrages sur des fleuves transfrontaliers, les impacts dus aux changements hydrogéomorphologiques comprennent les conséquences, pour la biodiversité, des modifications de la chimie de l'eau et de la taille du substrat, celles de la conversion d'un habitat lotique en milieu lentique en amont du barrage, et de la réduction du débit du fleuve en aval du barrage (Souchon et Nicolas, 2011). Il faut porter une attention particulière aux risques d'ennuiement des habitats remarquables pour la faune en amont du barrage, comme les zones de repos ou d'alimentation des espèces en péril et des oiseaux migrateurs, les frayères à poissons, etc. (Convention d'Espoo, 1991; Souchon et Nicolas, 2011). Un autre exemple de changement à l'habitat pourrait se manifester dans le transport des sédiments fins et grossiers vers l'aval du fleuve, après le passage dans les turbines du barrage (Souchon et Nicolas, 2011). En effet, comme indiqué dans le chapitre deux, le mode opératoire des barrages inclut souvent un relargage des sédiments qui s'accumulent dans le bassin. Or, la gestion et le *timing* de ce relargage sont importants pour la biodiversité car certaines espèces aquatiques déposent leurs œufs dans les sédiments, ou y vivent pendant leur phase larvaire (Souchon et Nicolas, 2011). Un relargage à une période critique pour les espèces concernées pourrait pénaliser les populations et le réseau trophique de façon importante. Cependant, sans relargage, il y aurait accumulation de sédiments en amont du barrage, conduisant à une carence en aval et donc, à la perte de productivité ou d'habitats pour la biodiversité. Les populations d'oiseaux migrateurs souffrent non seulement de cette perte d'habitat, mais ils subissent aussi des pressions anthropiques dans leurs zones d'estivage, en Europe et en Amérique. Ces impacts ne seront cependant pas pris en compte dans l'identification des impacts cumulés. On se base en effet sur un cadre de gouvernance et de coopération déjà établi entre les pays, comme les organisations de bassin versant, pour assurer la

gestion des effets. Or, tous les effets identifiés à l'étape 2 devraient être atténués de sorte à ce qu'ils ne soient pas importants, et, tenant compte des pressions dans les zones d'estivage dans les effets cumulés, beaucoup plus d'impacts auraient besoin d'être atténués par les promoteurs; une telle exigence serait difficilement justifiable auprès des promoteurs de projet de développement, en raison des coûts, de la complexité de l'étude, et donc du temps que celle-ci prendrait.

Il est possible de faire une modélisation qui permettrait d'envisager spécifiquement quels pourraient être les changements dans l'hydrologie et la morphologie du fleuve selon différents scénarios de gestion hydrologique du barrage (Souchon et Nicolas, 2011). L'étude de Baker *et al* (2011) fournit un exemple d'une telle modélisation hydromorphologique.

Les effets cumulés des barrages sur un fleuve consistent entre autres en une importante fragmentation de l'habitat. Il est important d'identifier les risques pour la circulation des organismes aquatiques et leurs conséquences pour les populations, de même que les impacts sur les espèces migratrices (Grill et autres, 2014). La fragmentation peut conduire à la disparition locale d'une espèce de poisson, à la différenciation d'une population en plusieurs sous-populations isolées génétiquement, à la réduction de l'abondance des populations, et très généralement, à une perte de résilience (Souchon et Nicolas, 2011) des populations de poissons. Il ne faut pas oublier que les impacts sur les populations de poissons sont particulièrement importants, surtout dans un contexte transfrontalier. En effet, beaucoup de familles dépendaient historiquement des pêches pour leur subsistance, et se trouvent aujourd'hui à se nourrir de poissons importés, en raison de l'impact important du barrage de Manantali sur les pêches au Sénégal et en Mauritanie (Bosshard, 1999).

Grill et ses collaborateurs (2014) proposent un indice permettant de calculer la connectivité au sein d'un réseau hydrographique, l'indice de connectivité fluviale (RCI). Le RCI permet non seulement de calculer l'effet individuel d'un barrage sur la connectivité d'un fleuve, mais aussi les effets cumulés de plusieurs barrages sur un cours d'eau (Grill et autres, 2014). De plus, il ne faut pas négliger les effets des perturbations sonores, lumineuses et autres sur la faune de l'écosystème fluvial, engendrées principalement lors de la construction du barrage.

Enfin, le potentiel d'invasion de l'écosystème par des espèces végétales aquatiques exotiques, telle que le typha, la jacinthe d'eau, et la salade d'eau, doit être évalué. Ces trois plantes sont des espèces flottantes qui prolifèrent dans des eaux peu turbulentes et riches en nutriments, en formant d'épais tapis à la surface de l'eau et sur les barrages (Hill, 2003); les réservoirs de barrages et les fleuves à débit réduit en Afrique de l'Ouest, qui reçoivent les effluents agrochimiques de leur bassin versant (Dumas et autres, 2010), sont d'ailleurs un habitat idéal à la prolifération de ces espèces envahissantes (Cogels et autres, 1997; Dumas et autre, 2010). Les tapis de plantes envahissantes entravent l'utilisation de l'eau pour l'agriculture irriguée, la baignade, et réduisent même le succès des mesures de conservation de la biodiversité des fleuves (Hill, 2003). La jacinthe d'eau, la plus résiliente et la

plus problématique des espèces mentionnées, a la capacité d'envahir même les grands fleuves, jusqu'à bloquer les turbines des gros ouvrages hydroélectriques, et ainsi contraindre la production d'énergie (Hill, 2003). Les impacts sur la structure des communautés et l'abondance des différentes espèces doivent donc être pris en compte et intégrés à l'étude (UICN, 2004).

Enfin, les impacts indirects des projets de barrage sont également importants à considérer dans l'évaluation des impacts sur la biodiversité (Souchon et Nicolas, 2011). Ils peuvent être évalués de façon qualitative, en termes d'influence potentielle sur les facteurs de changements directs (CEA, 2006). Ceux-ci peuvent donc découler de changements dans la démographie suite à l'instauration du barrage, de modification à l'économie, du changement dans l'utilisation des terres qui seraient permis par le projet, etc. Par exemple, la création d'un réservoir en amont du barrage crée un nouveau milieu dans lequel les populations locales vont pouvoir pêcher, ce qui pourrait entraîner des modifications dans l'abondance des espèces de poissons en amont du barrage.

L'inventaire des impacts doit donc être fait à l'échelle du bassin versant, c'est à dire sur le fleuve lui-même, mais aussi sur les milieux humides et les cours d'eau rattachés, par leur hydrologie, au site d'érection du barrage (Haghighi et autres, 2014). Ces impacts peuvent être quantifiés par l'évaluation de la perte potentielle de fonction des milieux (Haghighi et autres, 2014). Finalement, il est recommandé d'identifier les impacts potentiels du projet durant tout le cycle d'exploitation du projet, en incluant son démantèlement.

4.5 Étape 3 – stratégie d'atténuation

Une fois que les impacts ont été identifiés et catégorisés, le promoteur doit identifier une stratégie d'atténuation afin de réduire au maximum l'impact du projet sur la biodiversité. Les mesures d'atténuation consistent en général en ce qui est le plus économiquement et techniquement faisable pour réduire l'importance des impacts négatifs. Les approches que nous venons tout juste d'énoncer, soit de viser des objectifs de conservation basés sur l'état initial des écosystèmes, et de viser les espèces parapluie et les espèces en péril.

4.5.1 Directive générale

Le promoteur devrait tendre à un but général : atténuer l'impact jusqu'à ce qu'il ne soit plus important. Les mesures d'atténuation doivent également être les plus économiquement et écologiquement faisables pour être incluses dans le rapport d'ÉIE. Les études de base ont d'ailleurs permis d'établir des objectifs de conservation et des standards auxquels les résultats des mesures d'atténuation devraient être comparés afin d'évaluer leur succès. Pour ces raisons, les espèces en péril devraient être évaluées individuellement, leurs besoins de conservation étant très spécifiques. Leur

rétablissement devrait donc être déterminé individuellement, de même que les besoins de compensation pour les impacts qu'elles subiraient.

En revanche, pour l'écosystème en général et les atteintes à la biodiversité, l'atténuation des impacts peut se construire autour de mesures visant les « espèces parapluie » mentionnées ci-haut. Cette méthode est particulièrement efficace pour l'atténuation des impacts sur les milieux humides, et est régulièrement proposée aux promoteurs de projets au Canada. Elle permet en effet d'augmenter le succès de l'atténuation à moindre coût, plutôt que de mettre en œuvre des mesures d'atténuation pour chacune des espèces.

4.5.2 Hiérarchie d'atténuation des impacts

En règle générale, le promoteur de tout projet de barrage devrait, par réflexe, planifier son projet de sorte à ce qu'il évite les impacts néfastes importants sur les milieux humides d'intérêt en Afrique de l'Ouest, tels que les zones d'hivernage d'oiseaux de la CMS, la destruction des habitats de la faune et de la flore inscrites sur la liste rouge de l'UICN, les milieux Ramsar, les parcs nationaux et les réserves naturelles (Convention d'Espoo, 1991).

Pour les autres impacts, la hiérarchie d'atténuation doit être appliquée. Il s'agit d'une séquence de fixation des priorités des différentes méthodes d'atténuation des impacts. Elle consiste en trois types d'atténuation, soit l'évitement, la réduction et la compensation.

Dans le développement d'un plan d'atténuation des impacts, le promoteur devrait toujours suivre cette hiérarchie, et documenter rigoureusement la façon dont chaque étape a été analysée, et démontrer pourquoi et comment il est passé d'une étape à l'autre (Germaneau et autres, 2012).

L'évitement est la première étape de la hiérarchie d'atténuation, et certainement la plus économique. Elle est mise en œuvre lors de la planification du projet, et comporte plusieurs possibilités d'application. Le promoteur doit y considérer toutes les alternatives du projet, en termes de localisation géographique, de technologies et de matériaux employés pour la construction du barrage, de mode opératoire, etc. Cela permet de déterminer quelles options sont les plus économiquement rentables avec un minimum d'impacts écologiques.

Par exemple, en Afrique de l'Ouest, il existe plusieurs barrages sur les grands fleuves. Or, la plupart de ces barrages ont été conçus dans les années 1970-1980. Ils étaient adaptés aux conditions hydrologiques de l'époque, c'est-à-dire pour des débits plus importants. Or, plutôt que de développer de nouveaux sites, d'ajouter de nouveaux ouvrages à la charge des écosystèmes et d'augmenter les impacts négatifs, il est possible de restaurer ces barrages, de les améliorer pour qu'ils correspondent aux conditions actuelles, ce que l'on appelle la « ré-opération » (Pacini et autres, 2013; Richter and Thomas, 2007). Il a d'ailleurs été démontré que ces changements des modes d'opération des barrages

permettraient de rétablir les populations de poissons, d'oiseaux de rivages et migrateurs, l'amélioration de la qualité de l'eau lorsque l'eau peut couler jusque dans les forêts de plaines inondables et les milieux humides (Renöfält et autres, 2010; Richter and Thomas, 2007). Ainsi, une réfection des barrages permettrait de tout de même répondre aux besoins des populations pour l'irrigation, la production d'énergie et la navigation, sans augmenter les impacts cumulatifs sur la biodiversité, contrairement à la construction de nouveaux barrages.

La réduction des impacts est la seconde étape dans la séquence d'atténuation. Elle vise à minimiser l'incidence négative d'un impact qui n'a pas pu être évité. Par exemple, il est demandé aux promoteurs d'effectuer, au préalable, une évaluation des débits minimaux et d'exploiter le barrage (la retenue puis le relâchement de l'eau) pour atténuer les incidences écologiques et socio-économiques des grands barrages sur les zones humides (Résolution VIII.2 Ramsar COP8). Ou bien, il est possible de réduire l'impact négatif causé par la fragmentation du fleuve par le barrage en le construisant de manière à maintenir un accès aux poissons et autres espèces indigènes qui migrent au-delà des barrages (Résolution VIII.2 Ramsar COP8). Certaines technologies existent pour cela, comme les échelles à poissons, qui permettent aux organismes aquatiques de traverser un barrage sans avoir à passer à travers les turbines (Benstead et autres, 1999). Cependant, il faut faire attention lors de l'aménagement de ces échelles. Pelicice et Agostinho (2008) ont énoncé qu'elles peuvent entraîner une baisse de la résilience des espèces aquatiques car elles ne permettent qu'une circulation unidirectionnelle vers l'amont du fleuve, n'avantageant pas les espèces qui se déplacent vers l'aval (Pelicice et Agostinho, 2008).

Un exemple supplémentaire de réduction d'un impact est le contrôle des espèces envahissantes par l'homme. Outre l'extraction mécanique des plantes, la récolte du typha est envisageable, car elle s'avérerait avoir des impacts positifs dans plusieurs sphères : elle éliminerait la menace posée à la biodiversité par l'invasion des plantes aquatiques, pourrait être utilisée dans la production de biocarburants et de méthane, fournir de la nourriture pour certains élevages animaux, créer des emplois et de l'équité pour les femmes (Dumas et autres, 2010). Cependant, elle augmenterait les coûts d'exploitation du barrage. Ces solutions permettent d'éliminer les problèmes causés par les plantes, et ce, sans l'utilisation d'herbicides chimiques dont l'utilisation suscite de la controverse (Hill, 2003). Elles représentent un avantage certain pour les opérateurs, qui n'auraient plus de blocage dus aux tapis végétaux (Hill, 2003).

De façon générale, en connaissant les impacts le plus souvent observés suite à l'érection des barrages, le promoteur devrait songer à mettre en place des mesures pour maintenir un débit minimal dans le fleuve, ainsi qu'une dynamique de crues artificielles pour mimer le régime hydrique naturel du fleuve. Il faudrait aussi instaurer des mesures qui réduiraient l'emprisonnement des poissons dans le lac de retenue, et choisir un générateur qui permette que moins de poissons ne meurent dans les turbines. Une

autre pratique exemplaire serait d'assurer la viabilité des plantes rares; il est possible de récupérer les graines, faire de la relocalisation, etc. (Souchon et Nicolas, 2011). En règle générale, il faut éviter l'utilisation de pesticides et d'herbicides, pour le contrôle des plantes aquatiques par exemple, dans les zones fréquentées par des espèces à statut précaire (Hill, 2003; Souchon et Nicolas, 2011).

La compensation est la dernière étape de la hiérarchie d'atténuation, et ne devrait être considérée qu'en dernier ressort, et ce, pour atteindre l'objectif d'une « zéro perte nette de biodiversité ». Ce concept signifie que les gains générés par la compensation seraient équivalents, ou supérieurs, aux pertes engendrées par le projet (Germaneau et autres, 2012). Ce type de mesure suggère qu'un impact négatif peut être permis temporairement, tant et aussi longtemps qu'il y aura une indemnisation écologique plus tard (Germaneau et autres, 2012). Seuls les impacts résiduels, ceux qui n'ont pas pu être évités ou suffisamment minimisés, devraient faire l'objet de compensation. D'ailleurs, le coût de ces mesures devrait être pris en compte par le promoteur dans les études de faisabilité économique du projet. La compensation va souvent consister en des actions dans un site différent du site qui subit l'impact, afin de restaurer un milieu, ou de recréer un milieu semblable à celui affecté par le projet. Les mesures compensatoires devraient, cependant, respecter le principe d'équité géographique, et être mises en œuvre dans le même bassin versant (Germaneau et autres, 2012).

Pour un bon plan de compensation, il faut établir des objectifs initiaux, et déterminer des critères de succès. Si l'on parle en termes de fonctions écologiques pour la biodiversité, et que l'objectif est « zéro perte nette », alors il faut considérer chaque fonction et la quantité de services apportés de chaque fonction, plutôt que la quantité totale de services apportés par le milieu. On veut conserver, ou rétablir la même combinaison ou la plus semblable possible, de fonctions écologiques dans le site compensé que dans le site affecté, et ce dans les mêmes proportions.

La détermination des objectifs de compensation est indispensable au succès des mesures (Germaneau et autres, 2012). Ils s'appuient sur les données de l'évaluation des fonctions écologiques effectuée à l'étape 1 de description de l'environnement et concernent des paramètres écosystémiques comme la productivité végétale, la qualité de l'eau, l'amplitude des crues et des décrues ou la surface inondée lors des crues, etc. Le plan de compensation devrait donc contenir :

- Conditions initiales des communautés écologiques au site d'impact, et description des fonctions potentiellement perdues;
- Conditions prévues au site de compensation et description des fonctions à être gagnées suite à la compensation;
- Probabilité que les fonctions perdues seront remplacées par les activités de compensation proposées et justification de cette probabilité;
- Identification des sites de compensation potentiels, localisation géographique, et les ratios de compensation, pour chaque milieu humide affecté;

- Description des critères de succès de la compensation (objectifs mesurables, de préférence);
- Description des activités de surveillance environnementale et des plans pour s'assurer du succès de la compensation.

Il faut également garder en tête que les espèces à statut précaire devraient faire l'objet d'efforts de compensation spécifiques et individuels.

Indépendamment de la hiérarchie d'atténuation, il est encouragé de restaurer les écosystèmes fluviaux à la fin de la vie d'un barrage, ainsi que la modernisation et la modification des modes d'opération de ces derniers. On pourrait alors favoriser significativement la persistance des espèces aquatiques, et même contribuer au rétablissement des espèces aquatiques menacées d'extinction (Pacini et autres, 2013; US Army Corps of Engineers).

Finalement, tout plan de compensation ou de restauration devrait également faire l'objet d'une analyse d'impacts, bien que moins exhaustive que l'analyse d'impacts du projet.

4.6 Étape 4 – analyse des impacts négatifs résiduels

L'objectif visé lors de cette étape est de déterminer l'importance des impacts négatifs résiduels du projet sur la biodiversité et les fonctions des écosystèmes. Pour cela, on commence par établir des seuils auxquels seront comparés les impacts, en les catégorisant selon différents critères qui mèneront à la détermination de l'importance de l'impact. Les critères de détermination de l'importance des impacts sont tirés de la littérature, inspirés de deux évaluations environnementales de barrages au Canada, et adaptés dans la mesure du possible au contexte à l'étude, c'est-à-dire les barrages sur fleuves transfrontaliers d'Afrique de l'Ouest. Ils sont présentés dans le tableau 4.2, et décrits ci-dessous.

Tableau 4.1 – Description des critères de détermination de l'importance

Critère	Degré d'impact	Description du critère et du degré
Magnitude	Négligeable à faible	Effet sur quelques spécimens seulement, non mesurable ou détectable au niveau des populations
	Modéré	Effet mesurable et détectable au niveau des populations
	Élevé	Effet mesurable et détectable au niveau des communautés, des assemblages, ou de l'espèce.
Portée	Locale	Étendue à l'intérieur de laquelle les impacts directs du projet seront identifiés, à l'intérieur des frontières du pays dans lequel le barrage est érigé
	Régionale	Étendue à l'intérieur de laquelle les impacts directs et indirects du projet, ainsi que les impacts cumulés seront identifiés, à l'intérieur des frontières dans lequel le barrage est érigé
	Transfrontalière	À l'extérieur des frontières du pays dans lequel le barrage est érigé
Durée	Court terme	Effet arrivant durant la construction du barrage uniquement, et pouvant être renversé suite à la disparition de l'origine
	Long terme	Effet arrivant tout au long de la durée de vie du barrage et disparaissant suite au démantèlement, seul ou nécessitant une intervention anthropique
	Permanent	Effet subsistant suite au démantèlement du barrage, et ne pouvant être renversé grâce à des mesures de restauration/compensation
Vraisemblance	Peu probable	Probabilité inférieure à 5 %
	Possible	Probabilité entre 5 et 70 %
	Probable à certain	Probabilité supérieure à 71 %

La magnitude est une mesure quantitative ou qualitative de l'intensité de l'effet, ou de l'amplitude du changement causé par le projet (Souchon et Nicolas, 2011). La gradation est basée sur le niveau de détectabilité de l'impact. Ainsi, on commence à considérer qu'un effet est non négligeable lorsqu'il peut être détecté au niveau des populations. Pour mesurer l'effet de façon quantitative, il faut prédire comment le projet influera sur une ou des données métriques. Celles-ci peuvent inclure, sans y être limitées, la composition taxonomique, la richesse spécifique, un indice de diversité, l'abondance des populations, la structure démographique des poissons (Souchon et Nicolas, 2011). Par exemple, lorsqu'un changement est prévu au niveau de la composition taxonomique ou de la richesse spécifique, l'effet sera évalué comme ayant une magnitude élevée, puisque détectable au niveau des assemblages d'espèces. L'évaluation qualitative de la magnitude se fait, quant à elle, par la mobilisation des connaissances écologiques appuyées par la littérature scientifique, et des études de cas analogues (Souchon et Nicolas, 2011). Les altérations engendrées par le projet sur le cycle de vie des espèces sont un bon exemple d'une évaluation qualitative non mesurable d'un impact.

La portée détermine l'étendue géographique à laquelle l'impact pourra être détecté. La catégorisation quant au degré de l'impact pour ce critère permet de souligner immédiatement si le projet aura un effet transfrontalier ou non. La durée fait référence à la période durant laquelle l'impact pourrait être observé, et ce, depuis le moment où il apparaît jusqu'au moment où il pourrait être renversé, c'est-à-dire suite à la disparition de la source de l'impact. Elle est catégorisée en court terme, long terme, et permanent, et inclut le degré de réversibilité de l'impact (Souchon et Nicolas, 2011). Un impact est réversible lorsque le retour à l'état initial de la composante de l'environnement considéré peut se faire à l'intérieur d'une période raisonnable. Cette période est déterminée spécifiquement pour chaque composante de l'environnement, et ses services écosystémiques. Enfin, la vraisemblance est la probabilité qu'un impact se produise, et ce, en tenant compte des mesures d'atténuation mises en place. Cela signifie que la vraisemblance d'un impact va en partie dépendre de l'efficacité connue des mesures d'atténuation envisagées.

Finalement, l'importance, évaluée à très forte, forte, moyenne ou faible, peut être déterminée sur la base du tableau 4.3. L'on considère comme « important » tout impact évalué, selon la grille comme ayant une importance forte ou très forte. Tout impact d'importance moyenne ou faible peut être considéré comme « non important ». Par exemple, un impact sera d'importance faible si sa magnitude est négligeable à faible, qu'il est peu probable, de portée locale et de courte durée. En revanche, tout impact permanent de magnitude élevée, et à portée transfrontalière devrait être évalué comme important, peu importe sa vraisemblance.

Tableau 4.2 – Grille de détermination de l'importance d'un impact d'un barrage sur la biodiversité

Magnitude	Vraisemblance	Portée	Durée	Importance
Négligeable à faible	Peu probable	Locale	Court terme	Faible
			Long terme	Faible
			Permanent	Faible
		Régionale	Court terme	Faible
			Long terme	Faible
			Permanent	Faible
		Transfrontalière	Court terme	Faible
			Long terme	Faible
			Permanent	Faible
	Possible	Locale	Court terme	Faible
			Long terme	Faible
			Permanent	Faible
		Régionale	Court terme	Faible
			Long terme	Faible
			Permanent	Faible
		Transfrontalière	Court terme	Faible
			Long terme	Faible
			Permanent	Moyenne
	Probable à certain	Locale	Court terme	Faible
			Long terme	Faible
			Permanent	Faible
		Régionale	Court terme	Faible
			Long terme	Faible
			Permanent	Moyenne
Transfrontalière		Court terme	Faible	
		Long terme	Faible	
		Permanent	Moyenne	
Modérée	Peu probable	Locale	Court terme	Faible
			Long terme	Faible
			Permanent	Moyenne
		Régionale	Court terme	Faible
			Long terme	Moyenne
			Permanent	Moyenne
		Transfrontalière	Court terme	Moyenne
			Long terme	Moyenne
			Permanent	Moyenne
	Possible	Locale	Court terme	Moyenne
			Long terme	Moyenne
			Permanent	Forte
		Régionale	Court terme	Moyenne
			Long terme	Moyenne
			Permanent	Forte
		Transfrontalière	Court terme	Moyenne
			Long terme	Forte
			Permanent	Forte
	Probable à certain	Locale	Court terme	Moyenne
			Long terme	Moyenne

		Régionale	Permanent	Forte	
			Court terme	Moyenne	
			Long terme	Forte	
		Transfrontalière	Permanent	Très forte	
			Court terme	Forte	
			Long terme	Forte	
	Élevée	Peu probable	Locale	Court terme	Moyenne
				Long terme	Moyenne
				Permanent	Moyenne
			Régionale	Court terme	Moyenne
				Long terme	Moyenne
				Permanent	Forte
Transfrontalière			Court terme	Moyenne	
			Long terme	Moyenne	
			Permanent	Forte	
Possible		Locale	Court terme	Forte	
			Long terme	Forte	
			Permanent	Très forte	
		Régionale	Court terme	Très forte	
			Long terme	Très forte	
			Permanent	Très forte	
		Transfrontalière	Court terme	Très forte	
			Long terme	Très forte	
			Permanent	Très forte	
Probable à certain	Locale	Court terme	Forte		
		Long terme	Forte		
		Permanent	Très forte		
	Régionale	Court terme	Très forte		
		Long terme	Très forte		
		Permanent	Très forte		
	Transfrontalière	Court terme	Très forte		
		Long terme	Très forte		
		Permanent	Très forte		

Tout impact important devrait faire l'objet de mesures d'atténuation supplémentaires, exigibles pour que le projet soit autorisé; les effets importants transfrontaliers ou sur les espèces en péril et migratrices devraient toujours être évités. C'est d'ailleurs sur la base de l'importance d'un effet que les décisions sont prises, soit de permettre à un projet de barrage d'aller de l'avant, ou d'accorder un financement pour la mise en œuvre. Il est donc primordial que cette analyse soit rigoureuse et correctement informée. L'autorité ayant le pouvoir de décision détermine alors si un effet environnemental important peut ou non être justifié en raison des bénéfices sociaux ou économiques du projet.

Par ailleurs, dès qu'un impact transfrontalier a une importance moyenne ou plus élevée, l'État susceptible de subir cet impact devrait être averti, au minimum. Les États peuvent aussi adopter une

approche consensuelle, avec une compensation pour les impacts importants sous forme de partage des bénéfices engendrés par le projet, ou encore des opportunités d'investissement locaux, etc.

4.7 Étape 5 – programmes de surveillance environnementale

L'étape d'analyse des impacts est prédictive et se fait en amont du projet. Cependant, une fois que le projet est entamé, un suivi environnemental est nécessaire afin de s'assurer de l'application adéquate des mesures d'atténuation, puis de surveiller les changements dans la biodiversité et les fonctions écosystémiques engendrés par les activités (Bunn et autres, 2010). Ce suivi fait l'objet d'un plan et est conçu avec l'objectif de vérifier l'exactitude des prédictions d'impact, et l'efficacité de chaque mesure d'atténuation mise en œuvre.

4.7.1 Suivi des effets environnementaux

Il n'est cependant pas recommandé d'utiliser la méthode de catégories fonctionnelles, souvent utilisée auparavant pour la surveillance environnementale, où l'on attribue un pointage aux écosystèmes relativement à leurs fonctions écosystémiques permettant de les classer dans des catégories fonctionnelles. Cette méthode présente plusieurs risques de biais, car les catégories sont basées sur des intervalles de valeurs fonctionnelles. Cela signifie qu'un milieu pourrait se retrouver dans la même catégorie avant et après la construction du barrage, même si le score total des fonctions est plus faible post-construction, car les catégories sont basées sur des intervalles de valeurs. De plus, le score total pourrait rester le même, alors que le score individuel de chaque fonction serait réduit. La perte de fonction ne serait alors pas détectée, et irait à l'encontre de l'objectif initial qui est de ne pas produire de perte nette de fonction écologique.

Alors, pour suivre l'impact des barrages sur les paramètres abiotiques, sachant comment chaque type d'altération va affecter la biodiversité, un nouvel indice, développé par Haguigui et ses collaborateurs (2014), pourrait être employé. L'indice combiné d'impact fluvial (RI), est basé sur une collecte de données mensuelle des flots entrants et sortants du barrage. Cette méthode permet de pallier aux potentielles lacunes des données pré-construction du barrage, et fournit une quantification précise de l'impact (Haguigui et autres, 2014).

4.7.2 Suivi des impacts sur la biodiversité

Bunn et ses collaborateurs (2010) ont également développé un système de surveillance environnementale pour les écosystèmes fluviaux australiens, basé sur 16 bio-indicateurs. Ils ont identifié les indicateurs en observant leur réponse à un gradient de perturbation, pour ensuite déterminer lesquels étaient les plus sensibles aux changements de leur environnement. Selon les auteurs, ces indicateurs pourraient être utilisés pour évaluer la santé d'écosystèmes fluviaux ailleurs dans le monde (Bunn et autres, 2010). Cependant, l'applicabilité du programme devrait être vérifiée

pour les bassins versants d'Afrique de l'Ouest avant d'être employée; la méthode d'identification des indicateurs pourrait néanmoins être reproduite pour n'importe quel fleuve (Bunn et autres, 2010), et peut servir de base à l'identification des paramètres des plans de surveillance environnementale.

Dans le développement des programmes de suivi environnemental, il faut préciser les indicateurs de mesure des impacts résiduels et des paramètres de qualité de l'eau à être évalués (Souchon et Nicolas, 2011), ainsi que les protocoles de surveillance. C'est-à-dire qu'il faut identifier à l'avance les lieux d'échantillonnage, le calendrier des suivis, la fréquence des rapports. Il faudra en plus identifier les seuils environnementaux pour chaque paramètre mentionné auparavant, afin de juger de l'efficacité des mesures d'atténuation. Il faut d'ailleurs prendre en note que plus l'efficacité des mesures d'atténuation est incertaine, plus il faudra augmenter la fréquence des suivis.

4.7.3 Espèces indicatrices versus espèces en péril

Dans les écosystèmes humides d'Afrique occidentale, où la biodiversité est si riche, il serait déraisonnable de tenter d'évaluer les impacts d'un projet sur toutes les espèces vivantes, d'où la nécessité de développer une approche pratique pour une évaluation efficace des impacts.

Or, en Afrique de l'Ouest, la nécessité d'analyser la faisabilité environnementale des grands projets se fait de plus en plus sentir. En effet, le développement humain dépend aussi directement de l'exploitation des ressources naturelles, et le besoin d'en faire une exploitation durable est reconnu par les gouvernements. Dans ce contexte, des approches ont été développées, qui permettent entre autres de détecter et de mesurer les impacts de projets sur la biodiversité (Bouyer et autres, 2007); il faut, pour cela, identifier des espèces indicatrices.

Une bonne espèce indicatrice est sensible à de légères modification de son environnement, et sa réponse doit être mesurable et prévisible (Bouyer et autres, 2007). Elle doit répondre aux mêmes changements du milieu qu'un grand nombre d'espèces de sorte que si leur population change, on puisse s'attendre à ce que les populations des autres espèces changent également (Bouyer et autres, 2007); on les appelle également des espèces « parapluie ». Par cette approche, on assume que des mesures visant à atténuer les effets négatifs sur cette espèce devraient également profiter à une plus grande proportion de cette biodiversité.

Dans un écosystème avec un indice élevé de biodiversité, comme les milieux humides des bassins versants d'Afrique de l'Ouest, il serait nécessaire de choisir plusieurs espèces indicatrices (Carignan et Villard, 2002). En effet, ces espèces doivent représenter les différents stades du cycle de vie, les liens de dépendance à la structure des communautés végétales, les différents besoins alimentaires, la sensibilité à la qualité de l'eau, ainsi que le niveau d'importance de ces espèces pour les populations humaines (Bouyer et autres, 2007; Carignan et Villard, 2002; Souchon et Nicolas, 2011).

Cependant, il est important de préciser que l'approche des espèces indicatrices ne devrait pas être employée pour détecter et mesurer les impacts sur les espèces en péril. Ces espèces sont particulièrement vulnérables aux altérations de leur environnement, et leur statut précaire résulte souvent d'effets anthropiques. Elles réagissent aux impacts souvent différemment d'autres espèces, plus abondantes, et ne peuvent souffrir de déclin supplémentaire. De par leur statut précaire, elles doivent bénéficier d'une attention particulière, et ce, afin que des mesures d'atténuation spécifiques soient mises en œuvre pour assurer leur conservation. Il faut donc identifier les effets que pourrait avoir un projet sur la structure, la densité et l'abondance de leurs populations.

4.7.4 Résultats des études

Les résultats des études de surveillance devraient être accessibles publiquement, étant donné qu'ils pourraient être utilisés comme données de base pour les études d'impacts d'autres projets au sein du même écosystème ou d'écosystèmes comparables. Ils pourraient également être intégrés à une étude régionale à long terme pour le bassin versant, ou même, à l'échelle régionale de l'Afrique de l'Ouest, et comprendre l'évaluation routinière de la qualité de l'eau (Bunn et autres, 2010; Mueller et autres, 2011; Pacini et autres, 2013).

Cependant, afin de ne pas être qu'une documentation du déclin des écosystèmes et de leur biodiversité, les résultats de la surveillance environnementale devraient être à la base des mesures de gestion adaptatives (Bunn et autres, 2010). En effet, si un déclin est observé, cela signifie que les mesures d'atténuation ne jouent pas leur rôle de minimiser les impacts, et qu'un ajustement est nécessaire pour arrêter ce déclin, voire l'inverser. Le promoteur devrait donc, après avoir développé les plans de suivi, y associer des plans de contingence, afin de répondre adéquatement à l'avènement d'impacts non prévus, ou en cas d'inefficacité des mesures d'atténuation (Bunn et autres, 2010).

Finalement, il est important, en même temps que le suivi de l'état de santé de l'écosystème fluvial, de surveiller les mises à jour de la liste rouge de l'UICN, afin de s'adapter si une nouvelle espèce présente dans la zone d'influence du barrage y est inscrite.

Cela dit, il n'existe pas de bureau responsable de récolter et d'analyser les rapports de suivi des impacts. Un tel bureau pourrait donc être créé, au sein de l'OMVS ou de l'ABN, avec des spécialistes qui pourraient entre autres analyser les effets négatifs des différents barrages, en construction ou à l'état de projet, sur la biodiversité. Ils seraient alors en mesure de proposer et de mettre en application des mesures de gestion adaptative, suivant les résultats des rapports.

Finalement, ces lignes directrices pour l'intégration de la biodiversité dans les ÉIE pourrait être extrapolée à l'ensemble des fleuves transfrontaliers d'Afrique de l'Ouest, étant donné la similitude dans les enjeux de gouvernance, du contexte partagé de course au développement, du besoin

généralisé d'approvisionnement en énergie et en eau, et les conditions hydrologiques et pluviométriques semblables et typiques du climat soudano-sahélien.

Pour clore ce chapitre, rappelons que nous avons établi qu'une bonne étude des impacts des barrages sur la biodiversité devrait être menée à l'échelle du bassin versant, selon l'approche écosystémique. Elle tiendrait compte des impacts cumulés des autres projets de barrage sur le fleuve et des autres activités anthropiques qui sont sources d'impacts dans le bassin versant. Des espèces indicatrices seraient utilisées pour représenter les impacts sur la biodiversité du bassin versant mais les espèces en péril seraient considérées individuellement dans l'identification des impacts, l'analyse de leur importance et l'évaluation de l'efficacité des mesures d'atténuation. La décision finale, d'aller de l'avant avec une proposition de projet ou non, tiendrait donc compte de la gamme complète des impacts sur la biodiversité, incluant les impacts transfrontaliers et cumulés.

De plus, quelques recommandations ont été faites dans ce chapitre. Par exemple, lorsqu'un promoteur songe à construire un barrage sur un des grands fleuves transfrontaliers d'Afrique de l'Ouest, il est avisé d'éviter tout site important pour la biodiversité, surtout pour les espèces en péril et les espèces faisant l'objet d'une convention internationale suggérant leur importance, comme les espèces inscrites sur la liste de la CMS ou la Liste rouge de l'UICN. En outre, afin de réduire les impacts des barrages sur la biodiversité et la qualité de l'eau, il pourrait être avantageux de songer à réhabiliter des barrages désuets, et de leur donner une multifonctionnalité (Pacini et autres, 2013).

CONCLUSION

La biodiversité des écosystèmes aquatiques fait partie des biodiversités les plus menacées de la planète. Or, elle prodigue des biens et des services écologiques essentiels à la subsistance et au développement des pays, notamment en Afrique de l'Ouest. En contrepartie, pour son développement, l'Afrique occidentale mise de plus en plus sur les barrages pluri-fonctions qui lui donnent un meilleur accès à l'énergie, à l'irrigation et à l'eau potable. Cependant, non seulement les barrages peuvent potentiellement avoir des impacts néfastes graves sur la biodiversité, mais ces impacts peuvent aussi se faire ressentir au-delà des frontières du pays dans lequel ils sont construits, à cause du caractère transfrontalier des grands fleuves.

Les évaluations environnementales, notamment l'étude d'impact environnemental (ÉIE), permettent de prédire ces impacts, environnementaux et sociaux, au préalable de l'initiation d'un projet. Cependant, l'ÉIE est centrée sur un seul projet et ses impacts sur son environnement immédiat. Or, les barrages peuvent avoir des impacts sur des distances très grandes, y compris au-delà des frontières du projet. De plus, la biodiversité s'évalue à une échelle beaucoup plus large que le site d'un barrage, puisqu'elle subit les effets combinés de plusieurs types de pression et de plusieurs projets. L'approche d'ÉIE n'est donc pas parfaitement appropriée à la prise en charge des impacts des barrages sur la biodiversité. L'objectif de cet essai était donc de proposer une approche qui permette une évaluation et une prise en charge de ces impacts qui soit adéquate pour la biodiversité et ce, dans le contexte transfrontalier des grands fleuves d'Afrique de l'Ouest.

L'approche proposée, l'évaluation des impacts sur la biodiversité (ÉIB), est fondée sur l'approche écosystémique. Elle est centrée autour de l'identification et l'analyse des effets cumulés des barrages sur la biodiversité, à l'échelle du bassin versant. Les étapes de cette évaluation sont : la description du site d'érection du barrage et du bassin versant, l'identification des impacts cumulés des barrages sur la biodiversité, la description des mesures d'atténuation, l'analyse de l'importance des impacts, et l'établissement des plans de surveillance environnementale.

La première étape de l'ÉIB, la description initiale du site et du bassin versant, doit donc inclure une description du cours du fleuve et de ses différentes parties, de ses tributaires, des lacs remplis par le fleuve, de même que de tout autre milieu humide participant à l'hydrologie du fleuve. Elle doit également fournir une explication détaillée des paramètres abiotiques du fleuve, comme les débits moyens, maximums et minimums dans les différentes parties du fleuve, le type de substrat, etc. Le premier chapitre de cet essai fournit une telle description, pour les bassins des fleuves Niger et Sénégal. À la première étape de l'ÉIB est aussi incluse une description de la biodiversité du bassin et des milieux naturels importants pour cette biodiversité. Décrite au niveau des communautés, la biodiversité est évaluée à base d'indices et de l'explication des dynamiques et des interactions entre

les espèces, plutôt que sur des inventaires taxonomiques. Les espèces inscrites sur la liste de l'UICN sont cependant énumérées, et font l'objet d'une analyse à part entière.

Le premier chapitre n'entre pas dans tant de détails, et n'est fondé que sur la littérature scientifique, et l'information présentée est donc limitée par l'accessibilité des données, et l'intérêt des chercheurs ayant étudié cette région de l'Afrique. Il aurait été bénéfique d'acquérir des données originales sur le terrain, afin de fournir une description juste et à jour du bassin versant. Par exemple, les milieux humides importants décrits dans le chapitre 1 sont limités à l'énumération des sites Ramsar et de leur biodiversité, alors que d'autres milieux importants existent sûrement mais ne sont pas décrits dans cet essai. On aurait également pu bénéficier d'entrevues avec des groupes d'intérêt qui ont des connaissances ancestrales sur l'environnement du bassin versant et sa biodiversité, comme les chasseurs, les pêcheurs, etc.

Enfin, il est nécessaire de décrire les autres projets de barrages dans le bassin versant concerné, ceux-ci engendrant également des effets sur l'environnement qui, combinés aux effets du projet évalué, pourraient avoir des impacts importants sur la biodiversité. D'ailleurs, la prochaine étape de l'ÉIB consiste en l'identification des impacts potentiels. Pour qu'elle soit adéquate, il faut expliquer la cascade d'effets environnementaux jusqu'à l'impact sur le récepteur environnemental : la biodiversité. La cause primaire initie la cascade d'effets, et des causes différentes peuvent résulter en un même impact sur la biodiversité : ce sont les impacts cumulés du projet sur la biodiversité. Parmi les effets des barrages sur l'environnement, on note principalement la réduction du débit du fleuve, l'artificialisation des crues et l'imposition d'une barrière aux échanges longitudinaux dans le cours d'eau. Ces effets résultent en plusieurs impacts sur la biodiversité, notamment l'isolement des populations animales et végétales, la mort d'individus, et la réduction de la biodiversité aquatique dans le cours d'eau et le réservoir et la réduction de la biodiversité terrestre dans la plaine et dans les milieux humides. L'on remarque que selon l'approche d'ÉIB, l'évaluation des impacts n'est que qualitative, ce qui peut constituer une faiblesse, principalement dans l'analyse de l'importance des effets qui suit, qui devient plus subjective.

Une fois que les impacts potentiels du projet ont été identifiés, il faut développer des mesures d'atténuation dans le but de contrôler, et réduire les incidences environnementales de sorte à ce qu'elles soient considérées comme non-importantes. Elles suivent de préférence la hiérarchie d'atténuation, en priorisant l'évitement des impacts par rapport à la réduction ou la compensation. Ces mesures sont cependant développées à l'échelle du projet concerné, et vont consister en des méthodes de construction et d'exploitation du barrage, des composantes du projet, etc. Mais elles visent également à atténuer les impacts cumulatifs au sein du bassin versant, donc, selon cette approche, un promoteur pourrait être contraint d'atténuer des impacts cumulatifs rendus importants à cause d'une mauvaise exploitation d'un barrage plus en amont du fleuve.

Or, en réponse à la croissance démographique et pour soutenir le développement des pays d'Afrique de l'Ouest, on assiste à une augmentation du nombre de barrages à usages multiples prévus dans les bassins des grands fleuves transfrontaliers, notamment sur le Niger et le Sénégal, comme l'annoncent l'Autorité du bassin du Niger et l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal. Afin d'éviter que les promoteurs aient à payer pour les mauvaises pratiques d'autres promoteurs, on pourrait recommander que des études régionales (chapitre 3) soient effectuées pour chaque bassin versant transfrontalier d'Afrique de l'Ouest. Celles-ci permettraient d'établir des standards de base auxquels tous les projets de barrages devraient se conformer, et qui permettraient une gestion durable de l'écosystème. Idéalement, l'étude régionale prévoirait le nombre et le type de barrages nécessaires pour répondre aux besoins des populations, en tenant compte de la croissance démographique. Il serait alors possible de déterminer quel doit être le débit minimal relâché par un barrage en fonction de sa position sur le fleuve, en ayant planifié un harnachement multiple du cours d'eau.

L'analyse des impacts consiste en une prédiction de l'importance des impacts résiduels sur la biodiversité, à la suite de la mise en œuvre de mesures d'atténuation. L'importance est évaluée d'après une série de critères spécifiques aux projets de barrages sur les fleuves transfrontaliers; par exemple, tout impact de magnitude élevée et de portée transfrontalière devrait automatiquement être considéré comme étant important. Tout impact important devrait faire l'objet de mesures d'atténuation additionnelles, conditionnelles à la poursuite du projet. L'importance de l'impact devrait informer la prise de décision : s'il est avéré que les avantages apportés par le projet surpassent la négativité de l'impact sur la biodiversité, la mise en œuvre du projet devrait être autorisée.

Finalement, la dernière étape de l'ÉIB est le développement des plans de surveillance environnementale. Ils sont essentiels au suivi des impacts de projet, et à l'évaluation de l'efficacité des mesures d'atténuation. C'est l'étape de détection des impacts du projet, par opposition à la seconde étape de l'approche d'ÉIB qui en est une de prévision. Pour cela, le promoteur devrait identifier des espèces indicatrices dont les réponses aux changements de l'environnement seront représentatives des réponses de la biodiversité en général. Cela permet de réduire la charge de surveillance du promoteur, tout en assurant une vigilance appropriée. Bien sûr, le promoteur devra également avoir des plans de contingence, au cas où les mesures d'atténuation s'avèreraient non efficaces, ou si des impacts imprévus surviennent lors de la construction et l'exploitation du barrage.

Pour conclure, l'approche d'ÉIB suit une méthode théoriquement solide et plausible, et le suivi des impacts sur la biodiversité est un moyen simplifié d'étudier les impacts environnementaux d'un projet, qu'il soit un barrage ou une mine. Il permet une considération des impacts à plus grande échelle, et donc une gestion plus efficace et juste de ceux-ci. Cependant, c'est une approche qui ne fait état que de pratiques exemplaires, avec peu de pouvoir exécutif. Elle ne tient par ailleurs pas compte des moyens financiers et techniques des promoteurs de projet, ni de leur volonté à entreprendre une telle

étude. Enfin, une faiblesse de l'approche d'ÉIB est qu'elle néglige certains aspects sociaux qui sont, en contrepartie, soulignés dans l'ÉIE, comme le déplacement des populations lors de la création du réservoir, la destruction de sites culturellement et spirituellement irremplaçables, etc. Ainsi, avec que l'ÉIB puisse être une approche d'évaluation environnementale à part entière pour les projets de barrages, il faudrait identifier quels sont les impacts sociaux les plus importants qui ne sont pas représentés par les impacts sur la biodiversité, et les intégrer à l'approche.

Liste des références

- ABN (Autorité du bassin du Niger). (2013). Projet Niger-HYCOS. In ABN (eds), *Bulletin mensuel avril 2013*, 11p.
- Adeyemo, O.K. (2003). Consequences of pollution and degradation of Nigerian aquatic environment on fisheries resources. *The Environmentalist*, vol. 23, p. 297-306.
- Agbogidi, O. M. et Ofuoku, A. U. (2006). Biodiversity conservation and poverty alleviation in the Niger Delta Area of Nigeria. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, vol. 71, n°3, p. 103-110.
- ACÉE (Agence canadienne d'évaluation environnementale). (2014). Étude régionale, in Agence canadienne d'évaluation environnementale. *Éléments de base de l'évaluation environnementale*, <https://www.ceaa-acee.gc.ca/default.asp?lang=fr&n=B053F859-1#reg01> (page consultée le 15 mars 2015).
- Benstead, J. P., March, J. G., Pringle, C. M. et Scatena, F. N. (1999). Effects of a low-head dam and water abstraction on migratory tropical stream biota. *Ecological Applications*, vol. 9, n° 2, p. 656-668.
- BM (Banque Mondiale) et CORAF/WECARD (Conseil Ouest et Centre Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles). (2012). Programme de productivité agricole en Afrique de l'Ouest Phase II (Ghana, Mali, Sénégal). *Rapport d'actualisation du cadre de gestion environnementale et sociale (CGES)*, 80p.
- Bohbot, R. (2008). L'accès à l'eau dans les bidonvilles des villes africaines – Enjeux et défis de l'universalisation de l'accès (Cas de Ouagadougou). Mémoires de maîtrise présenté à l'Institut des hautes études internationales, Université Laval, Québec, 240 p.
- Bosshard, P. (1999). A case study on the Manantali dam project (Mali, Mauritania, Senegal). In Protecting rivers and defending the rights of the communities that depend on them, *International Rivers*, <http://www.internationalrivers.org/resources/a-case-study-on-the-manantali-dam-project-mali-mauritania-senegal-2011> (Page consultée le 14 mars 2015).
- Bouyer, J., Sana, Y., Samandougou, Y. Cesar, J., Guerrini, L., Kabore-Zoungrana, C. et Dulieu, D. (2007). Identification of ecological indicators for monitoring ecosystem health in the trans-boundary W Regional park: A pilot study. *Biological conservation*, vol. 138, p. 73-88.
- Brismar, A. (2004). Attention to impact pathways in EISs of large dam projects. *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 24, p. 59-87.
- Bunn, S. E., Abal, E. G., Smith, M. J., Choy, S. C., Fellows, C. S., Harch, B. D., Kennard, M. J., et Sheldon, F. (2010). Integration of science and monitoring of river ecosystem health to guide investments in catchment protection and rehabilitation. *Freshwater Biology*, vol. 55, suppl. 1, p. 223-240.
- Burton, J. et Egli, P. (2002). Les grands fleuves d'Afrique de l'Ouest : diagnostic, tendances et enjeux. Rapport de l'Agence Canadienne d'Évaluation Environnementale, 102 p.

- Carignan, V. et Villard, M.-A. (2002). Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 78, p. 45-61.
- CDB (Convention sur la diversité biologique). (1996). Texte de la convention.
- CFBR (Comité français des barrages et réservoirs). (2012). Technologie des barrages. In CFBR, *Les barrages*. <http://www.barrages-cfbr.eu/Barrages-poids.html> (Page consultée le 29 janvier 2015).
- CIGB (Commission Internationale sur les Grands Barrages). (s. d.a). Rôle des barrages. In CIGB-ICOLD. *Barrages*, http://www.icold-cigb.org/FR/Barrages/role_des_barrages.asp (Page consultée le 27 novembre 2014).
- CIGB (Commission Internationale sur les Grands Barrages). (s. d.b). Technologie des barrages. In CIGB-ICOLD. *Barrages*, http://www.icold-cigb.org/FR/Barrages/technologies_barrages.asp (Page consultée le 7 janvier 2015).
- CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique). (s. d.). La Mousson d'Afrique de l'Ouest, in CNRS : La recherche française sur le climat, <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim1/rechfran/4theme/cycledeleau/moussonAfOuest.html> (Page consultée le 21 juillet 2014).
- Cogels, F. X., Coly, A. et Niang, A. (1997). Impacts of dam construction on the hydrological regime and quality of a sahelian lake in the river Senegal basin. *Regulated Rivers: Research and Management*, vol. 13, p. 27-41.
- CMB (Commission Mondiale des barrages). (2000). Barrage et développement : un nouveau cadre pour la prise de décision. In Earthscan Publication Ltd, *Rapport de la Commission mondiale des barrages*, Royaume-Uni.
- CMS (Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage) (1979) Texte de la convention.
- CMS (Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage). (2002). Résolution 7.2 – Évaluation d'impact et espèces migratrices. Adoptée à la Conférence des Parties à sa septième session (Bonn, 18-24 septembre 2002).
- CMS (Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage). (2014). The value of animal migration. In CMS, *Espèces*, <http://www.cms.int/fr/node/3912> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS). (2012). Science du climat. In CILSS, *Portail du CILSS dans le domain du changement climatique et de la gestion durable des terres en Afrique de l'Ouest*. <http://www.agrhymet.ne/portailCC/index.php/fr/sciences-du-climat> (Page consultée le 19 mai 2015).
- Covich, A. P., Austen, M. C., Bärlocher, F., Chauvet, E., Cardinale, B. J., Biles, C. L., Inchausti, P., Dangles, O., Solan, M., Gessner, M. O., Stutzner, B. et Moss, B. R. (2004a). The role of biodiversity in the functioning of freshwater and marine benthic ecosystems. *BioScience*, vol. 54, p. 767-775.

- Covich, A. P., Ewel, K. C., Hall, R. O., Giller, P. E., Goedkoop, W. et Merritt, D. M. (2004b). Ecosystem services provided by freshwater benthos. In *Sustaining Biodiversity and Ecosystem Services in Soil and Sediments* (ed. D. H. Wall), p. 45-72 (Island Press, Washington D.C., U.S.A).
- Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., Stiassny, R. J. et Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biol. Rev.*, vol. 81, p. 163-182.
- Dumas, D., Mietton, M., Hamerlynck, O., Pesneaud, F., Kane, A., Coly, A., Duvail, S. et Baba, M. L. O. (2010). Large dams and uncertainties: The case of the Senegal River (West Africa). *Society and Natural Resources: An International Journal*, vol. 23, n° 11, p. 1108-1122.
- Germaneau, C., Quétier, F., Gobert, J., Persegol, L., Barra, M. et Houdet, J. (2012). La compensation des atteintes à la biodiversité : lorsqu'il n'y a pas d'autres solutions – Principes comptables pour mettre en oeuvre la sequence "éviter - réduire - compenser". *Cahier technique 2012-01*, Synergiz, 25 p.
- Grill, G., Ouellet Dallaire, C., Fluet Chouinard, E., Sindorf, N. et Lehner, B. (2014). Development of new indicators to evaluate river fragmentation and flow regulation at large scales: a scale study for the Mekong River Basin. *Ecological Indicators*, vol. 45, p. 148-159.
- Haghighi, A. T., Marttila, et Kløve, B. (2014). Development of a new index to assess river régime impacts after dam construction. *Global and Planetary Change*, vol. 122, p. 186-196.
- Hamadina, M. K., Otobotekere, D. et Anyannwu, D. I. (2007). Impact assessment and biodiversity considerations in Nigeria: a case study of Niger Delta University campus project on wildlife in Nun River Forest Reserve. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, vol. 18, n° 2, p. 179-197.
- HCNVD (High Commission for Niger Valley Development) et BAD (Banque africaine de développement). (2008). "Kandadji" ecosystems regeneration and niger valley development programme – Detailed population resettlement plan executive summary. In BAD. *Évaluations environnementales et sociales*.
<http://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/documents/environmental-and-social-assessments/adf-bd-if-2008-51-en-niger-kandadji-ecosystems-regeneration-detailed-population-resettlement-plan.pdf> (Page consultée le 29 janvier 2015).
- Hill, M. P. (2003). The impact and control of alien aquatic vegetation in South African aquatic ecosystems. *African Journal of Aquatic Science*, vol. 28, n° 1, p. 19-24.
- Hydro-Québec. (2015). Ouvrages de retenue. In Hydro-Québec. *L'Hydroélectricité*.
<http://www.hydroquebec.com/comprendre/hydroelectricite/ouvrages-retendue.html>
 (Page consultée le 7 janvier 2015).
- Junk, W. J., Bayley, P. B. et Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. In *Proceedings of the International Large River Symposium*, Dodge, D. F. [ed.], Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 106 p.

- Lienou, G., Mahe, G., Dieulin, C., Paturel, J. E., Bamba, F., Sighomnou, D. et Dessouassi, R. (2010). The river Niger water availability: facing future needs and climate change. *Global change: Facing Risks and Threats to Water Resources*, vol. 340, p. 637-645.
- Liermann, C. R., Nilsson, C., Robertson, J. et Ng R. Y. (2012). Implications of dam obstruction for global freshwater fish diversity. *BioScience*, vol. 26, n° 6, p. 539-548.
- Malmqvist, B. et Rundle, S. (2002). Threats to the running waters ecosystems of the world. *Environmental Conservation*, vol. 29, n°2, p. 134-153.
- McCartney, M. (2009). Living with dams: managing the environmental impacts. *Water Policy*, vol. 11, n°1, p. 121-139.
- MATCL (Ministère de l'Aménagement du Territoire et des Collectivités Locales). (n.a.). Manuel de procédures environnementales et sociales pour le développement local. In Programme National de Développement Local, http://www.pndl.org/IMG/pdf/08_Manuel_de_Procedures_Environnementales_et_Sociales_DL.pdf (Page consultée le 16 mars 2015).
- Mueller, M., Pander, J. et Geist, J. (2011). The effects of weirs on structural stream habitat and biological communities. *Journal of Applied Ecology*, vol. 48, p. 1450-1461.
- Ndiaye, E. M. (2003). Le fleuve Sénégal et les barrages de l'OMVS : quels enseignements pour la mise en oeuvre du NEPAD ? *Vertigo – la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], vol. 4, n° 3, <http://vertigo.revues.org/3883> (Page consultée le 7 janvier 2015).
- Niasse, M. (2006). Les bassins fluviaux transfrontaliers. In CEDEAO-CSAO/OCDE (Communauté économique des états de l'Afrique de l'Ouest - Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest/Organisation de coopération et de développement économiques), *Atlas de l'Intégration Régionale en Afrique de l'Ouest*, <http://www.oecd.org/fr/csao/publications/38410112.pdf> (Page consultée le 25 août 2014).
- OMVS (Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal). (2013). Étude d'impact environnemental et social (EIES) des investissements du PGIRE II. In OMVS, *Projet de gestion intégrée des ressources en eau et de développement des usages multiples du bassin du fleuve Sénégal (PGIRE)*, [En ligne] http://www.portail-omvs.org/sites/default/files/publications/files/pgire_2-eies_pgire_ii_vf-diong.pdf (Page consultée le 14 mars 2015).
- OMVS (Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal). (2006a). Barrage de Diama : Rôles en enjeux. In OMVS. *Infrastructure régionale – le barrage de Diama*. [En ligne], http://www.portail-omvs.org/sites/default/files/fichierspdf/c2-barrage_diama_-_role_et_enjeux_-juin_2006_-_vf_1.pdf (Page consultée le 29 janvier 2015).
- OMVS (Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal). (2006b). Étude des impacts environnementaux du projet d'aménagement de Félou. *Rapport d'Évaluation de l'impact environnemental*, Mali, 176p.
- OMVS (Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal). (s. d.). Projets de barrages. In OMVS. *Infrastructure régionale – projets de barrages*. <http://www.portail-omvs.org>

omvs.org/infrastructure-regionale/barrages/projets-barrages (Page consultée le 29 janvier 2015).

- ONU (Organisation des nations unies). (2013). World Population Prospects: The 2012 Revision, -Volume II, Demographic Profiles. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, ONU, New York.
- Pacini, N., Donabaum, K., de Villeneuve, P. H., Konecny, R., Pineschi, G., Pochon, Y., Salerno, F., Schwaiger, K., Tartari, G., Wolfram, G. et Zieritz, I. (2013). Water-quality management in a vulnerable large river: the Nile in Egypt. *International Journal of River Basin Management*, vol. 11, n° 2, p. 205-219.
- Pelicice, F. M. et Agostinho, A. A. (2008). Fish-passage facilities as ecological traps in large neotropical rivers. *Conservation Biology*, vol. 22, n° 1, p. 180-188.
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (1971). Texte de la convention
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (1992a). Gueumbeul. In Ramsar, *Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/338> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (1992b). Parc National du Djouj. In Ramsar, *Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/138> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (1992c). Bassin du Ndaïel. In Ramsar, *Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/139> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (1994). Parc National du Diawling. In Ramsar, *Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/666> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (2000). Complexe Kokorou-Namga. In Ramsar, *Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/1071> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (2004). Delta moyen du Niger. In Ramsar, *Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/1365> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (2005a). Zone humide du moyen Niger II. In Ramsar, *Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/1383> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (2005b). Zone humide du moyen Niger. In Ramsar, *Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/1073> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (2005c). Parc national du "W". In Ramsar, *Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/355> (Page consultée le 29 mars 2015).

- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (2008a). Lower Kaduna-Middle Niger floodplain. *In Ramsar, Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/1755> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (2008b). Oguta Lake. *In Ramsar, Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/1757> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (2008c). Foge Islands. *In Ramsar, Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/1754> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (2008d). Upper Orashi Forests. *In Ramsar, Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/1759> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (2008e). Apoi Creek Forests. *In Ramsar, Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/1751> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (2013a). Lac Magui. *In Ramsar, Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/2126> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Ramsar (Convention de Ramsar sur les milieux humides d'importance internationale). (2013b). Réserve Naturelle Communautaire de Tocc Tocc. *In Ramsar, Ramsar Site Information Service*, <https://rsis.ramsar.org/ris/2199> (Page consultée le 29 mars 2015).
- Renöfält, B. M., Jansson, R. et Nilsson, C. (2010). Effects of hydropower generation and opportunities for environmental flow management in Swedish riverine ecosystems. *Freshwater Biology*, vol. 55, p. 49-67.
- Richter, B. D. et Thomas, G. A. (2007). Restoring environmental flows by modifying dam operations. *Ecology and Society*, vol. 12, n° 1, [En ligne] <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art12/>.
- Rolls, R. J., Stewart-Koster, B., Ellison, T., Faggotter, S. et Roberts, D. T. (2014). Multiple factors determine the effect of anthropogenic barriers to connectivity on riverine fish. *Biodiversity Conservation*, vol. 23, p. 2201-2220.
- SCDB (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique). (2014). Stratégies et plans d'action nationaux pour la biodiversité (SPANB). *In Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Convention sur la diversité biologique*. <https://www.cbd.int/nbsap/default.shtml> (Page consultée le 24 mars 2015).
- SCDB (Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique). (n.a.). Biodiversité des eaux intérieures. *In Programme des Nations Unies pour l'Environnement, Convention sur la diversité biologique*. <http://www.cbd.int/waters/default.shtml> (Page consultée le 13 avril 2014).
- Schnaiberg, J., Riera, J. Turner, M. G. et Voss, P. R. (1993). Explaining human settlement patterns in a recreational lake district: Vilas County, Wisconsin, USA. *Environmental Management*, vol. 30, n° 1, p. 24-34.

- Sid'Ahmed, B. O. (2013). Étude d'impact environnemental et social (EIES) des investissements du PGIRE II. In OMVS, Rapport final du *Projet de gestion des ressources en eau et développement des usages multiples du bassin du fleuve Sénégal (PGIRE)*, 268 p.
- Souchon, Y. et Nicolas, V. (2011). Barrages et seuils : principaux impacts environnementaux. In ONEMA (Office national de l'eau et des milieux aquatiques) et Cemagref, Rapport final de *Partenariat 2011 – Dynamique physique – action 23-24 Restauration*, novembre 2011, 28 p.
- Sultanian, E. et van Beukering, P. J.H. (2008). Economics of Migratory Birds: Market Creation for the Protection of Migratory Birds in the Inner Niger Delta (Mali). *Human Dimensions of Wildlife*, vol. 13, n° 3, p. 3-15.
- Suski, C. D. et Cooke, S. J. (2007). Conservation of aquatic resources through the use of freshwater protected areas: opportunities and challenges. *Biodiversity Conservation*, vol. 16, p. 2015-2029.
- TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity). (2010). L'économie des écosystèmes et de la biodiversité pour les décideurs politiques locaux et régionaux. Rapport truc. http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Reports/Local%20and%20Regional%20Policy%20Makers/D2%20Report/Translations/TEEB_D2_French%2010.11.2011.pdf (Page consultée le 7 juin 2014).
- Thomas, T. H. L. et Adams, W. M. (1999). Adapting to dams: Agrarian change downstream of the Tiga Dam, Northern Nigeria. *World Development*, vol. 27, n° 6, p. 919-935.
- Tockner, K. et Stanford, J. A. (2002). Riverine flood plains: present state and future trends. *Environmental Conservation*, vol. 29, n°3, p. 308-330.
- UICN (Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources). (2004). Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification : Éléments de stratégie régionale de préparation et d'adaptation. Niassé, Madiodio, Afouda, Abel et Amani (éd.), *UICN*, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni, 71 p.
- UICN (Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources). (2006). The status and distribution of freshwater biodiversity in Western Africa.
- UICN (Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources). (2006). *IUCN Red List of Threatened Species*, www.iucnredlist.org (page consultée le 10 octobre 2014).
- UICN-PACO (Union internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources – Programme d'Afrique centrale et occidentale). (2012). Dialogue régional sur les grandes infrastructures hydrauliques en Afrique de l'Ouest – La concertation en actes de 2009 à 2011. In UICN-PACO, http://cmsdata.iucn.org/downloads/version_francaise_1.pdf (Page consultée le 4 avril 2015). Ouagadougou, Burkina Faso. UICN-PACO, 44 p.
- Uluocha, N. O. et Okeke, I. C. (2004). Implications of wetlands degradation for water resources management: Lessons from Nigeria. *GeoJournal*, vol. 61, p. 151-154.

- Vatan, A. (1967). *Manuel de sédimentologie*. Paris, Technip, 224 p.
- Zahar, Y., Ghorbel, A. et Albergel, J. (2008). Impacts of large dams on downstream flow conditions of rivers: Aggradation and reduction of the Medjerda channel capacity downstream of the Sidi Salem dam (Tunisia). *Journal of Hydrology*, vol. 351, p. 318-330.
- Zwarts, L., van Beukering, P., Kone, B. et Wymenga, E. (2005a). Summary and conclusions. *In In Zwarts, L., van Beureking, P., Kone, B. et Wymenga, E. The Niger, a lifeline: Effective water management in the Upper Niger Basin* (Chapter 14 p. 249-261). Lelystad, Sévaré, Amsterdam, Veenwouden. RIZA, Wetlands International, IVM, A&W ecological consultants (eds).
- Zwarts, L., Cissé, N. et Diallo, M. (2005b). Hydrology of the Upper Niger. *In Zwarts, L., van Beureking, P., Kone, B. et Wymenga, E. The Niger, a lifeline: Effective water management in the Upper Niger Basin* (Chapter 2 p. 15-42). Lelystad, Sévaré, Amsterdam, Veenwouden. RIZA, Wetlands International, IVM, A&W ecological consultants (eds).