



Analyse spatiale de la dynamique des berges du lac de Guiers de 1970 à 2020 à l'aide de l'outil DSAS

Gallo NIANG¹, Birane CISSE², Mamadou THIOR³, Mbagnick FAYE⁴

- ^{1.} Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD), Docteur,
- ^{2.} Laboratoire de Géographie Humaine (GéHu), Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD),
- ^{3.} Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD),
- ^{4.} Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Département de Géographie, Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD),

Résumé : Localisé au Nord du Sénégal, le lac de Guiers a subi des changements significatifs en raison de la sécheresse des années 1970 et 1980, suivie par des aménagements hydrologiques comme des barrages et des digues. Ces interventions, combinées à une meilleure pluviométrie et à l'impact des activités agricoles, ont modifié la dynamique du lac, entraînant une érosion accrue des berges, surtout à l'ouest. Cette érosion, plus intense entre 2010 et 2020, pose un défi majeur pour la gestion durable des terres agricoles. L'étude utilise les sciences géospatiales et l'imagerie satellitaire pour analyser les changements environnementaux autour du lac de Guiers. Elle propose également une approche méthodologique et statistique innovante pour suivre l'évolution des berges.

Mots-clés : Cartographie, statistique, dynamique des berges, érosion, lac de Guiers.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.14930054>

1 Introduction

Les berges sont des écosystèmes hybrides situés aux interfaces des milieux aquatique et terrestre. Dans ces îlots humides très convoités de l'espace continental, les enjeux sont multiples, notamment en rapport avec « les débordements de certains fleuves [ou lacs] qui varient d'une année sur l'autre suivant l'importance des écoulements » (GEPIS, 2000). Les processus d'érosion et de sédimentation qui s'y tiennent sont susceptibles d'altérer les écosystèmes, particulièrement les ressources en eau, mais aussi les aménagements hydroagricoles et socioéconomiques. La variabilité climatique et les changements des états de surface liés aux activités socio-économiques sont les facteurs clés de l'accentuation des activités morphogéniques dans ces milieux.

A l'instar des lacs d'eau douce continentaux de la zone tropicale, le lac de Guiers connaît une régression de son plan surfacique durant les décennies de sécheresse 1970 et 1980. Cependant, la mise en service des barrages sur le fleuve Sénégal (Diama en 1985 et Mananetaly en 1987), des digues sur le Lac (Keur Momar Sarr et Richard-Toll) et la construction d'un canal de jonction de 17 km, la Taouey, le reliant au fleuve, ont artificialisé le régime hydrologique du lac.

Ces aménagements hydrologiques cumulés à une amélioration sensible de la pluviométrie à la fin des années 1990 (Sagna, 2005 ; Sarr, 2009 ; Sambou, 2015) et aux impacts des activités agricoles ont fait apparaître un hydrodynamisme nouveau caractérisé par une mobilité variable de la ligne de rivage des berges. Les avancées et les reculs des berges se rivalisent en vitesses et en ampleur en fonction de la nature du substrat, de la formation et de la densité du couvert végétal, des modes d'exploitation des ressources et des courants hydrodynamiques du Lac.



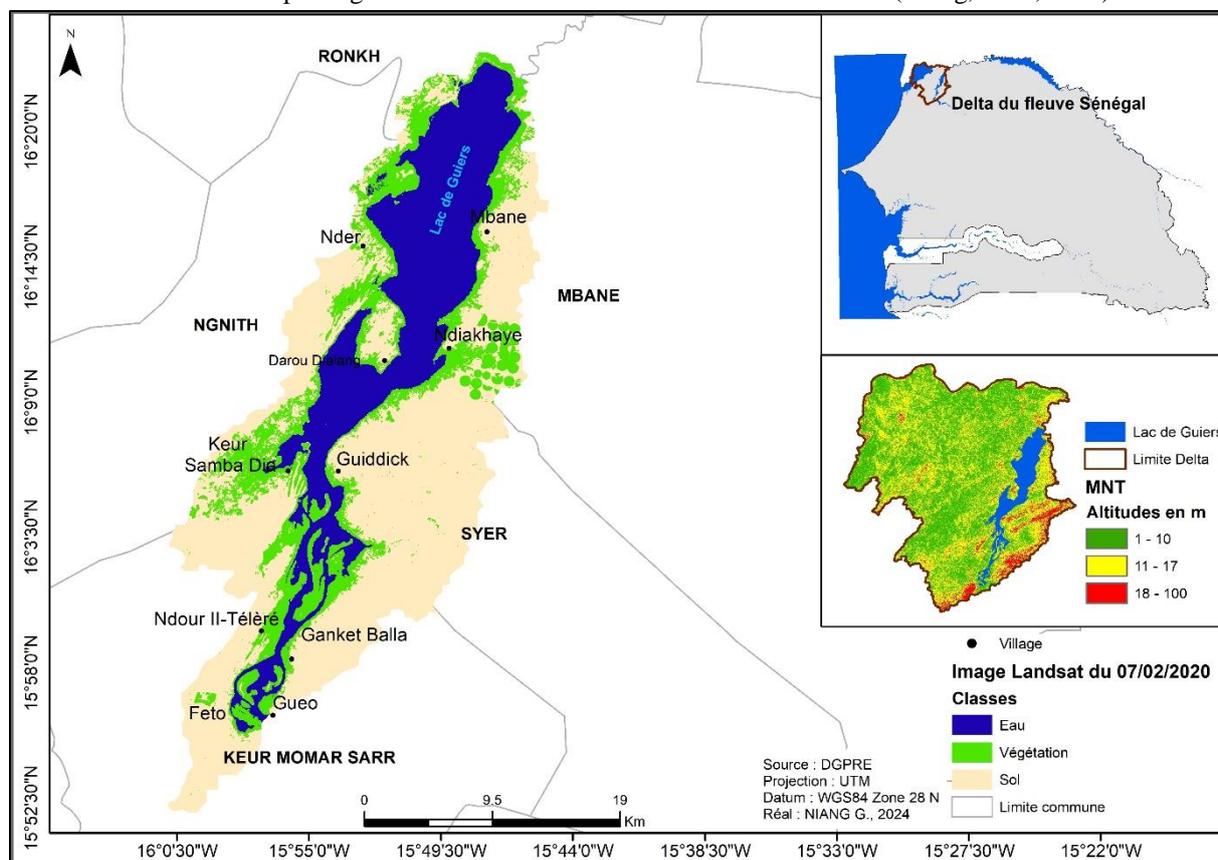
Le lac de Guiers vivifie un bassin agricole qui constitue aujourd'hui un pôle attractif. Afin de préserver la durabilité de cet agrosystème, il est important de suivre l'érosion des berges du lac pour parvenir à déterminer leur état, et connaître avec exactitude leur recul, les mécanismes régissant l'érosion, les secteurs où elle se produit et les périodes où ces phénomènes sont les plus susceptibles de se manifester. La détection et la mesure de cette mobilité des berges du lac de Guiers requièrent le recours à une méthode applicable en fonction de l'échelle spatiale et temporelle (Brien, 2006). L'approche cartographique de l'évolution diachronique de la ligne instantanée de rivage des berges est utilisée dans cette étude. L'objectif de cette étude est d'analyser les variations spatio-temporelles de la ligne instantanée de rivage des berges du lac de Guiers à l'aide d'un plug-in d'ArcGIS, DSAS.

2 Méthodologie

2.1 Présentation de la zone d'étude

Le Lac de Guiers est plat, d'origine tectonique et mis en place au Quaternaire récent, vers 30 000 ans BP (Michel, 1973). Il s'implante sur une faille d'orientation NNE-SSW. Son plan d'eau s'étale sur une vaste dépression allongée sur 50 km et large de 5 à 7 km, formant un plan quadrilatère d'une superficie approximative de 250 km² (Niang, 2021). Il constitue un réservoir d'eau douce d'un volume pouvant dépasser 400 millions de m³ lorsque le plan d'eau est au niveau moyen 1,25 m IGN (CSE, 2015).

Autrefois, le lac de Guiers se jetait à la rivière du Bounoum, qui prenait sa source dans la haute vallée du fleuve Sénégal à l'Ouest de la localité de Bakel. Il est aujourd'hui rattaché au fleuve Sénégal par le canal de la Taouey et intégré dans le réseau hydrographique de la basse vallée. Localisé entre les latitudes 15°55' N et 16°30' N et entre les longitudes 15°44' W et 16°00' W, le lac de Guiers occupe les marges Est de cette région deltaïque (figure 1). Le barrage de la Taouey délimite le lac au Nord et la digue de Keur Momar Sarr son extrémité Sud. Ainsi isolé de ses exutoires naturels (fleuve Sénégal et cuvette du Ndiel au Nord et vallée du Ferlo au Sud-est), le régime hydrologique du lac de Guiers devient un régime artificialisé. Le lit du lac occupe une zone affaissée délimitée par des terrasses limono-sableuses et dunes de sables éoliens culminant à 39 m d'altitude (Niang, 2021). Dans la périphérie du lac se trouve un parcellaire agricole très dynamique, composé de périmètres villageois et agro-industriels et des aires de pâturages dans les limites Est et Ouest du bassin versant (Niang, et al., 2022).



2.2 Matériels et méthodes

2.2.1 Matériels

L'analyse des variations spatio-temporelles de la ligne de rivage des berges du lac de Guiers s'appuie sur la comparaison de quatre images Landsat. Les images ont été choisies sur la base de leur disponibilité, de leur libre accès et de leur ancienneté. Elles couvrent une période de 48 ans allant de 1972 à 2020 (Tableau 1). Elles sont fournies par les capteurs TM (Thematic Mapper), ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) et OLI (Operational Land Imager) et sont téléchargées à partir du site de l'USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>). Leur résolution (60 m en 1972 et 30 m pour les autres années) est suffisante pour étudier la dynamique des berges du lac de Guiers.

Tableau 1 : Caractéristiques des images utilisées

Satellite	Série	Capteurs	Date	Résolution (m)
Landsat	L1	MSS	30/03/1972	60
	L4	TM	23/01/2000	30
	L7	ETM+	26/01/2010	30
	L8	OLI	07/03/2020	30

2.2.2 Méthodes

L'analyse spatiale de la mobilité de la ligne de rivage des berges du lac de Guiers de 1972 à 2020 est basée sur la méthode de photo-interprétation assistée par ordinateur décrite par plusieurs auteurs (Faye, et *al.*, 2008 ; Faye, 2010 ; Kulling, 2016 ; Thior, et *al.*, 2021 ; Tine, et *al.*, 2022). Cette méthode consiste à digitaliser la ligne instantanée de rivage sur les différentes images, puis à calculer les taux d'évolution de cette ligne de rivage.

- Digitalisation de la ligne de rivage

La cinématique des berges du lac de Guiers requiert avant tout le choix d'un indicateur de la ligne de rivage et la mise au point d'une méthode d'extraction. En milieu littorale, compte tenu des variations instantanées du niveau d'eau qui sont fonction de la marée, des vagues et de la houle, diverses lignes de références sont indiquées dont peu d'entre elles correspondent au trait de côte (Bird, 2007). Celles-ci ne sont que des indicateurs de base pour détecter et analyser la mobilité d'un trait de côte (Faye, 2010). Cependant, en milieu lacustre où le niveau d'eau caractérisé par des variations principalement saisonnières qui dépendent de l'importance de la crue et par l'action du vent qui est fonction de la vitesse et de la direction du vent (Provencher, et *al.*, 2010), la ligne instantanée de rivage correspond à la limite entre la plage lacustre de la terre riveraine (berge), habituellement émergée. Ainsi, la ligne instantanée qui sépare le talus lacustre en situation d'érosion et la berge émergée en situation d'accumulation a été identifiée comme ligne de rivage.

La digitalisation de cette ligne de rivage est l'aboutissement d'un procédé semi-automatique d'extraction par classification dirigée par le maximum de vraisemblance qui s'articule autour de quatre étapes (figure 2).

Après les avoir corrigées géométriquement, les images sont projetées dans le système de projection cartographique UTM et de l'ellipsoïde WGS 84 Zone 28 Nord avec le logiciel Arc Gis 10.4. Une composition colorée en fausse couleur (543) a été utilisée, puis une classification supervisée a été réalisée. Le résultat de cette classification, qui montre une délimitation des surfaces d'eau, de végétation et de sol nu, a été vectorisé. Ensuite, une digitalisation automatique puis le stockage de la ligne instantanée de rivage du lac de Guiers dans une geodatabase personnelle sont effectués.

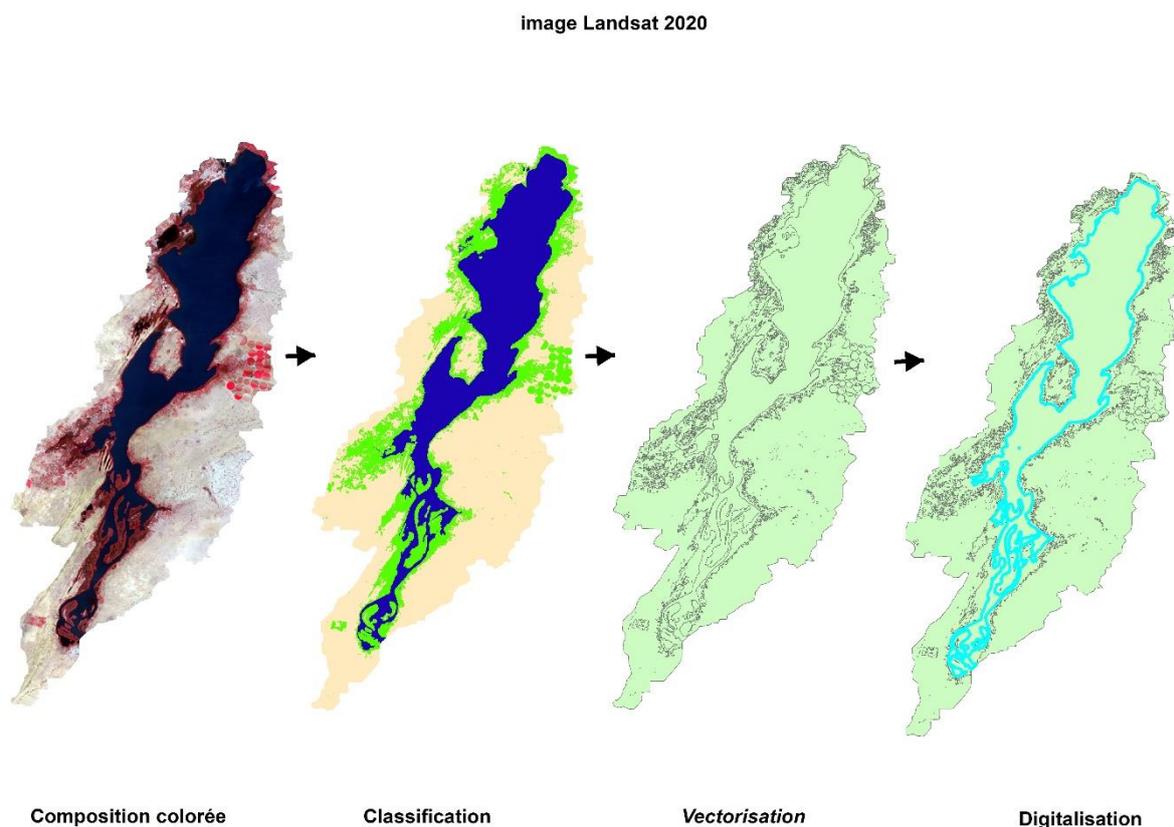


Figure 1. Méthode de digitalisation de la ligne de rivage du lac de Guiers

- Analyse spatiale de l'évolution de la ligne instantanée de rivage

La méthode statistique de calcul de la cinématique des berges a été effectuée à l'aide du logiciel ArcGIS, avec l'extension DSAS conçue par Thieler et Danforth en 1994. Le Digital Shoreline Analysis System (DSAS) est un outil statistique permettant de mesurer quantitativement l'évolution géographique entre plusieurs objets linéaires vectorisés (dans ce contexte c'est la ligne de rivage des berges) à différentes dates données. Se basant sur le calcul de la distance entre une ligne de référence et les objets linéaires vectorisés, à partir de transects bien définis et à intervalles réguliers (qui sont tracés de façon automatique et perpendiculaires à la ligne de référence), le DSAS propose différents indices à calculer. Parmi ces indices, nous n'avons utilisé que deux pour la présente étude :

- **End Point Rate (EPR)** qui est un bon indice pour évaluer la cinématique entre deux dates (Moore, 2000 ; Thieler, et al., 1994 ; Thior, et al., 2021 ; Tine, et al., 2022). L'EPR calcule la variation nette et divise les valeurs obtenues par la différence entre l'année de la mesure la plus récente et l'année la plus ancienne, pour obtenir le taux de variation annuelle moyen. L'EPR permet, de ce fait, de montrer les tendances majeures en termes de recul (érosion) ou d'avancée (accrétion) des berges. Les taux de variation moyen annuel issus du calcul de l'EPR sont répartis en six (06) classes dont trois (03) classes pour chaque situation (érosion ou accrétion) : très forte, forte, assez forte).
- **Linear Regression Rate (LRR)** qui est un indice plus pertinent lorsqu'on analyse la cinématique pour plus de deux dates (Thior, et al., 2021). Le LRR calcule la distance évolutive de la ligne de rivage sur toute la période considérée (1972-2020). La valeur de l'indice exprime alors le taux de variation (en m/an) et permet d'apprécier le bilan sédimentaire (érosion ou accrétion) et le rythme situation (très forte, forte, assez forte) en place.

3 Résultats

La cinématique de la ligne de rivage des berges du lac de Guiers apparaît sur la morphologie des berges sous forme d'érosion ou d'accrétion. Les variations de la position de la ligne de rivage (figure 3) permettent d'apprécier la

situation (érosion ou accrétion) à une période donnée, mais ne permettent de quantifier l'évolution entre deux dates.

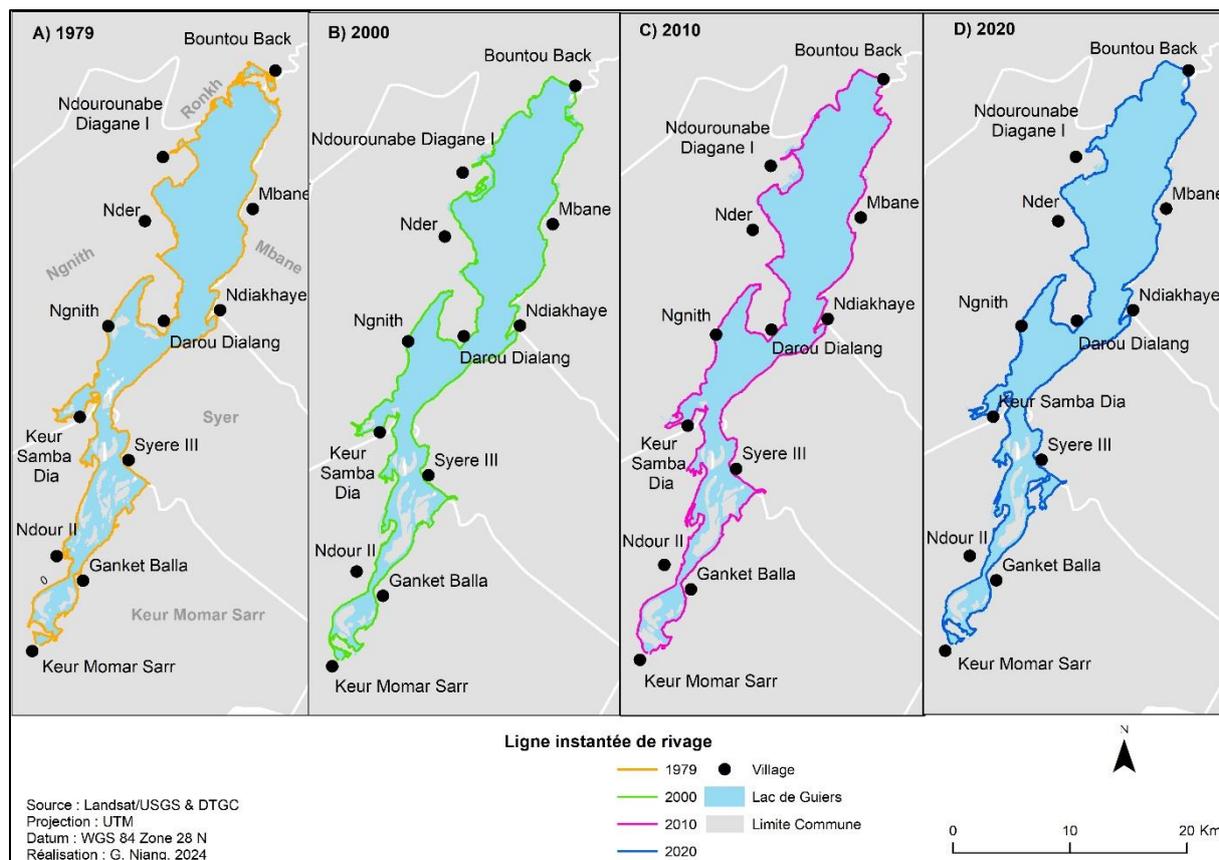


Figure 3 : Position de la ligne de rivage des berges du Lac de Guiers entre 1979, 2000, 2010 et 2020
Cependant, les taux de variation annuel moyen générés par l'indice EPR permettent d'analyser chaque situation issue de l'évolution entre deux dates.

3.1 L'évolution des berges rivage du lac de Guiers de 1979 à 2000

Les statistiques de l'EPR entre 1979 et 2000 révèlent des taux d'érosion variant de -10 à -62 m/an et des taux d'accrétion de 2 à 97 m/an (figure 4).

Sur la rive Est, les berges ont reculé, dans plusieurs endroits, avec des taux variables de -2 à -62 m/an. Les taux d'érosion assez forte (≤ -11 m/an) dominent le long de la rive. Des taux d'érosion très forte (-35 - -62 m/an) sont observées à Boutou Back et des taux d'une érosion forte (-11 à -35m/an) à Lewa Temeye Salane, vers Diaminar Keur Kane et à Ganket-Balla. Cependant, des situations d'accrétion assez forte (11 m/an) sont observées au sud de Syer, sur l'axe Guiddick-Mala Tack-Foss I, à Saneinte Tacque, sur l'axe Lewa Temeye Salane.

Sur la rive Ouest, les berges ont enregistré des taux d'érosion très forte à Ndour II, à Brar et à Keur Samba Dia, des taux d'érosion forte entre Ndour II et Brar, sur l'axe Keur Samba Dia-Mallé-Ngnith-Darou Dialang, entre Naéré et Nder et à Boutou Back. Toutefois, des taux d'accrétion forte (12-42 m/an) sont enregistrés au Nord (Nder-Boutou Back) et au Sud (Féto-Ndour II).

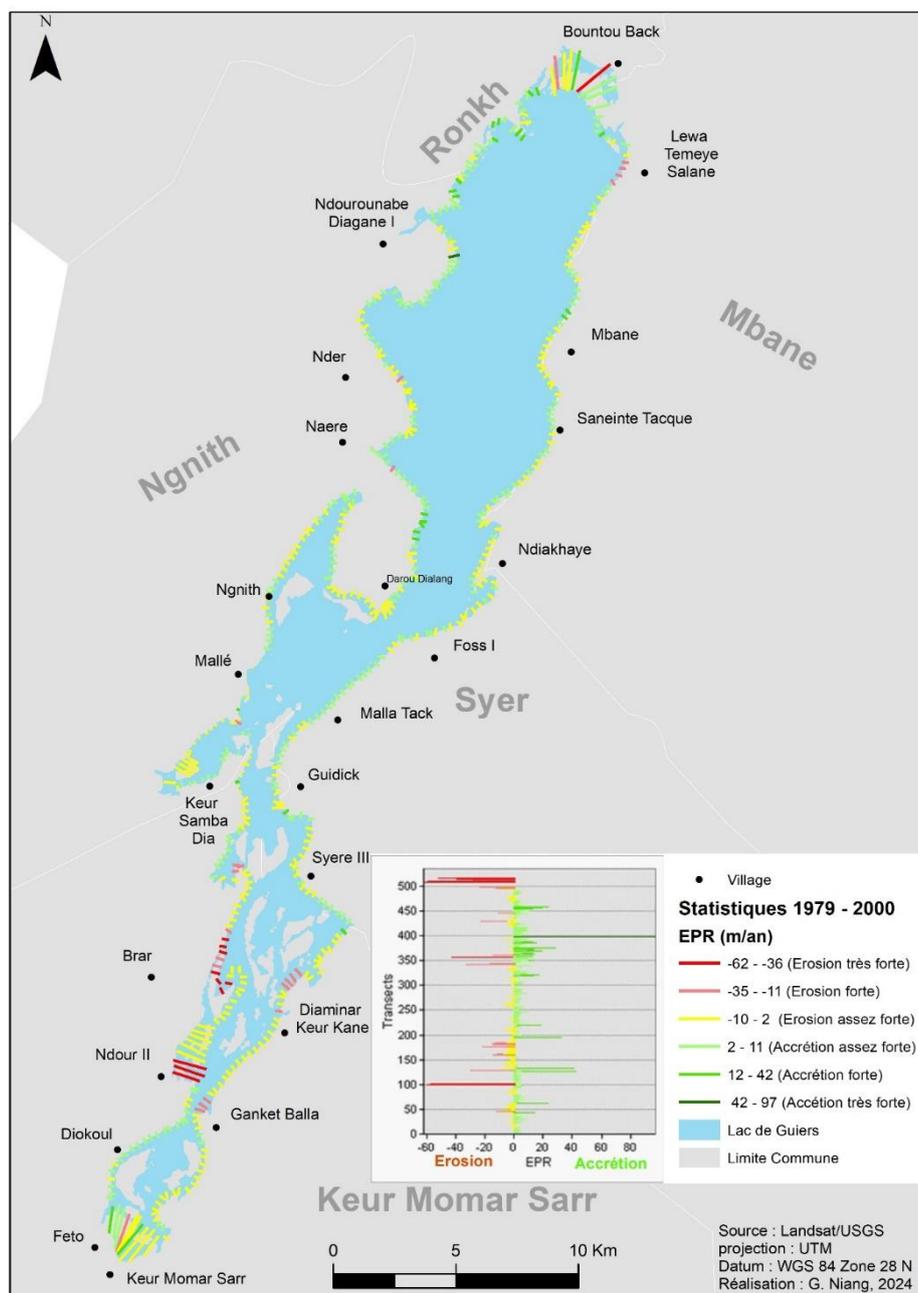


Figure 2 : Evolution de ligne de rivage des berges du lac de Guiers entre 1979 et 2000

3.2 L'évolution des berges rivage du lac de Guiers de 2000 à 2010

La période 2000 – 2010 est globalement caractérisée par un déficit sédimentaire. Les berges, aussi bien en rive Est qu'en rive Ouest, reculent avec des taux d'érosion pouvant aller jusqu'à - 20 m/an (figure 5).

Sur la rive Est, de Keur Momar Sarr à Boutou Back, les statistiques de l'EPR montrent une évolution en dents de scie de la ligne de rivage. Cette situation montre une érosion assez forte des berges de -1 à -20 m/an interrompue, par endroits, par une accrétion avec des taux variant de 2 à 8 m/an ou de 9 à 25m/an. Cependant, la situation d'érosion est très manifeste au Sud où les taux varient entre 1 à 20 m/an à Keur Momar Sarr et entre 21 à 115 m/an à Ganket Balla.

Sur la rive Ouest, le recul des berges est plus accentué même si les taux d'érosion dépassent rarement -20 m/an (- 21 à - 215 m/an enregistrés vers Keur Samba Dia et vers Ndourounabé Diagane I). Les rares taux d'accrétion sont observés à Néré (2-8 m/an) et à Brar (9-25 m/an).

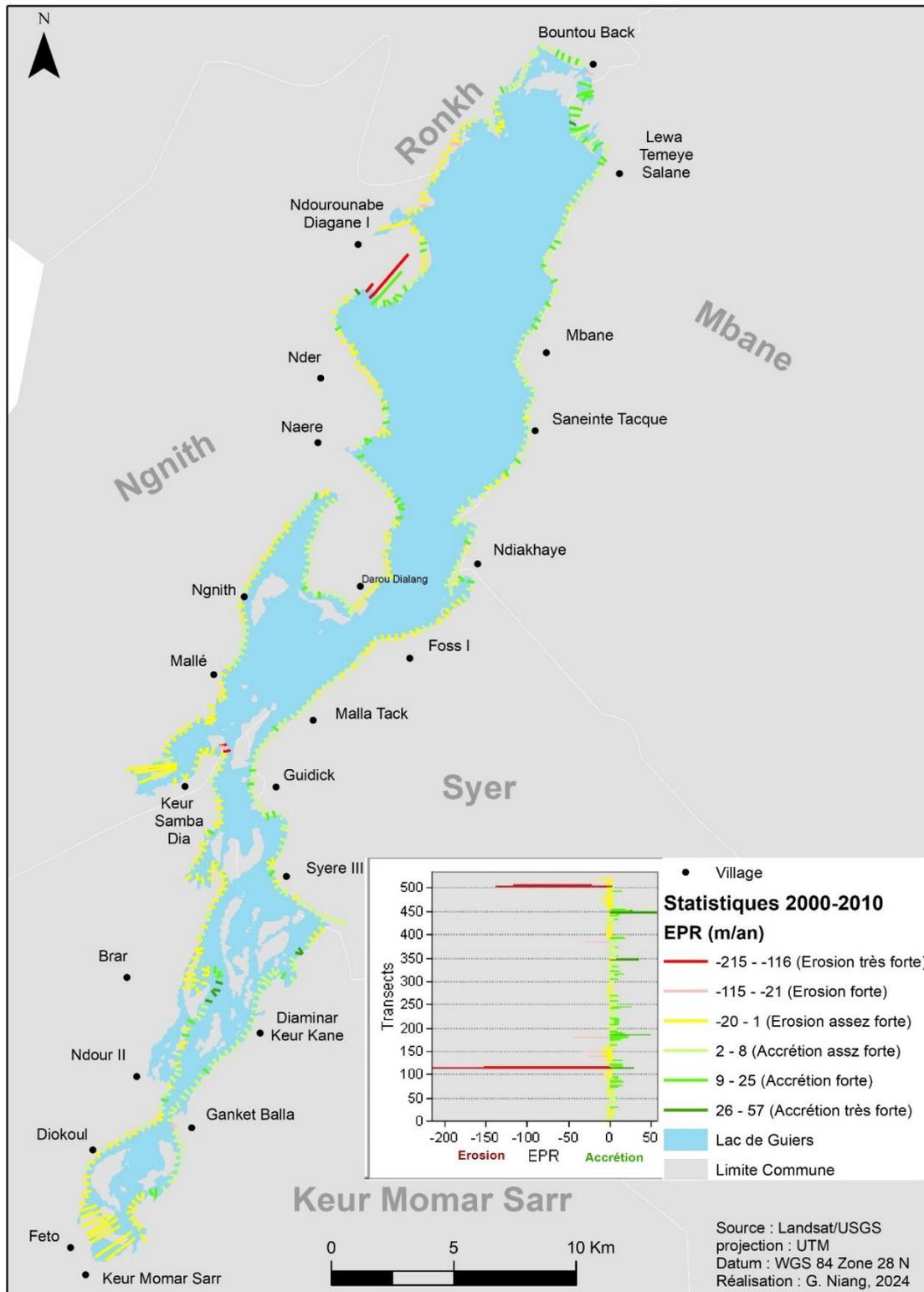


Figure 3 : Evolution de ligne de rivage des berges du lac de Guiers entre 2000 et 2010

3.3 L'évolution des berges rivage du lac de Guiers de 2010 à 2020

La période 2010 – 2020 est caractérisée par un bilan sédimentaire globalement déficitaire. Les berges sont fortement démaigries aussi bien en rive Est qu'en rive Ouest. Les taux de recul se situent généralement entre -44m à -136 m/an (figure 6).

Sur la rive Est, le taux de recul le plus fréquent est de -8 m/an. Il est souvent associé à des taux élevés se situant de -9 à -44 m/an et de -45 à -136 m/an. Cette situation est observée sur les berges de Keur Momar Sarr à Ganket

Balla, de Syer III à Guiddick et à Ndiakhaye. Néanmoins, une situation d'accrétion est observée entre Diaminar et Syer III avec un taux de 1-19 m/an.

Sur la rive Ouest, l'évolution des berges se caractérise par un recul avec des taux se situant entre - 45 et - 136 m/an au Sud (Keur Momar Sarr-Féto, à Brar et à Keur Samba Dia) et une avancée allant jusqu'à 59 m/an (à Nder et à Ndourounabe Diagane I).

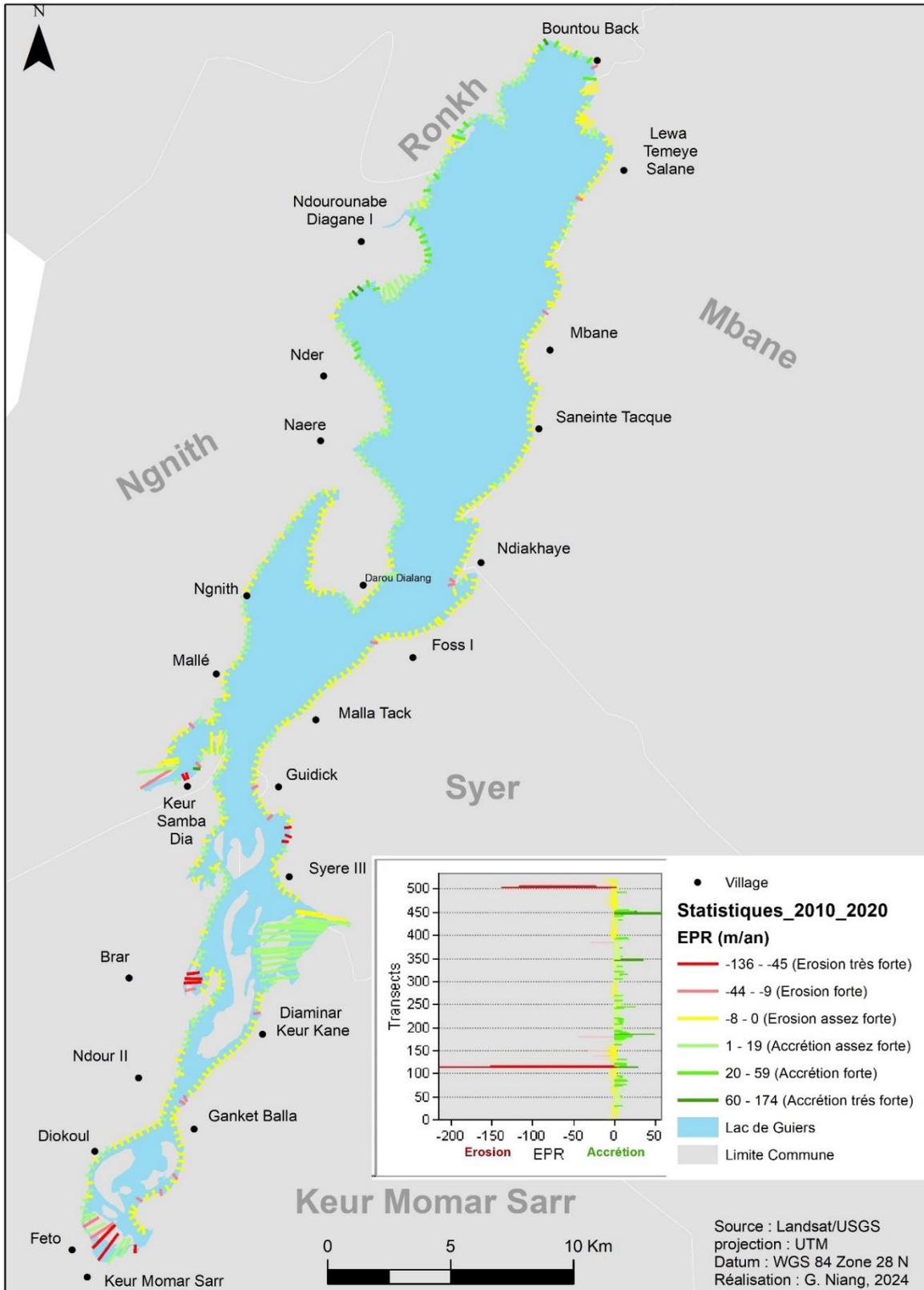


Figure 4 : Evolution de la ligne de rivage entre 2010 et 2020

3.4 Synthèse de la dynamique globale des berges du lac de Guiers de 1972 à 2020

L'analyse de l'indice LRR montre que la dynamique globale des berges est caractérisée par une érosion dans la partie sud, aussi bien à l'Est qu'à l'Ouest, et une accrétion dans le Nord, à l'Est comme à l'Ouest. Les taux d'érosion de ≤ -6 m/an sont plus fréquents et dominant la rive Est ; tandis que les taux d'érosion forte (-7 à -19 m/an) et très forte (-20 à -45 m/an) sont observés à Ndour II et à Keur Samba Dia sur la rive Ouest (figure 7). Cependant, les taux d'accrétion très forts (8-30 m/an) sont localisés sur l'axe Naéré-Nder-Ndourounabe Diagane I.

Les berges du lac de Guiers évoluent sous le rythme de la mobilité du lit méandrique. Une avancée du lit est synonyme d'érosion ou sapement latéral des berges ; alors qu'un recul du lit traduit une accrétion ou un engraissement des berges. La mobilité du lit, appréhendée à travers l'évolution de la ligne de rivage, est régie par des facteurs anthropiques, hydro-climatiques et morphologiques.

La mise en service du barrage de Diama sur le fleuve Sénégal en 1985, cumulée au regain pluviométrique constaté depuis la fin des années 1990 dans le domaine climatique sahélien ont engendré le rehaussement du niveau d'eau du lac. Cette situation a instauré un hydrodynamisme nouvel dont les processus sont fonction du rythme des vents, de la nature du substrat en place (sableux ou limoneux), de la formation et de la densité du couvert végétal (steppe ou prairie aquatique à base de typha), des modes d'irrigation (gravitaire, goutte à goutte, aspersion...) et des impacts des activités mécaniques de l'agriculture. Le sapement latéral des berges s'accroît sur les terrains bas, déprimés (terrasses sablo-limoneuses, cuvettes et vallées) dont la plupart présentent des horizons superficiels désagrégés par l'usage répétées des engins agricoles et/ou du piétinement des troupeaux en divagation.

Cependant, les apports éoliens des sables dunaires et le phénomène d'eutrophisation, étendu sur des berges en aval du développement de l'agriculture irriguée, conduisent à des situations d'accrétion des berges. Il s'agit des plantes envahissantes qui annihilent les mouvements hydrodynamiques, fixent les berges et favorisent leur engraissement.

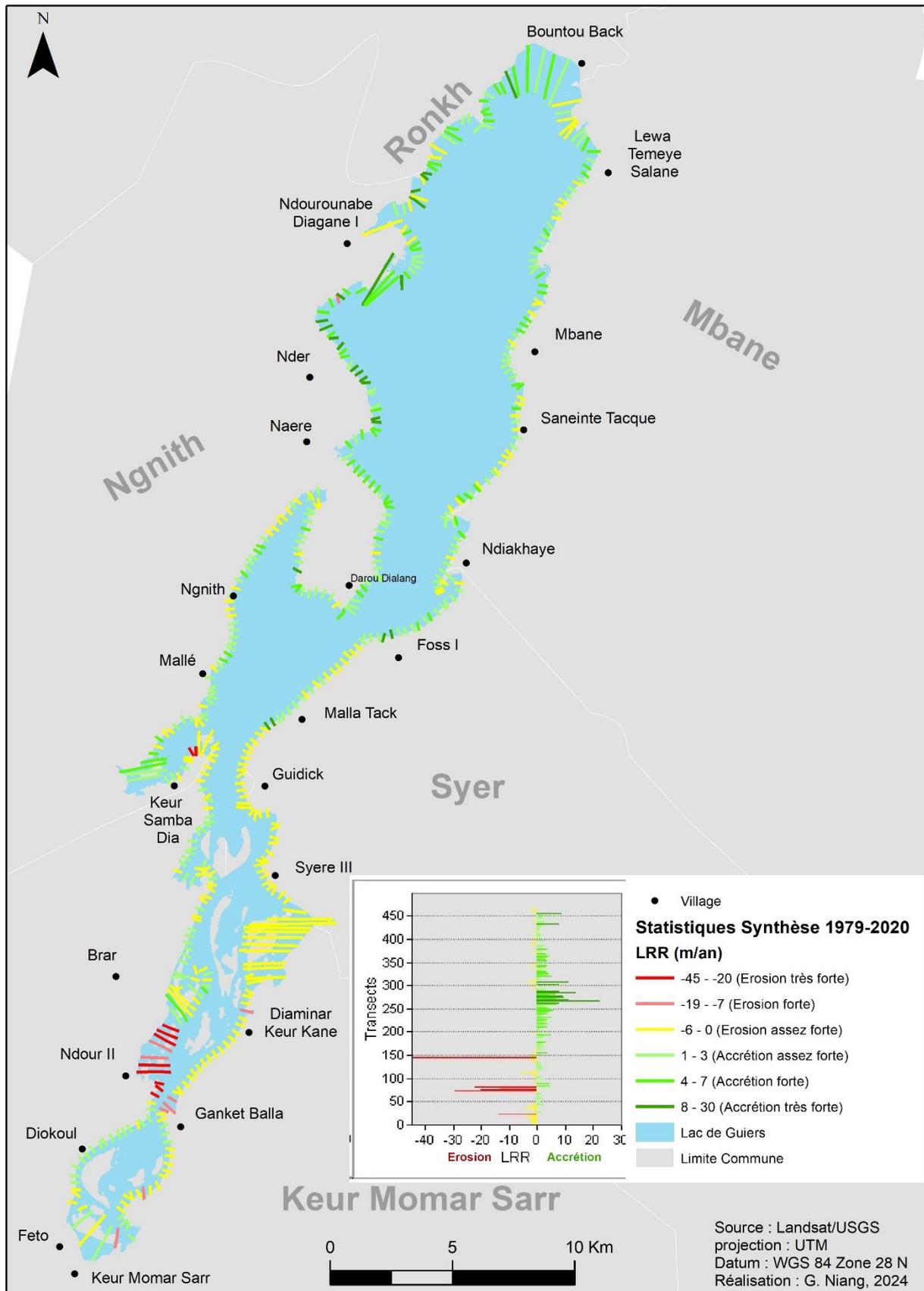


Figure 5 : Evolution de la ligne de rivage entre 1979 et 2020

4 Discussion

L'approche cartographique pour suivre la dynamique des berges d'un lac continental comme le lac de Guiers exige le choix d'une ligne de référence, la mise au point d'un protocole méthodologique d'extraction et d'une méthode de suivi et d'analyse de l'évolution du rivage. La ligne instantanée correspondant à la limite entre la plage lacustre de la terre riveraine a été considérée comme indicateur de la ligne de rivage des berges pour toutes les dates retenues. Celle-ci a été extraite à partir des images satellitaires par digitalisation automatique qui donne un résultat plus juste comparé à la digitalisation manuelle qui souffre principalement des erreurs de positionnement et des erreurs techniques et nécessitant une estimation des marges d'incertitude (Thior, et al., 2021). Ce sont ces grosses faiblesses de cette approche traditionnelle de détection et d'extraction de l'interface terre-eau qui justifient l'adoption de techniques classiques de traitement d'images telles que le seuillage et les classifications (Moore, 2000 ; Tine, et al., 2022), des méthodes automatiques ou semi-automatiques reproductibles et plus performantes (Faye, 2010).

L'analyse des statistiques générées par les indices EPR et LRR entre les années 1979, 2000, 2010 et 2020 a permis d'identifier les rythmes d'évolution des berges du lac de Guiers. Le recul des berges a été plus accusé dans le secteur Sud, notamment entre les villages Keur Samba Dia, Keur Momar Sarr et Syer III où l'érosion atteint, par endroits, des taux variant de -36 à -62 m/an entre 1979 et 2000, de -44 à -136 m/an entre 2000 et 2010, de -45 et -136 m/an entre 2010 et 2020. Au total, le recul des berges a été plus accentué sur les berges de Ndour II (rive Ouest) et de Ganket Balla (rive Est) où les taux d'érosion culminent de -20 à -45 m/an. Cependant, une dynamique contradictoire a été constatée dans le secteur Nord, notamment entre les villages Naéré, Bountou Back et Lewa Temeye Salane où prévaut une avancée des berges avec des taux moyens d'accrétion atteignant 8 à 30 m/an entre 1979 et 2020. Néanmoins, ce secteur a connu des situations d'érosion particulièrement durant les périodes 1979-2000 et 2000-2010.

La hausse du niveau d'eau du lac relative à la mise en service du barrage de Diama (en 1985), le regain pluviométrique à la fin des années 1990, la morphologie des berges (surfaces planes et déprimées) et la désagrégation des horizons superficiels par les activités agropastorales constituent les causes principales du phénomène de sapement latéral des berges du lac de Guiers. Ces résultats corroborent avec ceux de Michel, Barousseau, Richard, & Sall (1993) ; Mfoutou & Diabangouaya (2019) ; Niang (2021). Michel et al. (1993) révèlent que le passage d'un régime hydrologique naturel à un régime artificiel n'a pas conduit à une stabilisation des berges du Sénégal qui enregistraient déjà un recul de l'ordre de 1 m/an avant l'artificialisation du régime hydraulique du Sénégal. Mfoutou, et al. (2019) considèrent l'intensité des précipitations, l'augmentation des débits et la sensibilité des matériaux comme facteurs clés du recul des berges sur la rivière Mfilou à Brazzaville. Dans ce sillage, Niang (2021) a révélé que l'ampleur de l'érosion des berges du lac de Guiers est régie plus par les actions de remplissage du lac à partir des barrages que par la pluviométrie. Ce recul des berges est, selon lui, plus significatif sur la rive Ouest où les distances mesurées varient de -1209 à -2654 m à hauteur d'Odabé Kambouki, de -3781 m à Naéré, -3307 m à Keur Samba Dia, -4070 m à Mbrar et -2655 à Ndour II entre 1990 et 2015.

5 Conclusion

L'analyse de la cinématique des berges d'un lac continental exige, d'abord, le choix d'une ligne de référence, puis d'une méthode automatique ou semi-automatique performante de détection et d'extraction de la ligne de rivage des berges sur les images des différentes dates retenues. Dans le cadre de cette étude, une approche par digitalisation automatique a été adoptée et deux indices, EPR et LRR, de l'outil statistique DSAS sont appliqués sur les données obtenues. Il ressort de cette analyse spatiale que l'évolution des berges du lac de Guiers de 1979 à 2020 est à dominante érosive. L'EPR, qui a servi d'indice de calcul pour les intervalles de pas de temps (1979-2000, 2000-2010 et 2010-2020), indique des variations contrastées de la ligne de rivage, témoignant que des situations d'avancée et de recul des berges se rivalisent en vitesses et en ampleur sur les deux rives (Est et Ouest). L'indice de variation global, LRR, a cependant révélé une dynamique globalement érosive des berges, plus marquée dans le secteur Sud. Cette situation résulte des variations saisonnières en rapport avec la pluviométrie, mais aussi et surtout de l'hydrodynamisme du lac lié à la mise en service des barrages sur le fleuve Sénégal. Ainsi, elle constitue une contrainte environnementale majeure à considérer dans l'élaboration des stratégies de conservation et de préservation de l'agrosystème du lac de Guiers.

REFERENCES

- [1] Bird, E., 2007. Coastal Geomorphology. An Introduction. second edition ed. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 411 p.
- [2] Brien, M., 2006. Mesure de l'érosion des berges, du ravinement et de la migration des cours d'eau dans la portion agricole du bassin versant de la rivière des envies (Québec), Université de Québec, 143 p.
- [3] CSE, 2015. Rapport sur l'état de l'environnement du Sénégal, Dakar : MEDD, CSE, 201 p.
- [4] Faye, I., 2010. Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approche régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes, Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale, 322 p.
- [5] Faye, I. B. N., Hénaf, A. G. F. & Diaw, A. T., 2008. Evolution du trait de côte à Nouakchott (Mauritanie) de 1954 à 2005 par photo-interprétation. *Norois*, 3(208), pp. 11-27.
- [6] GEPIS (Groupe d'experts des plaines d'inondation sahéliennes), 2000. Vers une gestion durable des plaines d'inondation sahéliennes. Gland : UICN., Xii + 214 p.
- [7] Kana, C. E., 2017. Dynamique de berges du Logone entre la retenue de Maga et le lac Tchad et ses implications socio-économiques. *Sciences Eaux et Territoires*, Issue 41, 7 p.
- [8] Kulling, B., 2016. Télédétection en milieu littoral. Variations du trait de côte avec DSAS 4.3., 125 p.
- [9] Mfoutou, W. & Diabangouaya, D. B., 2019. L'érosion des berges sur la rivière Mfilou à Brazzaville. *Larhyss Journal*, Septembre, Issue 39, pp. 299-301.
- [10] Michel, P., Barusseau, J. P., Richard, J. F. & Sall, M. M., 1993. L'après-barrages dans la vallée du Sénégal. Modifications hydro-dynamiques et sédimentologiques, Conséquences sur le milieu et les aménagements hydro-agricoles. Résultats des travaux du projet CAMPUS 1989-1992., Presses Universitaires de Perpignan, 155 p.
- [11] Moore, L. J., 2000. Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 16(1), pp. 111-124.
- [12] Niang, G., 2021. Etude comparative des bassins versants de la basse vallée du Ferlo et du lac de Guiers : Dynamique actuelle de l'érosion, impacts et stratégies de lutte, Thèse de doctorat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 348 p.
- [13] Niang, G., Sy, A. A.; Faye, M.; Faye, G. & Ndiaye, A., 2022. Etude de l'érosion dans le bassin versant du lac de Guiers, nord du Sénégal. *Revue Marocaine de Géomorphologie*, Issue 16, pp. 33-59.
- [14] Provencher, L. & Dubois, J.-M. M., 2010. Proposition d'une nomenclature géomorphologique du rivage lacustre et comparaison avec les rivages côtiers et fluviaux. 134(1), pp. 90-96.
- [15] Sagna, P., 2005. Dynamique du climat sur la partie occidentale de l'Afrique, Thèse de doctorat d'Etat, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 270 p.
- [16] Sambou, P. C., 2015. Evolution climatique récente, impacts et stratégies d'adaptation dans les arrondissements de Sakal et de Ndande dans la région de Louga, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 460 p.
- [17] Sarr, M. A., 2009. Evolution récente du climat et de la végétation du Sénégal (Cas du bassin versant du Ferlo), Thèse de doctorat, Université Jean Moulin Lyon 3., 388 p.
- [18] Thieler, E. R. & Danforth, W. W., 1994. Cartographie historique du littoral (II) : Application des systèmes numériques de cartographie et d'analyse du littoral (DSMS/DSAS) à la cartographie de l'évolution du littoral à Porto Rico. *Journal of Coastal Research*, 10(3), pp. 600-620.
- [19] Thior, M. et al., 2021. Approche cartographique de l'évolution du trait de côte dans l'estuaire de la Casamance. *Mappe Monde*, Issue 131, pp. 1-22.
- [20] Tine, D., Faye, M. & Faye, G., 2022. Dynamique du trait de côte et ses impacts sur les littoraux sableux des rivières du Suds : Cas de la Basse Casamance. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, Issue 39, pp. 293-312.