

# Dynamique des berges du fleuve Sénégal après la construction des barrages (1990-2020) : l'axe Wending-Walalde dans l'île à morfil (rive gauche du fleuve Sénégal)

---

**Amadou GUEYE**

[gueye.amadou@ugb.edu.sn](mailto:gueye.amadou@ugb.edu.sn)

**Amadou Tidiane DIA**

Université Gaston BERGER (UGB), Laboratoire Leïdi "Dynamique des Territoires et Développement", Département de géographie, BP 234 Saint-Louis, Sénégal

**Seydou Alassane SOW**

Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie, BP 5005 Dakar-Fann, Sénégal

## Résumé

Les berges du fleuve Sénégal, dans le secteur de l'île à Morfil, se caractérisent par leur vulnérabilité aux forces courantométriques, particulièrement dans le contexte post-barrages. Les résultats de cette étude révèlent que le recul des berges varie entre 0 et 1,41 m/an, selon l'indice *Linear Regression Rate (LRR)*, tandis que l'indice End Point Rate (EPR) indique des taux d'érosion oscillant entre 0 et 1,53 m/an. Avec des taux d'accrétion compris entre 0,01 et 2,21 m/an, ces deux indices suggèrent une prédominance de la sédimentation sur l'érosion, soit respectivement 57,47% et 42,53% du linéaire.

Les mesures expérimentales réalisées sur la petite et la haute levée entre 2014 à 2020 affichent des reculs rarement supérieurs à 1 m/an. Ces faibles taux d'érosion confirment la stabilité générale qui caractérise les berges, en particulier sur la haute levée, dont le pied est rarement atteint par la crue. Avec la montée des eaux, la petite levée et la haute levée enregistrent des reculs moyens annuels variant respectivement entre 0,21 à 0,67 m et entre 0 et 0,48 m. Les reculs mesurés sur la petite levée, durant la période de décembre à mai, compris entre 0,12 et 0,27 m/an, mettent en évidence l'impact morphogénique des lâchers d'eau du barrage de Manantali.

**Mots clés** : Dynamique des berges, levées, barrages, DSAS

## Dynamics of the Senegal river banks after the building of the dam (1990-2020): the Wending-Walalde axis on morfil island (left bank of the Senegal river)

## Abstract

The Senegal River banks, in Morfil Island, are characterized by their sensitivity to hydrodynamic processes, particularly after the construction of the dam. The results of the study reveal that the shoreline erosion varies between 0 and 1.41 m/year according to the LRR index and from 0 to 1.53 m/year according to the EPR index. With accretion rates between 0.01 and 2.21 m/year, these two indices suggest a predominance of sedimentation (57.47%) over erosion (42.53%).

Experimental measurements carried out on the low and high alluvial levees from 2014 to 2020 display erosion rates rarely exceeding 1 m/year. These low erosion rates measured confirm the general stability which characterizes the banks, especially on the high alluvial levee, which is rarely reached by the flood. With the rising water, the low and high alluvial levees record average annual erosion that oscillates, respectively from 0.21 to 0.67 m and from 0 to 0.48 m.

The erosion measured on the low alluvial levee which covers the period of December-May, ranging between 0.12 and 0.27 m highlights the morphogenic impact of water releases from the Manantali dam.

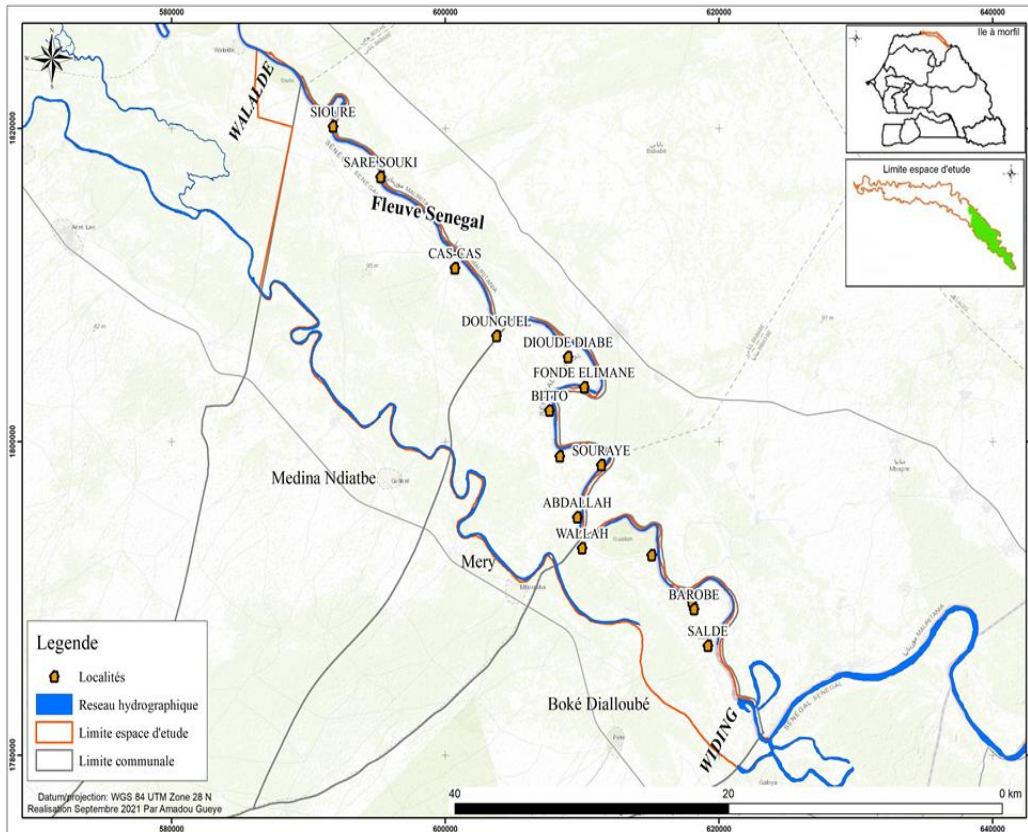
**Keywords**: dynamics of banks, alluvial levee, dam, DSAS

## Introduction

La construction des barrages sur les fleuves entraîne des changements du régime hydrologique, influençant ainsi la morphodynamique (Rossi, 1996). Au Sénégal, dès les premières années suivant leur mise en eau, plusieurs études ont mis en évidence les effets des barrages sur l'évolution de la morphodynamique des berges (Michel et *al.*, 1993 ; Kane, 1997). Près de quarante années après la mise en service des barrages, des transformations géomorphologiques notables du tracé des berges sont observables à l'échelle de l'ensemble de la vallée (Gueye A. et al., 2023).

Pourtant, peu de recherches ont été menées sur l'évolution de ces berges depuis la construction des barrages (Kane, 1997 ; Ndiaye, 2004 ; Niang, 2008 ; Gueye A., 2015, Mbaye, 2019 ; Gueye A., 2022). De plus, la plupart de ces recherches se limitent à constater le recul des berges. Dans ce contexte, cet article qui se focalise sur l'axe Wending-Walaldé vise à apporter une contribution à la compréhension de la dynamique des berges après l'édification des barrages.

Cet axe d'étude est situé sur la rive gauche du fleuve Sénégal, plus précisément dans l'île à Morfil. Celle-ci prend naissance à Winding, près de Galoya, où le fleuve Sénégal se divise en deux cours d'eau principaux, encerclant l'île à Morfil sur plus de 200 km. Après Galoya, le Sénégal se rapproche du Diéri (Contrairement au Walo, le Dieri (ou Jeeri) désigne une zone non inondée par la crue. Le Diéri est un espace dédié à l'agriculture pluviale) mauritanien qu'il longe de Bababé à Bogué (Lors de la transgression nouackchottienne, l'embouchure du fleuve Sénégal se trouvait dans cette localité de la rive droite, en Mauritanie), tandis que l'autre cours d'eau permanent, le Doué, borde le Diéri sénégalais (Léricollais et Diallo, 1981). Le choix de cet axe se justifie par la sinuosité (forme méandriforme) de ses berges et leur rôle essentiel dans les activités socio-économiques des populations locales. D'un point de vue géomorphologique, ces berges appartiennent aux formations alluviales caractéristiques de la région de Kaédi-Boghé (Léricollais et Diallo, 1981). Dans le secteur Galoya-Saldé, les levées alluviales recouvrent presque toute la vallée avant de se diviser en aval en deux bandes de terre longeant chaque cours d'eau.



**Figure 1.** Localisation de la zone d'étude

Cette zone se distingue par la présence de systèmes de levées constamment remodelés par l'action combinée de l'érosion, du transport et du dépôt des sédiments (Gueye, 2022). La dynamique des berges s'inscrit dans un cadre évolutif allant du Subactuel à l'Actuel (de 2 000 ans *BP* à nos jours) (Michel, 1973). Cet épisode climatique, marqué par une diminution des crues, se traduit par un sapement progressif des levées post-nouackchottiennes. Par ailleurs, ce contexte général s'articule avec la construction des barrages de Diama et de Manantali, dont l'impact a profondément modifié l'hydrologie et l'environnement fluvial du fleuve Sénégal (Kane, 1997 ; Niang, 2008).

L'objectif de cet article est d'analyser la dynamique actuelle des berges du fleuve Sénégal en s'appuyant sur des mesures *in situ* et l'outil Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Cette dynamique est influencée à la fois par le régime des crues et par les lâchers d'eau du barrage de Manantali.

## 1.Méthodes et outils

La méthodologie adoptée pour suivre l'évolution de la dynamique des berges repose sur l'installation de stations de mire au niveau des levées alluviales ainsi que l'analyse spatiale. Cette méthode est ensuite complétée par celle du DSAS.

### 1.1. Suivi de l'érosion fluviale par des stations de mires

L'érosion des berges est mesurée à l'aide de stations d'observations ponctuelles, installées en complément de celles déjà existantes depuis 2015 (Saldé, Wallah, Thioubalel Lao, Bitto Lao, Fondé Élimane et Dioudé Diabé). Pour quantifier précisément le recul des berges, 44 barres de fer de 1 m de long ont été enfoncées verticalement dans le sol des berges. La distance mesurée entre chaque barre de fer et le pied de la berge permet d'évaluer de manière ponctuelle le taux de recul annuel ainsi que la perte cumulée sur l'ensemble de la période

d'observation. Les sites d'étude ont été choisis en fonction de la morphologie des berges avec l'installation de stations dans chaque localité étudiée, soit un total de 44 stations.



**Photo 1** : Mise en place des stations de mire pour le suivi de l'érosion fluviale à Fondé Élimane, Cliché GUEYE A. août 2016

Chaque année, deux séries de contrôle sont effectuées sur la haute levée, respectivement en août et en septembre. Les autres contrôles concernent la petite levée, avec une première observation après le retrait de la crue (novembre-décembre) et une seconde au mois de mai. Le premier contrôle vise à évaluer l'impact de la crue, tandis que le second permet d'analyser les effets des lâchers d'eau.

La distance mesurée entre la station de mire et la berge fournit une évaluation ponctuelle de l'érosion à chaque site d'observation. La précision de cette méthode permet de détecter des variations de l'ordre du centimètre. Pour limiter autant que possible la disparition des mires avant la fin de la phase de suivi, les stations ont été enfoncées à une profondeur de 40 cm. Elles ont été installées à différents niveaux : dans la partie supérieure des berges, au milieu, ainsi qu'à leur pied, là où des encoches d'érosion fluviale sont parfois observées.

## 1.2. Suivi de la dynamique des berges par analyse spatiale

L'approche méthodologique appliquée dans cet article s'inspire des études de dynamique littorale. Les données sont intégrées dans une base d'informations géographiques. L'étude s'appuie principalement sur des images satellitaires Landsat datant de 1973, 1987, 1990 et 2020. La ligne de référence du trait de base correspond à la position instantanée de la ligne de berge. La numérisation de ces traits de berge a été effectuée à l'aide du logiciel *ARCGIS 10.2.2*, où le trait de berge représente la limite terre-eau, marquant ainsi le contact de l'eau avec la berge (Gueye, 2022 ; 2025).

L'évolution de la dynamique du trait de berge a été étudiée sur une période de 30 ans à l'aide du programme *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* sous *ARCGIS*. Développée par Thieler *et al.* (2009), cette extension utilise deux indices d'évaluation : l'indice *EPR (End Point Rate)*, qui mesure en la position de deux traits successifs, et l'indice *LR (Linear Regression)*, qui estime les taux d'évolution de chaque site sur l'ensemble de la période de référence. Ces transects permettent de mesurer les écarts entre les traits de berge et de calculer les taux moyens de déplacement le long de chaque transect (Thior *et al.*, 2021).

La méthode des points extrêmes (*End Point Rate - EPR*) : l'EPR est calculé comme le rapport entre la distance, mesurée sur le transect, séparant le trait de berge le plus récent et le plus ancien, et le nombre d'années écoulées entre ces deux états (Himmelstoss, 2009 ; Jamont, 2014).

La méthode de la régression linéaire (*Linear Regression - LRR*) repose sur une régression linéaire des moindres carrés appliquée aux intersections des traits de berge historiques pour un transect donné. La pente de la droite de régression obtenue représente le taux de

changement linéaire exprimé en mètres par an (Himmelstoss, 2009 ; Jamont, 2014). Dans cette étude, une marge d'erreur de 4 m a été retenue pour chaque ligne de référence. Les erreurs potentielles peuvent être attribuées aux incertitudes liées aux images satellitaires ainsi qu'à celles associées aux mesures de numérisation entre le trait de berge et le cours d'eau.

## 2. Résultats

Les résultats exploités proviennent des campagnes de suivi du recul de la berge menées entre 2014 et 2020, ainsi que de l'analyse spatiale. Les données de terrain et du DSAS sont comparées et analysées successivement.

### 2.1. Analyse des résultats *in situ*

Les mesures ont été effectuées en suivant la topo-séquence : petite levée - haute levée. A cet effet, l'analyse se focalise d'abord sur la petite levée, puis sur la haute levée, en comparant les résultats obtenus.

#### 2.1.1. Dynamique de la petite levée

L'étude de la dynamique érosive de la petite levée s'appuie sur deux périodes distinctes de l'année : octobre-novembre et décembre-mai. Les mesures, réalisées à l'aide de stations de mires (barres de fer) implantées verticalement sur les deux levées, ont révélé que l'érosion annuelle moyenne est nettement plus marquée sur la petite levée que sur la haute levée.

#### Séquence octobre-novembre

La décrue commence au mois d'octobre dans cette zone. Les mesures effectuées durant cette période permettent donc d'évaluer l'impact de la crue annuelle sur la petite levée.

**Tableau 1** : Recul minimal et maximal sur la petite levée

	Recul	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Moyenne
Petite levée Saldé	Minimum		0,85	0,3	0,25	0,55	0,2	0,7	0,475
	Maximum		1,4	0,5	0,6	0,7	0,45	1,2	0,80833333
Petite levée Wassetaké	Minimum		0,3	0,3	0,23	0,47	0,4	0,57	0,37833333
	Maximum		0,72	0,47	0,7	0,6	0,93	1,5	0,82
Petite levée Diaranguel	Minimum			0,47	0,37	0,5	0,3	0,39	0,406
	Maximum			0,78	0,6	0,51	0,42	0,75	0,612
Petite levée Wallah	Minimum		0,27	0,2	0,19	0,24	0,32	0,4	0,27
	Maximum		0,63	0,5	0,38	0,7	0,7	0,82	0,62166667
Petite levée Souraye	Minimum		0,6	0,45	0,4	0,64	0,35	0,48	0,48666667
	Maximum		0,78	0,67	0,47	0,76	0,87	0,56	0,685
Petite levée Thioubalel Lao	Minimum		0,54	0,37	0,67	0,24	0,34	0,5	0,44333333
	Maximum			0,62	0,6	0,65	0,54	0,76	0,634
Petite levée Bitto-Fondé Elimane	Minimum	0,23	0,57	0,4	0,47	0,26	0,61	0,35	0,44333333
	Maximum	0,52	0,7	0,54	0,77	0,46	0,65	0,7	0,63666667
Petite levée Dounguel	Minimum	0,15	0,45	0,28	0,48	0,43	0,33	0,4	0,395
	Maximum		0,65	0,74	0,55	0,81	0,64	0,35	0,62333333
Petite levée Saré Souki	Minimum			0,13	0,17	0,4	0,15	0,26	0,222
	Maximum			0,74	0,48	0,51	0,65	0,85	0,646
Petite levée Siouré Thiambé	Minimum			0,35	0,63	0,6	0,21	0,26	0,41
	Maximum			0,5	0,7	0,74	0,52	0,36	0,564

Source : Mesures *in situ* réalisées par Gueye A. (2021)

Les campagnes de mesures *in situ* menées régulièrement depuis 2014 dans certains secteurs (Bitto-Lao, Fondé Élimane et Dioudé Diabé), depuis 2015 dans d'autres (Saldé, Wassetaaké,

Wallah, Souraye, Thioubalel et Dounguel), et depuis 2016 pour Saré Souki et Siouré Thiambé, ont permis de quantifier le recul de la berge à l'échelle annuelle et interannuelle. Les résultats de la campagne de suivi du recul des berges dans l'axe Wending-Walaldé mettent en relief des taux d'érosion moyens annuels fluctuant entre 0,13 à 1,5 m/an le long de l'axe Wending-Walaldé. Les reculs les plus élevés sont notés durant les années 2015 et 2020. Toutefois, l'érosion latérale ne s'exerce pas de manière uniforme et dépend largement des caractéristiques morpho-pédologiques des berges. Les reculs les plus marqués sont enregistrés dans les zones où la hauteur de la berge avoisine les 10 m.

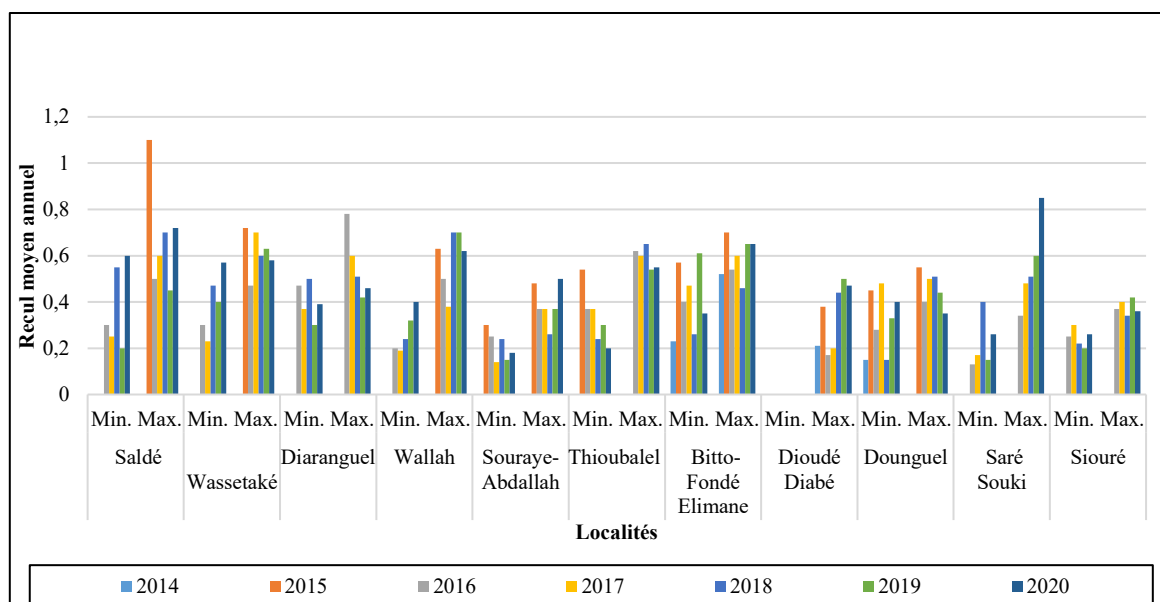


**Photo 2** : Jardin de maïs menacé par l'érosion latérale  
Source : *Cliché A. GUEYE, décembre 2014*

La berge concave recule plus rapidement sous l'effet du front des courants, tandis que la berge convexe, servant de zone d'accumulation des sédiments en suspension, bénéficie de conditions hydrodynamiques plus calmes, favorisant ainsi la décantation fine.

La morphodynamique de la petite levée se traduit par des trains de méandres résultant de l'activité érosive et des bancs de sable qui se raccordent à l'unité. Les mesures effectuées sur cinq ans donnent donc une vue globale de la dynamique érosive des berges.

La figure 2 illustre la variabilité spatio-temporelle du recul, montrant que dans l'axe Wending-Walaldé, le recul moyen interannuel oscille entre 0,22 et 0,8 m, sur un segment de 87 km.



**Figure 2** : Recul moyen annuel de la petite levée dans l'espace et dans le temps  
 Source : Données de terrain recueillies par A. GUEYE (2021)

Le recul moyen annuel de la petite levée varie selon les localités observées. Le minimum est enregistré à la station de Souraye-Abdallah, tandis que le maximum est observé à Saldé. Tout au long de la période d'observation, le recul a également fluctué au sein de chaque village. Les localités situées en amont de la zone d'étude, notamment Saldé et Wassetaké, enregistrent les plus fortes valeurs de recul. L'érosion latérale des berges, bien particulièrement marquée à Saldé et Wassetaké, demeure significative dans d'autres villages tels que Thioubalel Lao, Fondé Élimane, Dounguel et Saré Souki, où le recul dépasse 0,5 m. Plus précisément, il atteint 0,66 m à Fondé Élimane, 0,69 m à Thioubalel Lao et 0,76 m à Dounguel (Tableau-1 et Figure-2). A l'inverse, à Dioudé Diabé et Abdallah, la vitesse de recul des berges est plus faible, avec des valeurs respectives de 0,12 et 0,2 m, inférieures à celles observées en amont.

L'analyse de l'évolution du recul de la petite levée de 1990 à 2020 révèle que seules les années 2015 et 2020 ont enregistré un recul dépassant 1 m. Les mesures mettent en évidence une action érosive quasi permanente sur la petite levée, principalement due à l'écoulement fluvial. Ce phénomène prend de l'ampleur lors des crues, lorsque des blocs de sédiments sont imbibés et arrachés sous l'effet du courant. Les observations de terrain, réalisées au début du retrait des eaux en octobre, confirment que l'ampleur du recul est directement liée à l'intensité de la montée des eaux. Durant toute la période d'observation, les reculs les plus marqués sont enregistrés au moment du retrait des eaux, en octobre, avec des valeurs comprises entre 85 et 125 cm. Ainsi, lors des crues, la petite levée subit un fort processus morphogénique. La montée des eaux imbibent la base des berges, provoquant un affouillement intense. Dès le mois d'octobre, la diminution du niveau de l'eau réduit le soutien exercé sur les berges, qui finissent par s'effondrer. Celles qui résistent sont progressivement érodées par les premières crues suivantes ou par les lâchers d'eau du barrage de Manantali. L'ampleur de l'érosion des berges varie selon les années, en fonction des variations du débit des hautes eaux et des étiages.

### **Suivi du recul de la berge entre décembre et mai**

Les mesures effectuées entre décembre et mai ciblent uniquement la petite levée afin d'évaluer l'impact des lâchers d'eau du barrage de Manantali. Entre 2016 et 2020, le recul observé est de l'ordre du centimètre. En dépit de la faiblesse des taux d'érosion, nous retenons que la berge reste soumise à l'action fluviale même en période de décrue. Les valeurs relevées dans les différentes localités sont relativement homogènes, avec un recul moyen compris entre 12 et 27 cm. Ce phénomène s'explique par les lâchers d'eau du barrage de Manantali, qui entretiennent les débits d'étiage. A cette période, le niveau de l'eau étant bas, le courant

attaque directement la base (pied) de la berge, poursuivant ainsi l'érosion amorcée lors de la crue précédente. Le creusement progressif du pied de berge affaiblit sa structure, entraînant l'effondrement de la partie supérieure qui se trouve en surplomb. Ces matériaux éboulés sont ensuite repris et transportés par le courant fluvial. L'unité géomorphologique de la petite levée est ainsi constamment remodelée par l'action fluviale, contrairement à la haute levée.

### 2.1.2. Dynamique érosive de la haute levée

Les résultats contenus dans le tableau II montrent que la dynamique érosive de la haute levée, en lien avec les mesures effectuées pendant la crue maximale (août, septembre et octobre), suggère que l'érosion est particulièrement influencée par l'action du courant lorsque les eaux montent. Ce phénomène pourrait être lié à la force de l'eau et à sa capacité à déplacer des matériaux, affectant ainsi la stabilité de la levée au fil des crues. L'étude de ces périodes spécifiques permet de mieux comprendre comment la levée réagit sous l'effet des crues maximales.

**Tableau 2 : Résultats du suivi du recul de la haute levée de 2014 à 2020**

	Recul	Années							
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Moyenne
Haute levée Saldé	Minimum		0,3	0,5	0,16	0,45	0,8	0,72	0,488333333
	Maximum		0,8	0,92	0,3	0,85	1	1,3	0,861666667
Haute levée Wassetaké	Minimum		0,2	0,18	0,15	0,23	0,12	0,34	0,203333333
	Maximum		0,5	0,6	0,23	0,44	0,25	0,45	0,411666667
Haute levée Diaranguel	Minimum			0,15	0,19	0,22	0,17	0,25	0,196
	Maximum			0,7	0,48	0,55	0,66	0,98	0,674
Haute levée Wallah	Minimum		0,27	0,14	0,1	0,17	0,22	0,51	0,235
	Maximum		0,8	0,72	0,18	0	0,4	0,65	0,458333333
Haute levée Souraye	Minimum		0	0	0	0	0	0	0
	Maximum		0	0	0	0	0	0	0
Haute levée Thioubalel Lao	Minimum		0,3	0,3	0	0,14	0,26	0,33	0,221666667
	Maximum		0,53	0,62	0	0,62	0,28	0,6	0,441666667
Haute levée Bitto-Fondé Elimane	Minimum	0,04	0,2	0,32	0,17	0,2	0,3	0,27	0,243333333
	Maximum	0,35	0,46	0,5	0,6	0,54	0,54	0,63	0,545
Haute levée Dounguel	Minimum	0,12	0,15	0,23	0	0,2	0,14	0,12	0,14
	Maximum	0,21	0,34	0,28	0,15	0,35	0,26	0,3	0,28
Haute levée Saré Souki	Minimum	0	0	0	0	0			0
	Maximum			0	0	0	0	0	0
Haute levée Siouré Thiambé	Minimum			0	0	0	0	0	0
	Maximum			0	0	0	0	0	0

Source : Mesures *in situ* réalisées par Gueye A. (2021)

Dans certaines localités (Souraye, Saré Souki et Siouré Thiambé), bien que les eaux aient monté, la haute levée n'a pas subi de recul entre 2016 et 2020. Cette stabilité s'explique moins par l'intensité des crues que par la morphologie de la berge, qui forme une boucle à rayon de courbure marqué. De ce fait, les berges sont éloignées des eaux de crue et ne sont donc pas affectées par le recul.

Les sédiments érodés au niveau de la haute levée au fil des années forment des bancs de sable la protégeant face au courant fluvial. Au lieu d'éroder la haute levée, le courant décape les bancs de sable. Ce qui entraîne un assèchement de la haute levée et son éloignement des flots du fleuve. Il en résulte un abandon des méandres pour en créer de nouveaux.

Toutefois, des reculs importants ont été observés, particulièrement dans la partie en amont de l'espace d'étude. Dans les villages de Saldé, Wassetaké, Diaranguel et dans le secteur Bitto Lao-Fondé Élimane, le recul moyen minimal mesuré sur la haute levée est égal ou supérieur au recul maximal enregistré dans d'autres localités. A Saldé, par exemple, le recul moyen minimal observé pendant la période de suivi est de 0,48 m/an, dépassant légèrement le recul maximal noté à Thioubalel Lao (0,44 m). Ces secteurs sont marqués par des éboulements, en

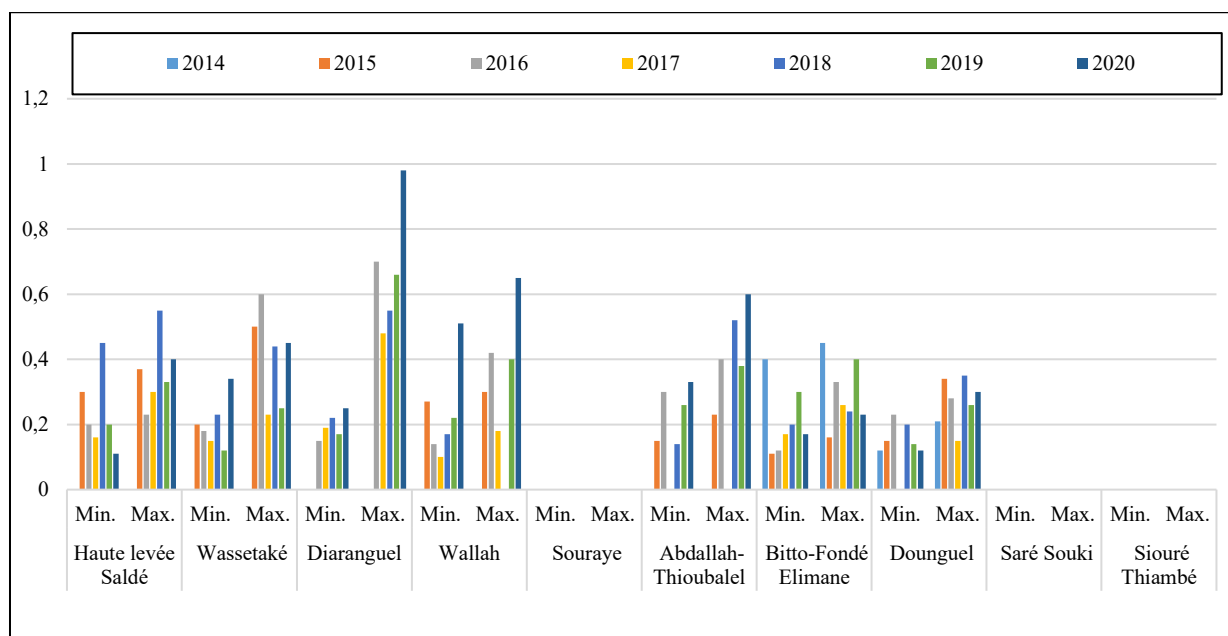
raison de la grande hauteur des berges, ce qui entraîne souvent un recul supérieur à un mètre dans la plupart des cas.



**Photo 3** : Rupture en plaques à Saré Souki  
*Source : Cliché GUEYE A., février 2019*

Lors de la période de décrue, les berges, mises en aplomb par la crue, subissent des ruptures en plaques, n'étant plus soutenues par la masse d'eau. Ce phénomène entraîne des reculs significatifs.

Le recul moyen interannuel varie entre 0 à 0,48 m, avec la valeur la plus élevée enregistrée à Saldé. Ce recul dépasse les valeurs maximales observées sur la petite levée, une unité constamment exposée à l'écoulement fluvial. Dans d'autres villages, des reculs proches ou légèrement supérieurs à 0,5 m/an ont également été mesurés au niveau de la haute levée.



**Figure 3.** Recul de la haute levée  
*Source : Données de terrain recueillies par A. GUEYE (2021)*

Les mesures effectuées révèlent que l'érosion absolue est nettement plus marquée sur la petite levée que sur la haute levée. Entre 2015 et 2020, l'érosion maximale y a été estimée à 6,57 m, contre 4,15 m pour la haute levée. Cette différence s'explique par le fait que la petite

levée est en contact permanent avec le courant fluvial, alors que la haute levée peut parfois rester hors d'atteinte des crues annuelles. Dans les localités où le rayon de courbure est prononcé, le fleuve tend à s'éloigner significativement de la haute levée, qui n'étant pas soumise aux fluctuations de la crue, ne subit alors aucun recul. Il est néanmoins à noter que le plus fort recul sur ces deux unités morpho-pédologiques est observé lors des épisodes de crue.

L'érosion dans la zone d'étude est principalement sporadique, la dynamique des berges alternant entre phases d'érosion et d'accumulation. Sur la rive gauche du Sénégal, ces processus se succèdent fréquemment aux mêmes endroits.

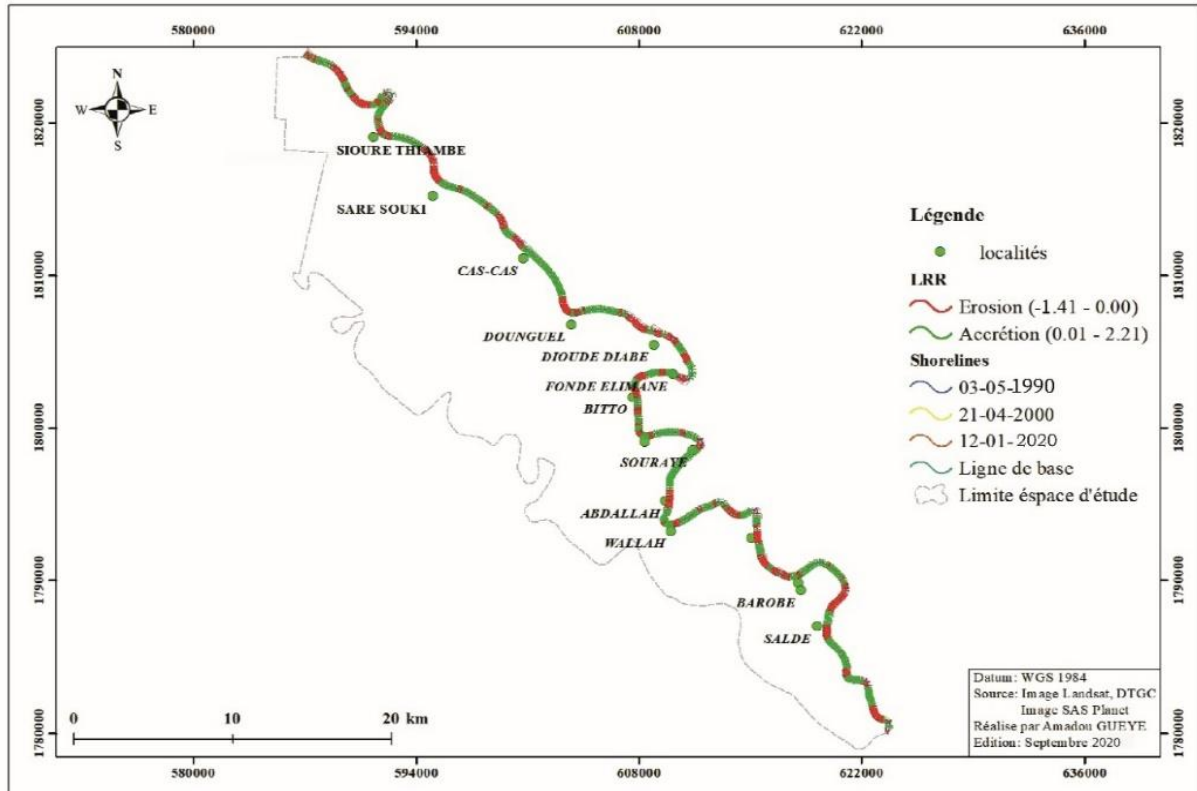
Le modelage continu de la rive gauche résulte à la fois des variations saisonnières et interannuelles des débits et hauteurs d'eau, ainsi que des apports solides issus de l'érosion des berges. De plus, l'interaction complexe entre les forces hydrodynamiques, la morphologie des berges et les caractéristiques sédimentologiques des matériaux contribuent à ce processus de façonnement de la rive. Le lit majeur est ainsi le fruit d'un long processus d'accumulation ayant favorisé la formation de terrasses argileuses et sableuses, particulièrement vulnérables à l'érosion fluviale (Michel, 1973).

Le recul de la berge observé principalement dans les concavités permet au cours d'eau d'optimiser sa capacité de transport ou d'adapter la géométrie de son lit aux crues de faible ampleur contenues entre ses berges (Kana, 2010). Lorsque les méandres atteignent une certaine courbure et sont progressivement abandonnés, la plupart des hautes levées entrent dans cette phase. Ils peuvent alors être recoupés naturellement lors des crues, formant des bras morts qui, avec le temps, se combleront sous l'effet des apports sédimentaires et de la matière organique.

## **2.2. Résultats du DSAS**

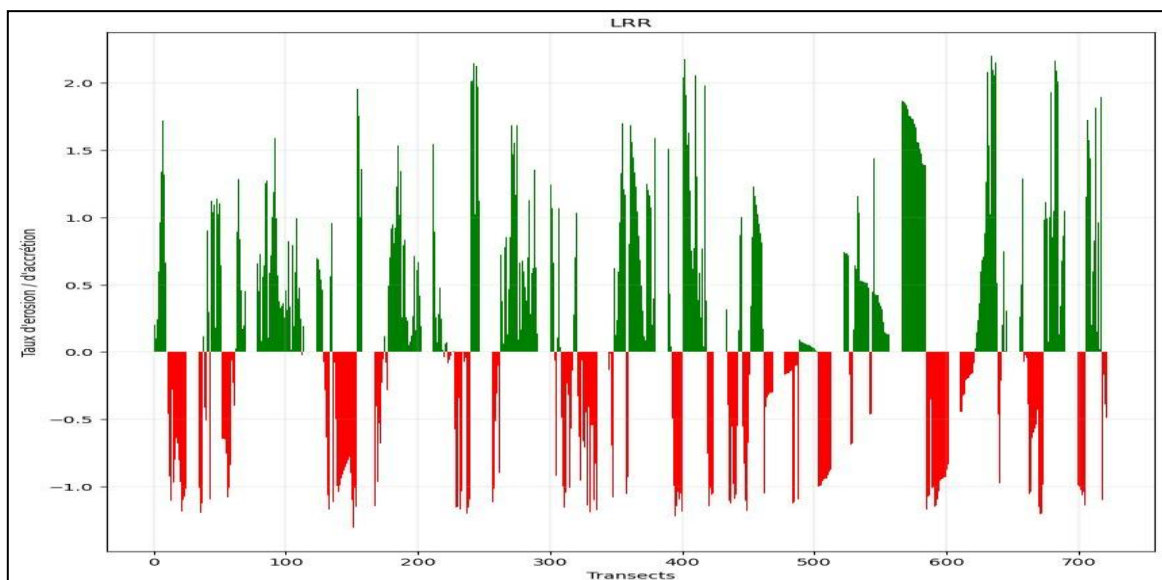
Avant la construction du barrage, les berges du fleuve Sénégal évoluaient principalement sous l'effet des crues, entraînant un recul moyen d'environ 2 m/an (Gueye, 2022). L'activité érosive était alors plus marquée, la crue n'étant pas régulée comme elle l'est aujourd'hui. Sa puissance érosive était donc bien plus importante qu'à l'heure actuelle, où elle peine à atteindre la base de la haute levée. Toutefois, dans plusieurs secteurs, les berges se stabilisaient déjà, comme c'est le cas dans la phase post-barrage.

Les taux d'érosion restent faibles dans l'ensemble aussi bien avec la méthode LRR ou EPR. Dans l'axe Wending-Walaldé, les processus morphodynamiques se traduisent par une alternance érosion-accrétion. Sur les 87 km, le linéaire érodé est estimé à 37 km, soit 42,53 %. L'analyse de l'évolution du tracé montre une relative stabilité de la berge, avec un recul fluctuant entre -1,41 et 0 m sur cette période (1990-2020).



**Figure 3 :** Suivi de l'érosion fluviale par la méthode LRR

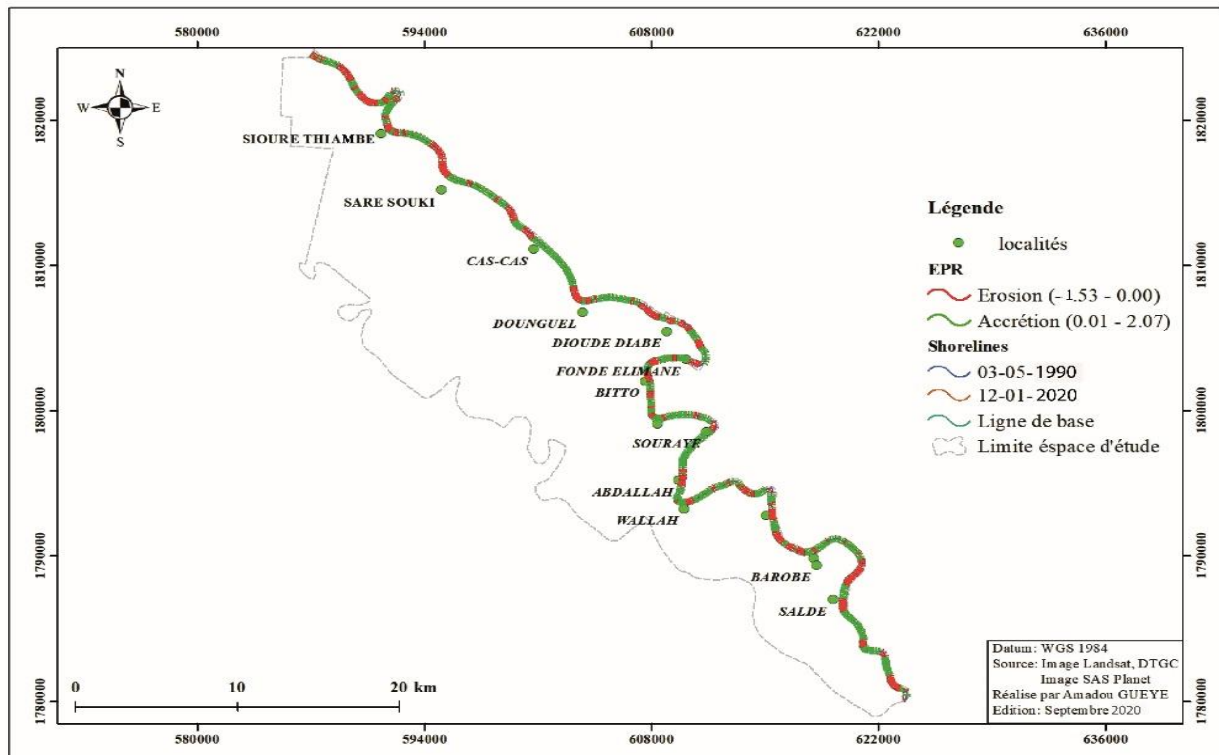
L'analyse par sections du linéaire révèle une concentration plus marquée de l'érosion dans la partie amont, caractérisée par de fortes sinuosités. Toutefois, le secteur Wending-Saldé, dont les berges restent stables, est en phase d'accumulation avec des taux de 0,39 et 0,41 m/an. Aucun tronçon ne présente une érosion constante sur l'ensemble de la période d'observation et de suivi : les phases d'érosion alternent avec les phases d'accumulation.



**Figure 4 :** Dynamique du tracé des berges avec l'indice LRR

L'analyse spatio-temporelle met en évidence une forte variabilité au cours de la période de référence. Le taux maximal d'érosion enregistré atteint -1,41 m/an, tandis que les accumulations peuvent atteindre jusqu'à 2,21 m/an sur l'ensemble de la période.

Les taux de recul et d'accrétion obtenus sont comparables, que ce soit avec la méthode de la *Linear Regression Rate* (LRR) ou celle de l'*End Point Rate* (EPR).



**Figure 5 :** Suivi de l'érosion fluviale par la méthode EPR

L'analyse de l'évolution historique des berges sur l'ensemble du linéaire étudié (87 km) à l'aide de l'indice EPR révèle une dynamique marquée par un recul latéral variant entre -1,53 et 0 m entre 1990 et 2020.

Les taux d'érosion obtenus durant cette période post-barrages avec le DSAS sont globalement faibles (-0,70 m/an). Ils sont proches de ceux obtenus sur le terrain. Toutefois, il existe des secteurs où les berges se caractérisent par une érodabilité intense. Le secteur Saldé-Wassetaké (tranchet 1 à 58) en est un ; des taux d'érosion compris entre -0,9 et -0,004 m/an y sont mesurés. En revanche, la section Dounguel-Cas-Cas, caractérisée par une berge rectiligne et des levées difficilement atteintes par les flots de la crue, est majoritairement en accrétion. Les secteurs les plus sinueux, soumis à de fortes forces hydrodynamiques, subissent une érosion plus marquée. C'est le cas du secteur Siouré-Saré Souki (-0,43/an).

La tendance à la sédimentation amorcée avant la construction du barrage s'est accentuée dans le contexte post-barrages (Gueye, 2022). Les taux d'accrétion varient entre 0,003 et 2,21 m/an, avec une moyenne annuelle de 0,81 m sur l'ensemble du linéaire. Cette prédominance de l'accrétion sur l'érosion s'explique par la réduction des débits morphogènes, limitant les capacités du fleuve à remodeler ses berges et son lit. D'ailleurs, selon Niang (2008), le tracé du Sénégal est resté relativement stable depuis les années 1950. La grande sécheresse des années 1970, bien qu'impactant le régime hydrologique, n'a pas entraîné l'arrêt de la morphogenèse fluviale. Les observations de terrain confirment également que, malgré l'amélioration des conditions hydrologiques, les berges libèrent peu de sédiments.

### 3. Discussion

A partir de deux méthodes différentes (stations de mire et DSAS), les résultats de cette mettent en évidence la sensibilité des berges du fleuve Sénégal aux forces courantométriques. Les mesures *in situ* montrent apparaître que les taux de recul ne suivent pas une diminution progressive d'amont en aval. Ces résultats sont en contradiction avec les conclusions de Michel et Sall (1984). Les boucles de Saldé-Wassétaké et Saré Souki sont beaucoup plus

érosives, comme le confirment les observations de terrain. Dans l'axe Wending-Walaldé, l'activité érosive pourrait être exacerbée par les forces hydrodynamiques résultant de la confluence du fleuve Sénégal et du Doué à Wending.

Les reculs mesurés sur la petite levée en période d'étiage sont en accord avec les travaux de Kane (1997). Celui-ci souligne qu'avec l'édification des barrages, la morphodynamique des berges est influencée à la fois par la crue de la Falémé et par l'ampleur ainsi que la fréquence des lâchers d'eau depuis Manantali. Il rajoute que l'artificialisation du régime hydrologique du fleuve Sénégal contribue à la dégradation des berges, dont le recul atteignait environ 1 m/an avant-barrages.

L'application de la méthode DSAS à Doué révèle que, dans la partie en amont de l'île à Morfil, ses berges sont légèrement plus érodables que celles du fleuve Sénégal. En effet, les résultats du LRR indiquent des taux d'érosion largement supérieurs à 1 m/an, atteignant un maximum de 1,81 m/an. A titre de comparaison, les berges du fleuve Sénégal enregistrent des reculs de -1,53 m/an (GUEYE A., 2022). Plus en aval, à environ une centaine de kilomètres, la grande boucle du Sénégal près de Podor présente un recul des berges comparable à celui observé sur l'axe Wending-Walaldé, avec un maximum de 10 m entre 1972 et 2003, soit 0,9 m/an (Niang, 2008).

Les études récentes menées par Ndour (2016) et Mbaye (2019) sur le fleuve Sénégal et ses tributaires (Ganguel Soulé, Diélla, Falémé, Doué), utilisant la méthode des piquets, révèlent des reculs faibles, similaires à ceux mesurés en étiage sur la petite levée. Dans la basse vallée, Ndiaye A. (2004) met en évidence que l'érosion affecte principalement les berges sableuses avec de matériaux non cohésifs et celles directement exposées à l'action des vagues. Ce phénomène entraîne des glissements et s'intensifie lors des épisodes de crue, notamment en raison des variations du niveau de l'eau causées par l'ouverture et la fermeture des vannes. La vitesse de recul dépend donc largement des forces hydrodynamiques (Niang, 2008 ; Gueye, 2022). L'un des principaux enseignements de cette étude est que l'artificialisation du régime hydrologique du fleuve Sénégal, amorcée en 1987 avec la mise en service des barrages, a profondément modifié ses conditions morphodynamiques. En maintenant un écoulement permanent dans le lit mineur, elle favorise le sapement latéral, l'érosion des berges et un alluvionnement intense. Au-delà du cas du Sénégal, de nombreuses études soulignent le rôle morphogénique des barrages, qui accélèrent, dans la plupart des cas, les processus morphodynamiques (Dzana, 2000 ; Aubry, 2012 ; Amassou et al., 2012 ; Kana, 2017 ; Bahin et al., 2017 ; Mbélé Abbo, 2018 ; Nzango, 2018).

Les barrages d'Assouan sur le Nil et les Trois Gorges sur le Yangtze en Chine suscitent une attention particulière en raison de leurs conséquences environnementales. Ils accentuent l'érosion des rives et modifient profondément la morphologie des fleuves qui les accueillent (Yang et al., 2007). En Afrique centrale, la construction d'un barrage sur le Bénoué, au Cameroun, a modifié et accentué la morphodynamique affectant ainsi l'équilibre (Abbo et al., 2021). Il en résulte, selon ces auteurs, une accélération des processus morphogéniques en aval, se traduisant par des glissements fréquents des berges et des déplacements par sections de 60 à 200 cm entre 1975 et 2016, soit un recul annuel moyen de 1,206 m. Toujours, au Cameroun, Kaïnaramsou et Tchotsoua (2019) indiquent que la vitesse d'évolution de l'érosion varie en fonction de la localisation des secteurs étudiés. Cette vitesse d'évolution de l'érosion atteint 1,29 m/an, avec une distance totale érodée de 110,70 m sur une période de 90 ans. Cette dynamique érosive des berges, après la mise en place du barrage sur le Bénoué est également confirmée par Dzeufack et al. (2022). Ces derniers montrent que les périodes 1985-1990 et 2013-2018 enregistrent les distances moyennes de migration les plus importantes, avec des taux d'érosion de 2,2 et 2,0 m/an, des taux de dépôt de 1,6 et 2,2 m/an, respectivement. Pour ces deux périodes, les rapports érosion/dépôt s'établissent en moyenne à 1,1 et 0,8.

## Conclusion

Il résulte des mesures *in situ* et le DSAS (LRR et EPR) que dans la période post-barrages, l'érosion persiste, mais avec des taux plus faibles inférieurs à 1,41 m/an. Les berges situées dans les secteurs Saldé-Wassétaké et Saré Souki restent les plus dynamiques en termes d'érosion et d'accrétion. Les reculs faibles mesurés sur le terrain viennent confirmer la relative stabilité des levées alluviales, notamment sur la haute levée, dont le pied est rarement imbibé par la crue. Les reculs moyens annuels varient entre 0,21 et 0,67 m sur la petite levée et entre 0 et 0,48 m sur la haute levée. Ces reculs sont spécifiquement observés pendant la période de crue. Les mesures effectuées sur la petite levée mettent en évidence deux périodes distinctes d'érosion au cours de l'année : d'octobre à novembre et de décembre à mai. Cette distinction a permis d'évaluer l'influence respective de la crue et des lâchers d'eau sur la dynamique érosive des berges. Entre octobre et novembre, le recul varie de 0,27 à 0,82 m/an, avec des valeurs particulièrement élevées en 2015 et 2020. De décembre à mai, les taux de reculs sont plus faibles, oscillant entre 12 et 27 cm. Les observations et mesures montrent que les lâchers d'eau de Manantali viennent compléter et accentuer le travail morphogénique initialement induit par la crue.

## Références bibliographiques

GUEYE Amadou, 2025, « Étude comparative de la morphodynamique des levées alluviales du Sénégal avant et après-barrages : la partie amont de l'île à Morfil (l'axe winding-walalde, rive gauche) » in UIRTUS, vol.5, n°1, Avril 2025.pp. 521-537.

GUEYE Amadou, DIA Amadou Tidiane, CISSE Cheikh Omar Tidjani et SY Boubou Adiouma, 2023, « *Etude du recul des berges dans la partie amont de l'île à Morfil (rive gauche du fleuve Sénégal) de 2014 à 2020* », in La revue Sciences sociales «Kafoudal» N°2 4e Année Juin 2022, pp 48-63

GUEYE Amadou, 2022, *Dynamique érosive des berges du fleuve Sénégal et risques associés sur l'axe Wending-Walaldé dans l'île à Morfil (rive gauche)*, thèse de Doctorat, UGB, Département de géographie, 211 p.

KANA Collins Etienne 2017, « Dynamique des berges du Logone entre la retenue de Maga et le lac Tchad et ses implications socio-économiques », *Revue Science Eaux & Territoires*, article hors-série, pp 1-8

KANE Alioune, 1997, *L'après-barrage dans la vallée du fleuve Sénégal. Modifications hydrologiques, morphologiques, géochimiques et sédimentologiques. Conséquences sur le milieu naturel et les aménagements hydro-agricoles*, Thèse de doctorat 3 cycle. UCAD. Département géographie, 251 p.

LERICOLLAIS André, 1980, *Peuplement et cultures de saison sèche dans la vallée du Sénégal*, Notice explicative n°81, ORSTOM, Paris, 523 p.

LERICOLLAIS André et DIALLO Yveline, 1980, *Peuplement et cultures de saison sèche dans la vallée du Sénégal, 7 Cartes et Notices*, OMVS/Orstom, Paris.

MBELE Abbo Felix, 2021, « Erosion fluviale et mutations morphométriques du drainage dans le secteur aval du barrage de Lagdo (Bassin de la Bénoué, Nord-Cameroun) », Proc. IAHS, 384, 113-119, <https://doi.org/10.5194/piahs-384-113-2021>.

MICHEL Pierre, 1973, *Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Étude géomorphologique, Thèse Strasbourg (1970)*, Mémoire ORSTOM, Paris, no 63,3 tomes, 752 p., 6 cartes couleurs au 1/200 000.

MICHEL Pierre et SALL Mamadou Moustapha, 1984, « Dynamique des paysages et aménagement de la vallée alluviale du Sénégal ». In : Mémoires ORSTOM. 106 : 89-109.

MICHEL Pierre, BARUSSEAU Jean Paul, RICHARD Jean François, SALL Mamadou Moustapha, 1993, *Après-barrages dans la vallée du Sénégal. Modifications hydrodynamiques et sédimentologiques. Conséquences sur le milieu et les aménagements hydro-agricoles*, Résultats des travaux du Projet Campus 1989-1992. Ed. Presses universitaires de Perpignan, 152 p.

NIANG Abdoul Jelil, 2008, *Les processus morphodynamiques, indicateurs de l'état de la désertification dans le sud-ouest de la Mauritanie*, Thèse de doctorat d'Etat, université de Liège, faculté des sciences, 286p.

ROSSI Georges, 1996, « L'impact des barrages de la vallée du Mono (Togo-Bénin). La gestion de l'incertitude in Géomorphologie » : Relief, processus, environnement, 1996, n°2 pp.55-68

THIOR Mamadou, SY Amadou Adou, CISSE Idrissa, et DESCROIX Luc, 2021, « Approche cartographique de l'évolution du trait de côte dans l'estuaire de la Casamance » Mappemonde [En ligne], 131 | 2021, mis en ligne le 08 juillet 2021, consulté le 14 juillet 2021. URL : <http://journals.openedition.org/mappemonde/5939>;DOI :<https://doi.org/10.4000/mappemonde.5939>