

DYNAMIQUE ENVIRONNEMENTALE ET VULNERABILITE DU BASSIN VERSANT DE MADORBO FACE A L'EROSION DES BERGES DANS LE MAYO-KEBBI-UEST AU TCHAD

GUIRKI Anastasie

Université de N'Djamena,

Email : anastasiaguirk5@gmail.com

GOUATAINE SEINGUÉ Romain

Département de Géographie, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena,

Email gouataines@grece-tchad.com

Résumé

Le bassin versant de Madorbo, situé dans la région du Mayo-Kebbi-Ouest, présente un fort potentiel agricole, tout en étant particulièrement vulnérable aux phénomènes d'érosion des berges. Cet article se penche sur les caractéristiques physiques et environnementales du bassin, telles que la morphologie, le climat, l'hydrographie, les types de sols et l'utilisation des terres. La méthodologie employée repose sur des mesures des reculs des berges, des relevés GPS, des enquêtes auprès des habitants, des analyses diachroniques, des observations sur le terrain et des études socio-spatiales. Les résultats révèlent une dynamique érosive particulièrement active, marquée par un recul moyen des berges de 1,72 m/an, traduisant une forte instabilité morphologique du système fluvial. L'analyse montre que les précipitations constituent le principal facteur naturel de vulnérabilité avec une contribution de 35,21%, suivie par la morphologie sinueuse du cours d'eau (35%) et la fragilité des sols alluviaux. Sur le plan anthropique, les pratiques agricoles exercées directement sur les berges représentent 27,07% des facteurs de vulnérabilité identifiés ; auxquels s'ajoutent la déforestation et le pâturage. Ces résultats soulignent la nécessité de mettre en œuvre une gestion intégrée des berges fondée sur la restauration du couvert végétal, la régulation des usages des terres riveraines et l'implication active des communautés locales afin de garantir une gestion durable du bassin versant Madorbo.

Mots-clés : Dynamique environnementale, vulnérabilité, bassin versant, érosion des berges, Madorbo ; Tchad.

Abstract

The Madorbo watershed, located in the Mayo-Kebbi region (Chad), possesses significant agricultural potential while remaining highly vulnerable to riverbank erosion. This study examines the physical and environmental characteristics of the basin, including its morphology, climate, hydrography, soil types, and land-use patterns. The methodology relies on riverbank retreat measurements, GPS mapping, community surveys, diachronic spatial analysis, field observations, and socio-spatial studies. The results reveal highly active erosive dynamics, marked by an average bank retreat rate of 1.72 m/year, highlighting severe morphological instability within the fluvial system. Analysis indicates that precipitation is the primary natural vulnerability factor, contributing 35.21%, followed by channel sinuosity (35%) and the inherent fragility of alluvial soils. Among anthropogenic drivers, agricultural activities practiced directly along the riverbanks represent 27.07% of the identified vulnerability factors, exacerbated by deforestation and livestock grazing. These findings underscore the critical need for integrated riverbank management based on

vegetation cover restoration, regulation of riparian land use, and active community participation to ensure the long-term sustainable management of the Madorbo watershed.

Keywords: Environmental dynamics, vulnerability, watershed, riverbank erosion, Madorbo, Chad.

Introduction

L'érosion des berges constitue l'une des principales formes des dégradations des milieux fluviaux, aggravée par le changement climatique qui augmentent la fréquence des pluies extrême et crues accentuant ainsi la vulnérabilité des systèmes fluviaux (GIEC, 2022). United Nations Environment Programme (UNEP, 2019) souligne que la dégradation compromet la stabilité des écosystèmes riverains et la résilience des territoires ruraux.

En Afrique subsaharienne, et particulièrement au Tchad, où l'agriculture constitue la principale activité économique, l'érosion des berges représente un enjeu majeur pour le développement. Pour la Banque Mondiale (2021), la dégradation des terres réduit la productivité agricole et menace la sécurité alimentaire. De même le Ministère de l'Environnement, de la Pêche et du Développement Durable (2020) confirment l'intensification de ces phénomènes au Tchad.

Le bassin versant de Madorbo dispose un important potentiel agricole grâce à la fertilité de ses sols alluviaux et à la disponibilité relative des ressources en eau. La Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021) indique, les plaines alluviales jouent un rôle essentiel dans la production agricole, bien qu'elles soient particulièrement vulnérables aux pressions anthropiques. À ce sujet, Panagos et al. (2018) montrent que l'intensité des précipitations, la texture des sols et le relief sont les principaux facteurs de l'érosion hydrique. Cette vulnérabilité, est renforcée par l'agriculture riveraines, la déforestation et le surpâturage reconnus par United Nations Environment Programme (2019), la Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021) et Borrelli et al. (2017) comme facteurs majeurs de la déstabilisation des berges.

Face au manque d'étude intégrée sur le bassin versant de Madorbo, cette recherche vise à analyser les facteurs physiques et anthropiques responsables de l'érosion des berges, évaluer leurs impacts sur les terres agricoles riveraines et proposer des mesures des gestions durables conformément aux recommandations de Wohl (2017).

1. Matériels et Méthode

1-1 Présentation de la zone d'étude

La zone d'étude est située au sud-ouest du Tchad, dans le milieu sahélo-soudanien. Le bassin s'étend approximativement entre les latitudes 9°30'0''N et 9°45'0'' N degré de latitude Nord et 14°45'0'' et 15°15'0'' de longitude Est. Le bassin est entouré par plusieurs cantons et localités, Tikem et Youé au Nord-Ouest, Fianga au Nord, Malbourn/Hollom, Kera et Gounou à l'est, Tagal et Berem au sud-est, Gagat au sud, Erdé-Pala et Doué au sud-ouest ainsi que Lagon à l'ouest.

Le réseau hydrographique est organisé autour du cours d'eau El-Dorbo et de ses affluents, qui drainent le bassin du nord vers le sud. Le bassin renferme plusieurs villages six sont retenus pour les investigations Balani, Torrock, Gouin, Mabacharé et Rong. Ces villages sont repartis le long du cours d'eau principal et constituent les principaux sites d'observation des phénomènes d'érosion des berges. La carte de la zone d'étude l'illustre.

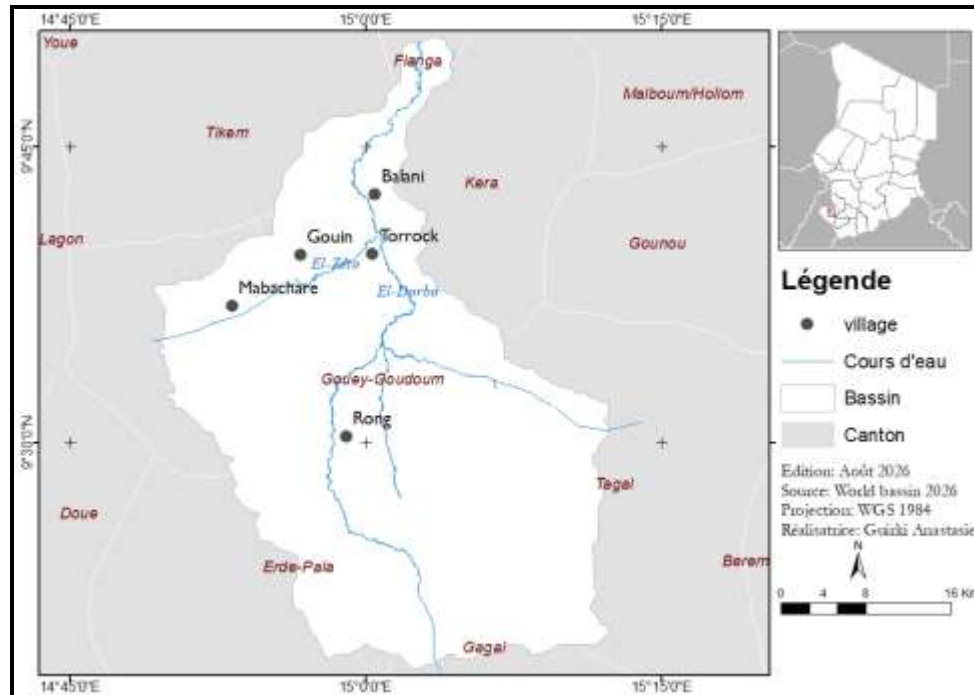


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

1. Démarche méthodologique

L'approche méthodologique adoptée est fondée sur la combinaison d'observation de terrain, enquête auprès des populations, analyses physico-chimique et traitement spatiaux permettant d'évaluer la dégradation des terres agricole.

Des prélèvements pédologiques ont été réalisés dans six villages représentatifs de la diversité des conditions géomorphologiques et agricoles du bassin versant. Les villages concernés sont Rong, Torrock, Balani, Gouin, Mabacharé et Iri. Cette démarche intégrée vise à identifier les facteurs responsables de la vulnérabilité des berges dans le bassin versant de Madorbo et à évaluer l'intensité des processus d'érosion observés.

Une étude exploratoire a été réalisée dans l'ensemble du bassin versant afin d'identifier les secteurs les plus exposés à l'érosion. à l'issue de cette exploration, plusieurs points d'observation ont été retenus.

1. 3 Matériels utilisés

La collecte des données a nécessité l'utilisation de plusieurs équipements et supports techniques adaptés aux conditions de terrain. Les principaux matériels mobilisés sont :

- Un GPS a été utilisé pour les coordonnées géographiques des différents sites d'observation. Ces données ont permis la géolocalisation précise des zones sensibles ainsi que la production de cartes thématiques illustrant la répartition spatiale des secteurs soumis à l'érosion.
- Le suivi de la dynamique érosive latérale a reposé sur l'implantation expérimentale de mires fixes, constituées de fers de 8. Ces piquets témoins ont été positionnés le long du cours d'eau à dix points représentatif (notés P1 à P10). Le protocole géométrique a consisté à installer les piquets à une distance initiale standard de 4 mètres de la berge sur le lit majeur avec un espacement interpiquets de 15 mètres le long du corridor fluvial. Les mesures de

distance entre le repère fixe et le front de recul vif ont fait l'objet de relevés systématiques à intervalles réguliers au cours de la saison hydrographique 2024, permettant de calculer précisément la vitesse d'érosion linéaire.

- L'observation directe a permis d'identifier les formes d'érosion présentes, les zones de sapement, la nature des matériaux constitutifs des berges, l'état du couvert végétal, les pratiques anthropiques exercées sur les rives. Des prises de vue photographiques ont complété cette phase d'observation.
- Un questionnaire d'enquête destinés aux populations cible a été élaboré. Des entretiens semi-directives ont été menées auprès des ménages riverains, des agriculteurs, des éleveurs ainsi que des autorités locales. Ces entretiens ont permis de recueillir des informations sur l'évolution historique des berges, les perceptions locales du phénomène, les pratiques d'utilisation des terres et les impacts de l'érosion sur les activités agricoles.
- Des images satellitaires et documents cartographiques pour les analyses spatiales et diachroniques ;
- Des logiciels de traitement des données cartographique (Google earth, QGIS) et statistique (SPSS).

2. Caractéristiques physiques et environnementales du bassin versant Madorbo

Le bassin versant Madorbo, présente des caractéristiques physiques et environnementales qui influencent fortement la dynamique hydrologique et la stabilité morphologique des berges. L'analyse de composantes permet de mieux comprendre les mécanismes responsables de l'érosion observée dans ce milieu fluvial.

2.1. Relief et morphologie

Le bassin versant de Madorbo se caractérise par un relief peu accidenté, dominé par des plaines alluviales et de faibles ondulations topographiques. Les altitudes varient faiblement d'un secteur à un autre, ce qui favorise l'écoulement lent des eaux de surface et l'accumulation de sédiments dans les zones basses. Les pentes observées restent généralement faibles, avec une moyenne estimée à environ 1, % à 2,41 %, ce qui influence directement la vitesse d'écoulement des eaux et la capacité de transport sédimentaire.

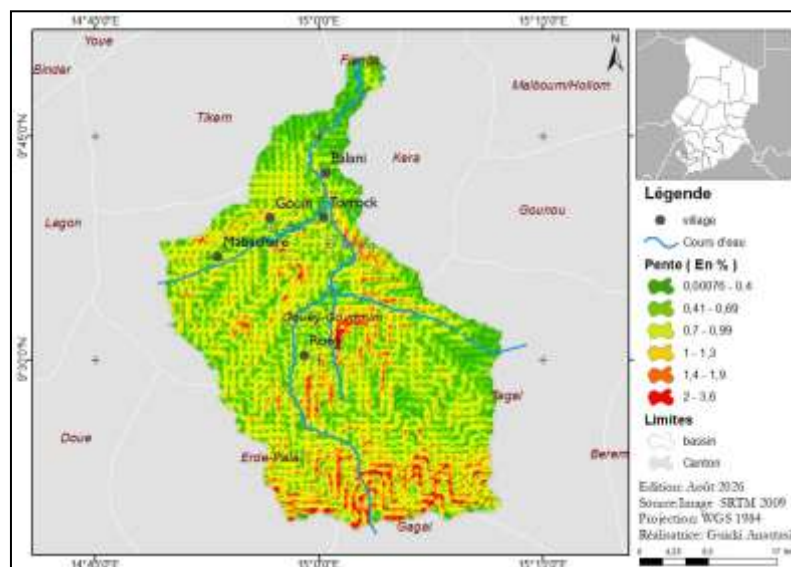


Figure 2. Variation de la pente.

La figure 2 montre une prédominance des faibles pentes dans le bassin versant Madorbo. Les classe de 0,00076 à 0,4% verte foncé et 0,41 à 0,69% verte couvrent une grande partie du bassin. Les pentes intermédiaires de 0,7 à 1,3% représentée part vert-jaune et jaune sont plus dispersées. Les pentes plus élevées comprises entre 1,4 et 1,9% orange et surtout entre 2 et 3,6% rouge se concentrent principalement dans la partie sud et sud-est du bassin. Ces secteurs sont davantage favorables à l'accélération du ruissellement et peuvent ainsi contribue à l'intensification de l'érosion.

Le bassin versant Madorbo présente majoritairement de faibles pentes (0 à 1,2 %), favorisant l'infiltration et limitant le ruissellement. Toutefois, des pentes plus marquées sont observées à Rong, Torrock, Balani, Gouni et Mabacharé, où l'écoulement des eaux est plus rapide. Les secteurs à fortes pentes, notamment Rong et Torrock, sont les plus vulnérables à l'érosion en raison de l'intensification du ruissellement et du ravinement. À l'inverse, les zones de faibles pentes, comme Iri, sont moins exposées à l'érosion mais davantage sujettes à l'accumulation de sédiments. Ainsi, la vulnérabilité à l'érosion augmente avec la pente dans le bassin versant.

2.2. Caractéristiques climatiques

L'intensité des précipitations provoque une saturation hydrique rapide des couches superficielles du sol, entraînant une diminution de leur résistance mécanique. Cette situation accentue les processus d'érosion hydrique, en particulier le ravinement, le sapement et les effondrements gravitaires des berges, dont les manifestations sont illustrées à la photo 1.



Prise de vue : GUIRKI Anastasie juillet 2025

Photo 1. Affouillement des rives

La photo 1 présente un phénomène d'affouillement de berge observé dans le bassin versant Madorbo. L'action de l'eau provoque le creusement de la base de la berge entraînant son sapement et son recul. La nature sablo-limoneuse des sols et la faible couverture végétale accentuent cette dégradation.

2.3. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du bassin versant Madorbo est organisé autour du cours principal El-Dorbo et de plusieurs affluents temporaires ou saisonniers. Ce réseau assure le drainage des eaux de pluie vers les zones de basse altitude et joue un rôle fondamental dans l'organisation spatiale des activités humaines.

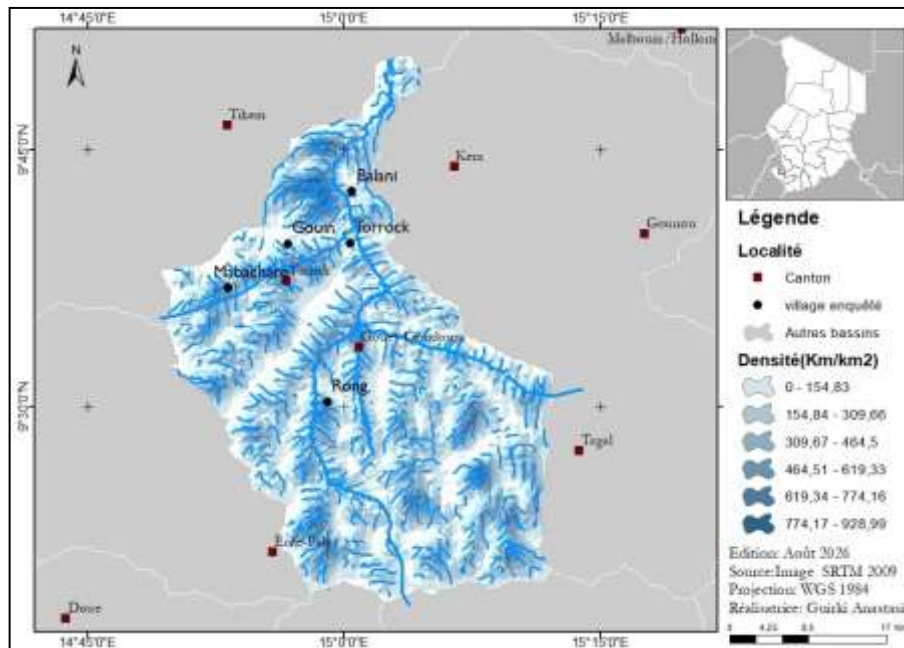


Figure 3. Densité de drainage

La figure 3 présente une forte densité du réseau hydrographique dans les parties centrales et nord-est du bassin Madorbo, indiquant une importante capacité de collecte et de concentration des eaux de ruissellement. Cette configuration favorise l'érosion en intensifiant le ravinement, la formation de rigoles et la perte des sols fertiles. En période de crue, l'augmentation du débit et de la vitesse d'écoulement accentue l'érosion des berges par sapement, érosion latérale et transport des sédiments, particulièrement dans les secteurs où le cours d'eau présente un tracé sinueux.

2.4. Nature des sols

Les sols dominants dans le bassin Madorbo sont essentiellement des sols alluviaux, issus des dépôts successifs transportés par les eaux fluviales. Ces sols présentent une bonne fertilité agricole, ce qui explique leur forte exploitation par les populations riveraines.

Leur texture souvent sablo-limoneuse et limono-argileuse leur confère une faible résistance à l'action mécanique de l'eau. Les analyses réalisées montrent que la fragilité des sols contribue à hauteur de 23 % à l'instabilité des berges. Sous l'effet des crues et du ruissellement, ces sols sont facilement désagregés et emportés.

2.2.5. Occupation et utilisation des terres

L'analyse de l'occupation des terres met en évidence une forte concentration des activités agricole dans l'espace riveraines du cours d'eau. Les habitations sont majoritairement établies au-delà de 20 m des berges, l'exploitation agricole se développe préférentiellement dans la bande riveraine. Ainsi, 66,5 % des champs recensés sont localisés à moins de 10 m de la berge. Cette situation est liée à la disponibilité en humidité des sols alluviaux, particulièrement recherchée pour les cultures de contre-saison. Cependant, cette occupation rapprochée expose directement les terres agricoles au risque d'érosion des berges et aux inondations récurrentes.

Tableau 1. Type d'occupation des berges par la population.

Types d'occupation	Types d'exploitants		Distance du domaine par rapport aux berges		
	Propriétaires	Locataires	0 à 10 m	10 à 20 m	20 et plus
Habitations	230	0	0	0	230
Champs	194	36	129	52	18

Source : enquêtes de terrain, novembre 2024

Ce tableau permet de rendre compte de l'occupation du sol dans le bassin. L'agriculture reste l'occupation majeure. Cependant, sur l'ensemble des personnes enquêtées, plus de la moitié qu'elle dispose de champs. L'on constate au niveau des habitats une distance importante, alors qu'au niveau des champs sont menacés.

Cette pression anthropique entraîne une réduction progressive du couvert végétal protecteur, exposant davantage les sols à l'action érosive des eaux. Les enquêtes de terrain montrent que les pratiques agricoles sur les berges représentent environ 56,08 % des facteurs de vulnérabilité identifiés, ce qui souligne l'influence déterminante des activités humaines dans l'accélération des processus d'érosion.

3. Résultats et analyses

L'analyse des données collectées sur le terrain, des relevés morphométriques, des enquêtes socio-environnementales et des observations directes a permis de mettre en évidence la dynamique de l'érosion des berges dans le bassin versant Madorbo ainsi que les principaux facteurs responsables de leur vulnérabilité.

3.1. Dynamique du recul des berges dans le bassin versant Madorbo

Les mesures réalisées sur les différents points d'observation (P1, P2, P3, P4 et P5) montrent une évolution progressive du recul des berges au cours de la période de suivi. Les variations observées d'un point à un autre traduisent une dynamique spatiale hétérogène de l'érosion.

Tableau 2. Reculs des berges sur les terres agricoles dans le bassin versant Madorbo 2024

Les points des berges (cm)	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Rive droit	123,54	234,37	345,4	256,88	323,25	235,25	255	135	105	95
Rive gauche	245 ,42	225,41	242,25	275,95	385,35	458,65	265,75	365	475	394,47

Source : Mesure de terrain 2024

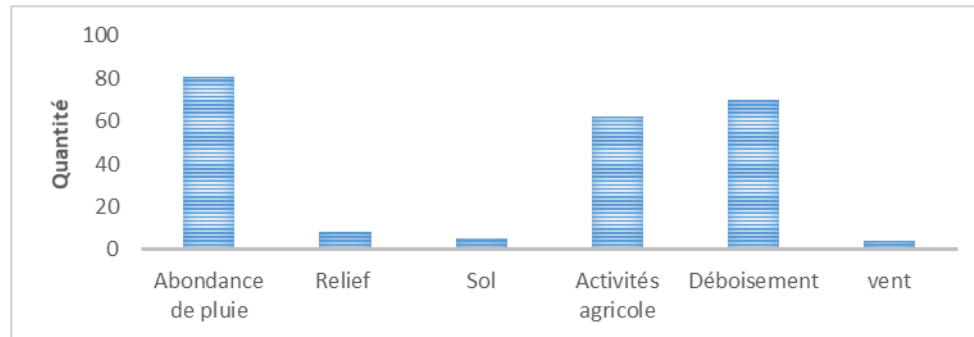
Les reculs des berges montrent une érosion active sur l'ensemble du bassin versant Madorbo avec une intensité plus marquée sur la rive gauche que sur la rive droite. Les valeurs observées varient entre 95 à 345,4 cm sur la rive droite et 225,41 à 475 cm sur la rive gauche. Le recul moyen atteint 3,33 m sur la rive gauche contre 2,11 sur la rive droite, confirmant une vulnérabilité plus élevée de cette dernière au processus érosif. Le taux moyen annuel de recul des berges est estimé à 2,72 m, traduisant une forte mobilité du cours d'eau. Les zones les plus touchées correspondent aux méandres actifs, aux secteurs faiblement végétalisés aux espaces soumis à une forte pression agricole.

3.2. Identification des facteurs naturels de vulnérabilité

L'analyse des paramètres physiques et environnementaux révèle que plusieurs facteurs naturels contribuent à la dégradation des berges.

3.2.1. Influence des précipitations

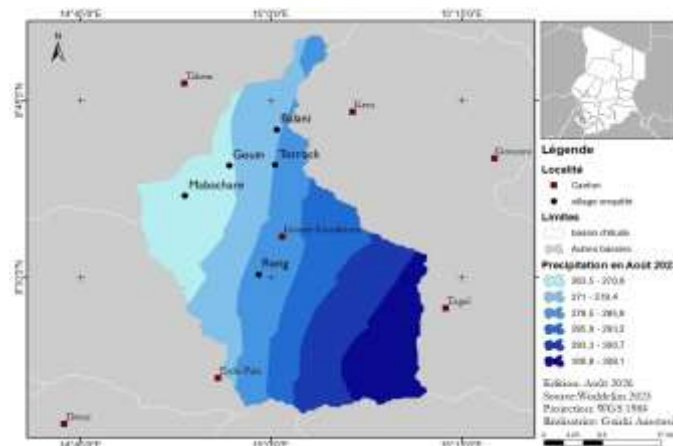
Les enquêtes et observations de terrain montrent que les fortes pluies constituent le facteur naturel dominant dans le processus d'érosion. Les précipitations intenses augmentent le ruissellement de surface, favorisent la saturation hydrique des sols et réduisent leur cohésion mécanique, entraînant ainsi des phénomènes de ravinement et de sapement.



Source : enquêtes terrain 2025

Figure 4. Facteurs aggravateurs de l'érosion des berges dans le bassin Madorbo

La figure 4 met en exergue les différents facteurs qui occasionnent la dégradation des berges bassin Madorbo. Selon les enquêtes sur le terrain, la plupart population pense à 35,21 % que le phénomène d'érosion des berges est causé par la forte intensité de pluie, 27,07% de la population disent que le phénomène dû aux activités agricoles, 30,57 % pensent que le déboisement est la cause, 2,18% pensent au sol et enfin 1,75% pour ceux plutôt c'est le vent.



La pluviométrie de 2023 dans le bassin Madorbo montre une augmentation des précipitations avec des valeurs comprises entre 898mm et plus de 1040 mm. La répartition des pluies, présente un gradient nord-sud marqué, les secteurs méridionaux étant les plus arrosés. Cette forte pluviométrie favorise le ruissellement, la saturation des sols et le débordement des cours d'eau augmentant ainsi

les risques d'inondation et d'érosion particulièrement dans les zones basses et les secteurs à fortes densité hydrographique.

3.2.2. Influence de la morphologie du cours d'eau

La morphologie sinueuse du cours d'eau joue un rôle important dans la dynamique érosive. Les résultats montrent que ce facteur contribue à la vulnérabilité des berges.



X :09°49'21'' ; Y :15°15'00''

Prise de vue GUIRKI.A Juin 2025

Photo 2. Influence de la morphologie méandrique du cours d'eau sur l'érosion

La photo présente la forme méandrique du cours d'eau sur l'érosion des berges dans le bassin Madorbo. La rive externe subit une forte érosion sous l'effet de la concentration du courant et sur la rive interne favorise le dépôt des sédiments. La faible couverture végétale et la nature meuble des sols renforcent l'instabilité des berges et accélèrent leur recul.

Dans les zones de courbure, la concentration de l'énergie hydraulique sur les rives externes accélère les processus de sous-cavage et de déstabilisation.

3.2.3. Influence du relief

Le relief globalement peu accidenté du bassin, avec une pente moyenne estimée à 6,8 %, influence également les mécanismes d'écoulement et la distribution des matériaux sédimentaires.

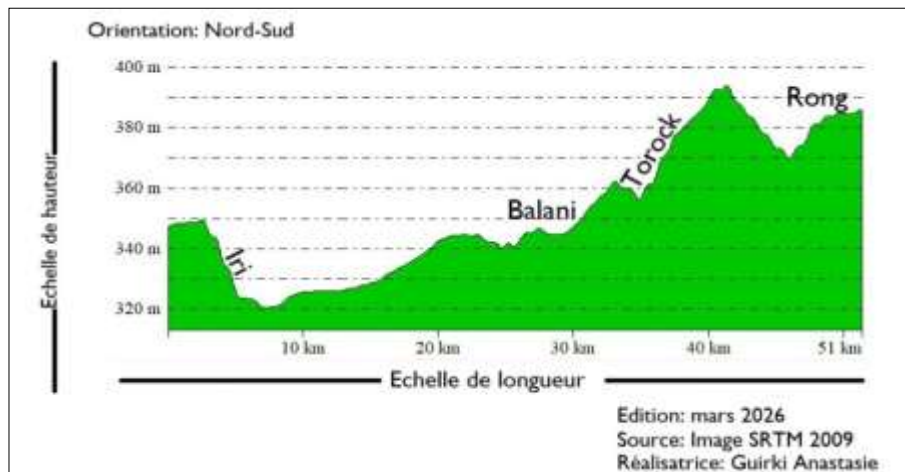


Figure 6. Le profil topographique du bassin Madorbo

Le profil topographique du bassin Madorbo présente topographie ondulée et dissymétrique caractérisée par une alternance de dépression et de reliefs plus élevés. Les altitudes varient de 320-340 m avec une augmentation progressive du sud vers le nord. Les zones basses comme Iri favorisent l'accumulation des eau et des sédiments et les secteurs Balani, Torrock, et Rong présentent des pentes plus marquées. Bien que son influence soit modérée, cette configuration topographique contribue à la répartition spatiale du ruissellement et des zones sensibles à l'érosion

3.2.4. Influence de la nature des sols

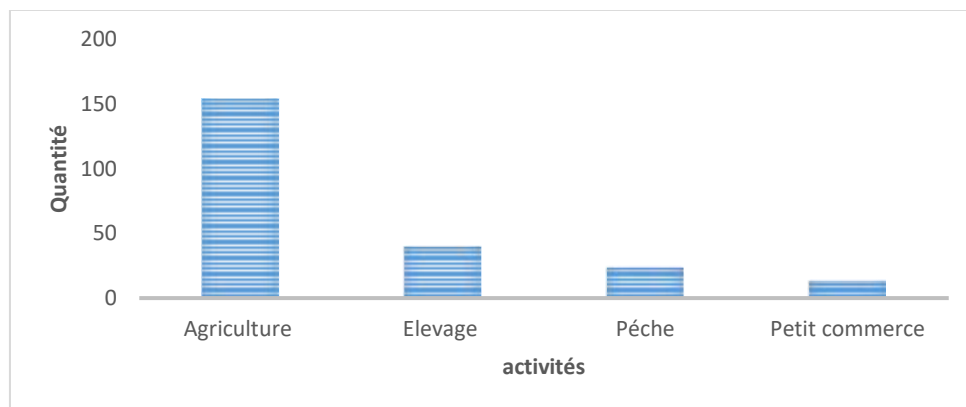
Les sols alluviaux du bassin versant Madorbo présentent des textures dominées par les formations argileuses et sablo-argileuse favorable à l'agriculture grâce à leurs fertilités naturelles. Toute fois leur faible cohésion, leurs faibles teneurs en matière organiques et leurs sensibilités à la saturation en eau les rendent particulièrement vulnérable à l'érosion. Les analyses granulométrie montre que la présence importante limon et argile favorise le détachement et le transport particuliers lors des crues, contribuant à l'instabilité des berges et de la dégradation des terres agricoles.

3.3. Influence des facteurs anthropiques

Les activités humaines apparaissent comme des facteurs aggravants majeurs dans la dégradation des berges.

3.3.1 Facteurs d'exploitation agricole des berges du bassin versant Madorbo

Les terres alluvionnaires El-Dorbo sont convoitées pour diverses raisons. En effet, leur fertilité et leur humidité (153,8%) pour une agriculture de contre-saison, l'élevage (39,6%), la possibilité de cumuler l'agriculture à la pêche (23,1%) et 13,1 qui associent les petits commerces, sont autant de raisons qui poussent les riverains à coloniser et à exploiter ces terres alluvionnaires. L'insuffisance et la recherche de terres fertiles humides sont la cause fondamentale de la poussée du front agricole vers les terres aux abords des cours d'eau (figure7).



Source : enquête de terrain 2024

Figure 7. Répartition des enquêtés selon les activités menées dans le bassin versant Madorbo.

Cependant, l'agriculture constitue la principale source de revenue pour les ménages du bassin. Hormis les besoins liés à l'élevage et à la pêche, la demande de ces services augmente proportionnellement avec l'accroissement démographique. C'est à ce titre que la pression de la demande en a fait une source d'argent et par ricochet une activité permettant aux uns et aux autres de générer des revenus.

3.3.1. Pratiques agricoles sur les berges

L'agriculture constitue l'une des principales activités économiques de la population et représente une source majeure de revenus. Cependant, l'exploitation des terres agricoles à proximité des cours d'eau contribue à la dégradation des berges. Les pratiques culturales et le travail du sol modifient les conditions de ruissellement et favorisent l'érosion. Les observations de terrain montrent que les parcelles riveraines sont particulièrement exposées à la perte de terres, à la réduction des superficies cultivables et aux modifications du tracé du cours d'eau, affectant ainsi les activités agricoles des populations locales. La photo suivante montre dont l'activité agricole pratiquée sur les berges (photo 3).



Prise de vue : Guirki, septembre 2025.

Photo 3 : Pratique agricole sur les berges à Torrock

La photo 3 présente la pratique d'un champ au bord du cours dans le bassin Madorbo. Les activités agricoles sont directement pratiquées sur les bords et cette pratique favorise la dégradation des berges par le phénomène de l'écroulement des berges vue la pression et le types du sol.

4. Discussion

Le taux de recul moyen linéaire de 2,72 m/an documenté dans le bassin de Madorbo témoigne d'une crise morphogénique majeure, comparable aux dynamiques d'érosion latérale extrême signalées en Afrique subsaharienne. Cette cinématique agressive surpasse les valeurs observées par Kainaramsou au Cameroun (2020), dans des hydrosystèmes soudaniens similaires, ce qui traduit ici l'impact d'un forçage anthropique particulièrement poussé. La prédominance du facteur pluviométrique (81 % de co-citation des enquêtes) valide l'approche macro-climatique de Panagos et al. (2018) ainsi que les projections de Borrelli et al. (2017) quant à l'exacerbation de l'érosion hydrique induite par la modification des régimes d'averses en zone tropicale. Néanmoins, l'originalité de notre cas d'étude réside dans le poids prépondérant des pratiques agricoles de rive (66,86 %). La destruction du rideau végétal ripisylve pour l'implantation des cultures de décrue annule l'effet de cohésion racinaire, transformant le réseau hydrographique méandriforme en un système hautement instable à forte mobilité latérale, en accord avec les modélisations géomorphologiques de Hooke (2016).

Conclusion

Cette présente étude menée dans le bassin versant Madorbo situé dans la province du Mayo-Kebbi-Ouest au Tchad, a permis d'analyser les facteurs responsables de la vulnérabilité des berges et leurs impacts sur les terres agricoles riveraines. En s'appuyant sur les investigations de terrain, des mesures morphométriques, des relevés GPS, des analyses pédologiques, des enquêtes auprès des populations locales et des observations socio-spatiales, elle met en évidence une dynamique érosive particulièrement active à l'échelle du bassin. Les résultats montrent que cette dynamique résulte de l'interaction entre les caractéristiques physiques du milieu et les pressions anthropiques liées à l'exploitation agricole des berges. L'étude confirme ainsi l'hypothèse selon laquelle la vulnérabilité des berges du bassin versant Madorbo est le produit de la combinaison de ces facteurs naturel et humains, dont les effets se produisent par un recul continu des berges, une dégradation progressive des sols et une perte croissante des terres agricoles riveraines.

Bibliographie

- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Van Oost, K., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of land use on soil erosion. *Nature Communications*, 8, 1-13. 13 p.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Systems at breaking point* (324 p.). Rome: FAO.
- Hooke, J. M. (2016). *Geomorphological impacts of extreme floods on river systems* (284 p.). Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge, United Kingdom : Cambridge University Press.
- Institut de Recherche pour le Développement. (2018). *Dégradation des terres et gestion durable en Afrique subsaharienne*. Paris, France.
- Institut National de la Statistique, des Études Économiques et Démographiques (2021). *Annuaire statistique du Tchad*. N'Djamena.
- Kaïnaramsou, D. (2020) : érosion des berges dans le bassin versant du Mayo Tsanaga à l'extrême-nord Cameroun 420P
- United Nations Environment Programme. (2019). *Global environment outlook 6: Healthy planet, healthy people* (708 p.). Nairobi : UNEP.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E., & Montanarella, L. (2018). Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*, 8(1), 1-12. 12 p.
- Wohl, E. (2017). *Rivers in the landscape: Science and management* (2nd ed., 330 p.). Wiley-Blackwell.