



## Formes et processus d'érosions réelles des aménagements d'irrigation du sous bassin-versant de Nariarlé, bassin du Nakanbé au Burkina Faso

Abdoul-Azize SAMPEBGO<sup>1\*</sup>, Amadou ZAN<sup>2</sup>, Joachim BONKOUNGOU<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup>Doctorant, Université Norbert Zongo, Département de géographie, Laboratoire de recherche en science humaine, UFR/SH, BP :376, Koudougou, Burkina Faso.

<sup>2</sup>Doctorant, Université Norbert Zongo, Département de géographie, Laboratoire de recherche en, science humaine, UFR/SH, BP :376, Koudougou, Burkina Faso.

<sup>3</sup>Chercheur, Maître de recherche, INERA/CNRST Centre National de la recherche Scientifique et Technologique/Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles.

\*Email de l'auteur correspondant : abdoulazizes@gmail.com

**Résumé :** Les aménagements d'irrigation au Burkina Faso sont exposés aux risques climatiques [1, p. 13], [2, p. 17], [3, p. 13]. Ces expositions sont à l'origine de la dégradation des sols des aménagements d'irrigation à Koubri. Ces phénomènes sont accentués par la conjugaison de plusieurs facteurs anthropiques mais aussi physiques. Cet article a pour objectif d'analyser les formes et des processus d'érosion réels des aménagements d'irrigation du bassin versant de Nariarlé au Burkina Faso liés aux changements climatiques. L'observation direct et les télédétections ont servi de méthodologie. Au cours des 40 dernières années, on estime que l'érosion est responsable de la perte d'environ un tiers de la terre arable du globe et que cette perte continue d'augmenter à raison de plus de 10 millions d'hectares par an [4, p. 05].

**Mots-clés :** Ouagadougou ; processus ; érosion ; expositions climatiques.

**Digital Object Identifier (DOI):** <https://doi.org/10.5281/zenodo.11243668>

### 1 Introduction

Les aménagements d'irrigation du bassin versant de Nariarlé sont confronté aux risques climatiques liés aux changements climatiques. Ces risques climatiques sont à l'origine de l'érosion des sols. Selon la convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification (CCD), la dégradation des sols touche directement plus de 250 millions de personnes et en menace environ un milliard dans plus de 100 pays. Ces personnes comptent parmi les citoyens les plus pauvres, les plus marginalisés et les plus fragiles sur le plan politique [5, p. 07]. Les données régionales du projet CORDEX prévoient d'une manière générale une baisse des précipitations totales annuelles de la période 2030-2060 pour les scénarios RCP 2.6 et 4.5, des pluies journalières de plus en plus intense avec des moyennes supérieures à 300mm. Les aménagements seront de plus en plus érodés avec des conséquences très importante telles l'ensablement et même la disparition de certains cours d'eaux, la diminution de la capacité de rétention des aménagements hydrauliques, la baisse considérable de la production agricole. Nous pouvons alors



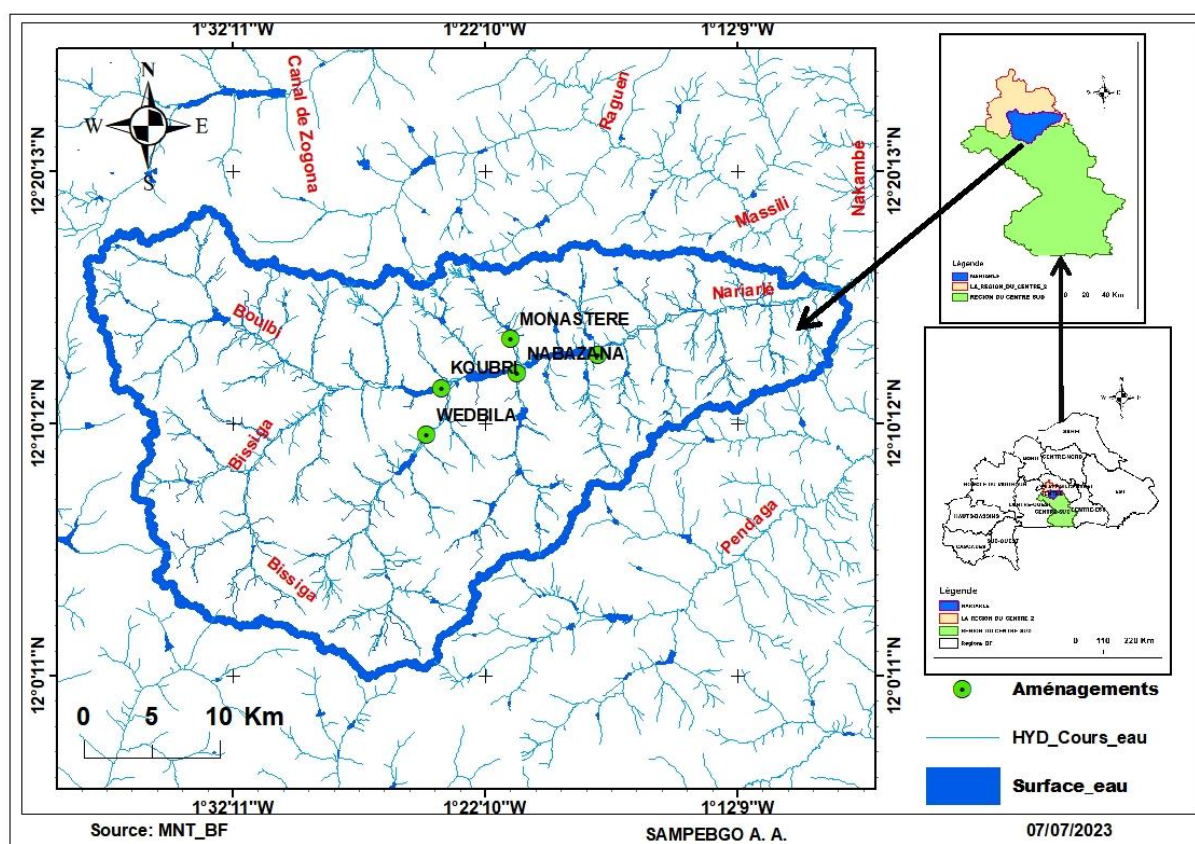
se demander quelles sont les effets des variations extrêmes des paramètres climatiques sur les formes et les processus d'érosion des sols du bassin versant de Nariarlé au Burkina Faso ?

## 2 Matériel et méthodes

### 2.1 Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de Nariarlé, se localise à latitude  $12^{\circ}12'54.03''$  nord et à longitude  $1^{\circ}19'46.57''$  ouest du Burkina Faso (Carte 1). Il est défini comme une entité géographique globale et cohérente pour une gestion de la ressource en eau (Boismartel, 2012, p. 06). Le bassin versant de Nariarlé est un sous bassin du Nakanbé (l'un des bassins nationaux du Burkina Faso). Il est limité à l'Est par le Nakanbé, à l'Ouest par le Nazinon, au nord par le Massili et au Sud par la Pendjarie. Le bassin versant de Nariarlé couvre sept (07) communes : Quatre de la région du centre (Koubri, Saaba, Komsilga et de Ouagadougou) et trois de la région du centre-sud, de la province du Bazèga (Saponi, Kombissiri et de Boulgou).

Carte 1: situation géographique de la zone d'étude



### 2.2 Méthodologie

L'évaluation des formes et des processus d'érosion réelles des aménagements d'irrigation du bassin versant de Nariarlé s'organise autour de deux sous indices qui sont :

- La caractérisation du réseau hydrographique du bassin versant aux variabilités climatiques
- Formes et processus d'érosion réelles : la méthode utilisée est l'observation directe et la télédétection par les SIG. Les formes d'érosions sont cartographiées à l'aide du logiciel Google Earth Pro.

Le réseau hydrographique est l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires qui drainent les eaux d'un bassin versant vers l'exutoire [6, p. 86]. L'eau est l'un des principaux agents climatiques d'érosion des aménagements d'irrigation du bassin versant de Nariarlé. La caractérisation du réseau hydrographique du bassin versant de Nariarlé est générée par le modèle Numérique de Terrain (MNT). Les paramètres utilisés sont : la superficie (S), le périmètre (P), la hiérarchisation, l'indice de Gravelius appelée aussi indice de forme (Kg), la densité de drainage (Dd). Ces paramètres sont déterminés automatiquement à l'aide du logiciel QGIS.

$$KG = \frac{P}{2\sqrt{IS}} \approx 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

Périmètre (m)  
Surface (m<sup>2</sup>)

Eq. 1

- La longueur (L) et la largeur (l) du bassin-versant

$$L = \frac{P + \sqrt{P^2 - 16S}}{4}$$

Eq. 2

- P : périmètre (m)
- S : surface (m<sup>2</sup>)

$$l = KG \frac{\sqrt{S}}{1,128} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{KG}\right)^2}\right)$$

Eq. 3

- La densité de drainage (Dd)

Elle est définie comme étant le rapport entre la longueur totale du réseau hydrographique et la surface du bassin-versant. Elle donne une indication sur l'importance du ruissellement à travers le bassin-versant. La longueur totale des cours d'eau drainant le bassin-versant a été mesurée à l'aide du logiciel QGIS.

- La pente moyenne (I)

La pente moyenne est donnée par la formule suivante :

$$I = \frac{\Delta H_{max}}{L_{cours\ d'\ eau}}$$

Eq. 4

P<sub>moye</sub> : pente moyenne du cours d'eau [m/km] ;

ΔH<sub>max</sub> : dénivellation maximale de la rivière [m] (différence d'altitude entre le point le plus éloigné et l'émissaire)

;

L : longueur du cours d'eau principal [km].

### 3 Résultat

La maîtrise de l'eau est un des éléments déterminants pour la sécurisation de la production agricole. Cette maîtrise requiert une bonne connaissance des régimes hydrologiques et plus particulièrement les caractéristiques des crues exceptionnelles et d'étiages. Les apports exceptionnels des eaux de ruissellement réorganisent le réseau hydrographique

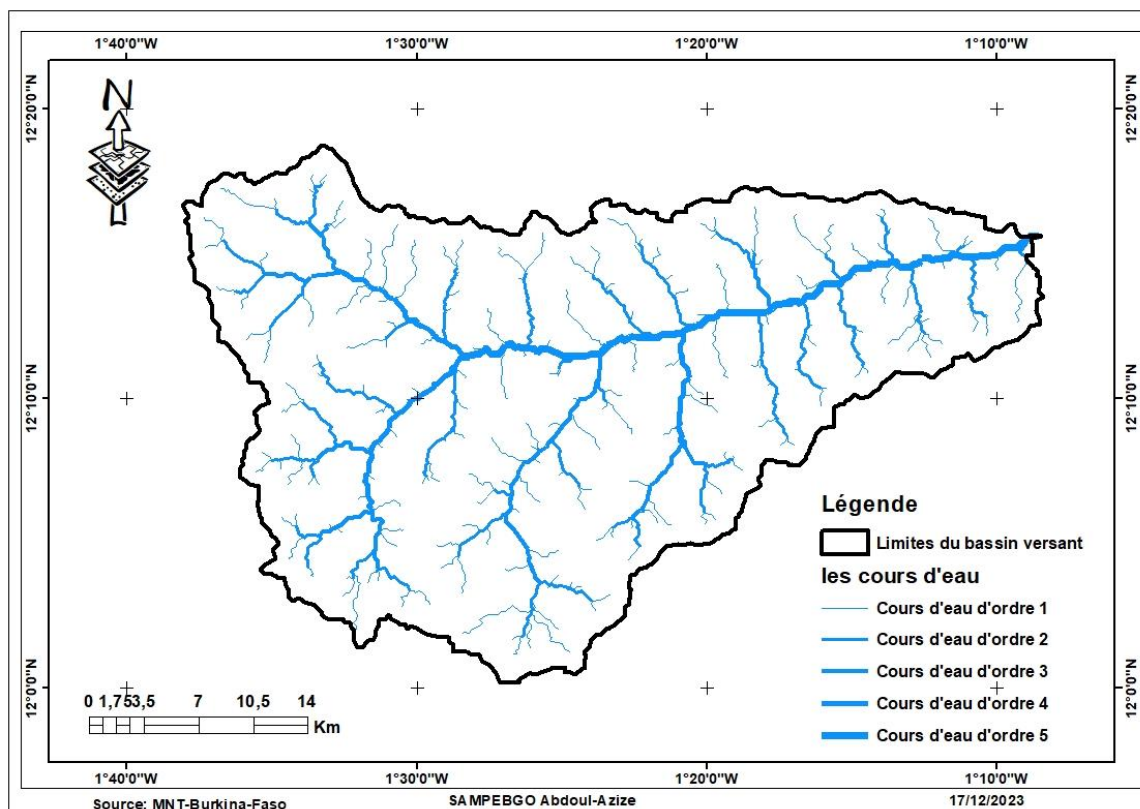
#### 3.1 La hiérarchisation du réseau hydrographique du bassin versant de Nariarlé

L'organisation du réseau hydrographique du bassin versant de Nariarlé est générée automatiquement par le logiciel QGIS en utilisant la méthode de Strahler (1952). Selon les types d'organisation des chenaux fluviaux de Derruau

(1974) le bassin versant est de type chenaux anastomosés. Le réseau hydrographique a un aspect dendritique, C'est un ensemble de cours d'eau ramifié, le plus fréquent dans un milieu d'érosion uniforme normal, « le type dendritique correspond soit à des sédiments uniformément résistants, horizontaux ou biseautés par une surface horizontale, soit à des roches cristallines dont la pente est généralement faible ». La hiérarchisation du réseau hydrographique du bassin versant de Nariarlé (carte 2).

### 3.1.1 Carte

**Carte 2: l'organisation du réseau hydrographique du bassin versant du Nariarlé**



La forme du réseau hydrographiques peut être donner par des formules empiriques du rapport de confluence  $RC = \frac{N_n}{N_{n+1}}$  (Eq. 5) et le rapport de longueur  $RL = \frac{N_n}{N_{n-1}}$  (Eq. 6) nommées les lois de Horton. Les résultats de ces deux indices se présentent dans le tableau ci-dessous (Tableau 1).

### 3.1.2 Tableau

**Tableau 1: les résultats des rapports de confluence et de longueur du bassin versant**

Ordre des cours d'eau	Nombre de cours d'eau ( $L_n$ )	Le rapport de confluence (RC)	Longueur ( $L_i$ ; Km)	Le rapport de longueur ( $R_{ij}$ )
1	357	1,63	404,15	2,6
2	219	3,65	154,86	2,77
3	60	1,13	55,85	1,79
4	53		31,18	0,74
5	109	1,81	42	
$\sum L$	798	$2,5 < Rc < 5$	688,04	

Le bassin est de type circulaire, un réseau dendritique type chêne avec des ramifications bien développées et un espacement régulier des confluences.

**Tableau 2: caractéristiques hydrologiques du bassin versant**

Caractéristiques		Valeurs	Unités
Coordonnées géographiques	X	681,733	Km
	Y	1350,88	Km
Superficie	A	1060,71	Km <sup>2</sup>
Périmètre	P	209	Km
Longueur du cours d'eau principale	L	404,15	Km
Altitudes	Maximale : $Z_{\max}$	356	m
	Minimale : $Z_{\min}$	257	m
	Dénivelé : $\Delta z$	99	m
Pente : $\frac{\Delta z}{L}$	S	0,24	
Densité de drainage	$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n Li}{A}$	0,64	Km /km <sup>2</sup>
Indice de compacité	$I_{\text{comp}} = 0,282 \cdot P \cdot S^{-1/2}$	1,809	
Rectangle équivalent	$L = S^{1/2} \cdot (I_{\text{comp}} / 1,128) \cdot [1 + (1 - (1,128 / I_{\text{comp}})^2)^{1/2}]$	93,04	Km
Indice global de pente	$I_g = \frac{H_{5\%} - H_{95\%}}{L_{eq}}$	0,72	m/km
Dénivelée spécifique	$D_{S=I_g \cdot \sqrt{A}}$	24,10	m

SAMPEBGO A. A. 2023

Les résultats observés sont :

- un faible dynamisme et de ruissellement du bassin qui s'explique par la géologie, des caractéristiques topographiques, des conditions climatologiques et géomorphologiques du bassin,
- la densité du drainage du bassin versant de Nariarlé représente 0,64. Elle exprime le rapport de la longueur totale des cours d'eau ( $L_i=688$  km) permanents et temporaires à la surface du bassin versant ( $A=1060,7139$  km<sup>2</sup>),
- le nombre total des cours d'eau du bassin versant de Nariarlé ( $L_n$ ) est de 798 sur une superficie de 1060,7 km<sup>2</sup>. La densité hydrographique du bassin correspond à 0,75 km<sup>2</sup>. Ces résultats témoignent que le bassin versant de Nariarlé repose sur une roche mère très perméable, un couvert végétal peu important et un relief peu accentué (Tableau 2).

### 3.2 Formes et processus d'érosion réelles

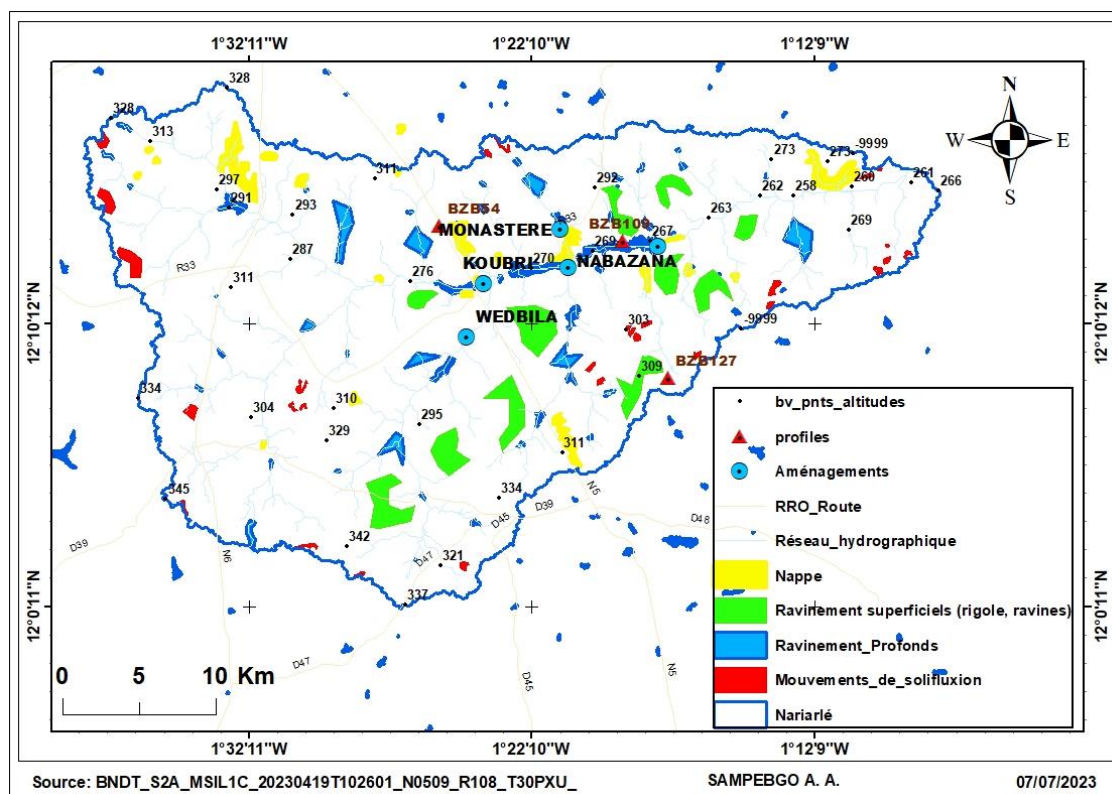
Les aménagements d'irrigation du bassin versant de Nariarlé sont confrontés aux différents processus d'érosion liés aux aléas climatiques. Ces processus sont à l'origine des formes d'érosion réelles observées dans le bassin (Carte 3) : en nappe, rigole, ravines et l'érosion par les cours d'eaux. L'eau est l'un des principaux agents climatiques d'érosion des aménagements d'irrigation du bassin versant de Nariarlé. L'érosion hydrique des aménagements commence par l'impact des gouttes de pluie sur le sol, ce sont les premiers mouvements des particules du sol. Les gouttes de pluie s'écrasent sur le sol en creusant un cratère en injectant les constituants du sol en plusieurs centimètres tout autour : c'est l'effet splash. La distance parcourue dépend de la taille de la gouttelette, de l'angle d'incidence ainsi que de l'inclinaison de la pente de la surface du sol. L'énergie des gouttes des pluies fait exploser les agrégats et montre les structures du sol. Elle disperse les particules et la turbulence



provoque par l'impact du martellement provoque une destruction, une réorganisation et une redistribution des particules fines entre les particules grossières. Les particules fines sont entraînées dans les porosités et déposées dans les micro dépressions. Ce processus d'agressivité des sols occasionne la mise en place d'une croûte argileuse appelée croûte de battance entre les parcelles d'aménagements. La croûte de battance argileuse entraîne le ruissellement des sols qui va commencer à éroder et à transporter les particules.

### 3.2.1 Carte

Carte 3: l'érosion réelle du bassin versant de Nariarlé



Les ruissellements transportent plus de particules de sol sur une croûte de battance argileuse que sur une surface avec agrégats intacts. Le ruissellement décape progressivement la surface du sol : **c'est l'érosion en nappe**. Elle dépend de la pente de l'intensité de la durée des pluies, de la stabilité structurale du sol et de la résistance des particules à l'érosion. L'érosion en nappe encore appelée l'érosion pelliculaire est une érosion incisée et marque une érosion intense du bassin versant. Il appauvrit les sols en éléments fins et nutritifs pour les cultures d'irrigation qui peinent à croître. Le décapage des sols dénie aussi les racines des arbres qui peuvent se déraciner sous l'action du vent (Image 1). Elle est localisée au niveau des plaines au sol hydromorphe et pseudogley, au tour des champs de maïs aux altitudes 680327,57 E et 1350700,45 N (BZB 111) ; des glacis au sol ferrugineux tropicaux lessivé induré profond sous savane arboré et claire, situé à 679796,83 E et 1337316,28 N (BZB 170).

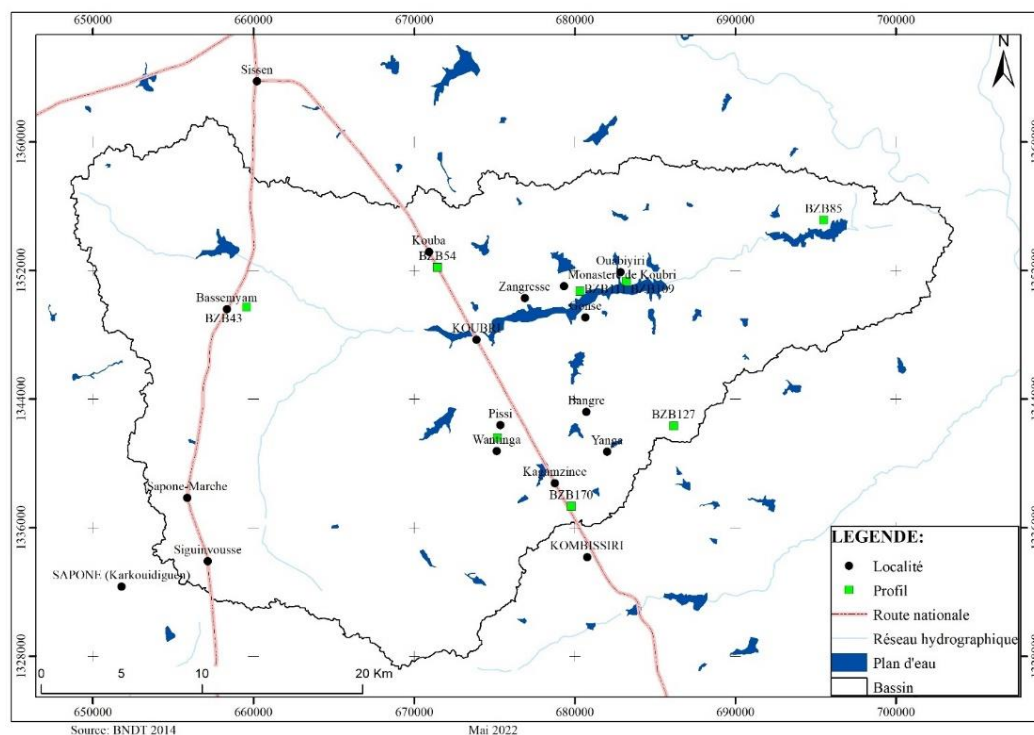
### 3.2.2 Image

Image 1: déracinement des arbres



L'érosion en nappe est également observable sur le glaucis inférieur de sol brun eutrophe des champs d'arachides (carte 4) localisées 695499,5 E et 1355149,22 (BZB 85) et sur le glaucis supérieur de 659572,19 E et 1349715,94 (BZB 043) caractérisée par un sol ferrugineux tropicaux lessivé induré peu profonde des champs de mil sous savane arbustive avec des affleurement rocheuses (cuirasse).

Carte 4: localisation des profils



L'**érosion en rigole** est la première forme d'incision et de creusement linéaire des sols (Image 2). Elle se produit lorsqu'il y a des irrégularités à la surface du sol, souvent dues aux façons culturales [7, p. 10]. Elle est localisée au niveau des glacis moyens et inférieur des sols ferrugineux tropicaux lessivé à tache et concrétion, quasi plat à drainage modéré (BZB 127, 109,). Plusieurs types de rigoles sont observés selon la forme d'incision et des types de sols :

- *Rigoles à cheval unique* : elles ont des incisions isolées et sont surtout liés à la topographie. Un scion se crée suivant une dépression allongée ou sur des terrains de culture en labour aux courbes de niveaux.
- *Les rigoles en parallèles* : elles ont des incisions en parallèles, elles sont observables sur des terrains labourés suivant la pente. Les scions laissés par le labour vont servir de voie d'écoulement des eaux qui vont continuer à les creuser.
- *Les rigoles ramifiées ou en chevelu* : elles s'observent sur les terrains naturellement cultivés. Les rigoles ramifiées ou en chevelu sont généralement effacées après le labour. Elles jouent un rôle très important dans la perte en sol et le transport des particules nutritives du sol irrigué.

**Image 2 : l'érosion en rigole**



SAMPEBGO A.A.

02/06/2022

Lorsque le ruissellement en rigoles s'intensifie, ils deviennent un écoulement et acquièrent de l'énergie qui lui permet de creuser plus profondément notamment sur les sols fragilisés et travaillés par le labour. L'évolution des rigoles fait naître des ravines. Ces ravines sont aussi observées suite à une dissection profonde du sol en créant une rupture brutale de la pente. Les rigoles évoluent en ravines selon la pente, sous l'effet de l'intensité de succession des pluies (Image 3).



**Image 3 : ravines**



SAMPEBGO A.A.

02/06/2022

L'étude du bassin versant montre la présence des ravins. Ces ravins sont dus à l'évolution des rigoles et des ravines. Les écoulements des eaux les font agrandir en profondeur et en largeur.

**Image 4 : l'érosion par les cours d'eau**



SAMPEBGO A.A.

02/06/2022

**L'érosion par les cours d'eaux.** Elle se manifeste par une effrètement de la berge de la rive concave et un glissement de la berge de la rive convexe. L'érosion par les cours d'eau les plus importants des aménagements d'irrigation sont observés en amont et en aval des barrages. Cela témoigne des insuffisances des études de réalisation de ces retenues d'eau. L'érosion se fait aussi par ablation des fonds selon la capacité du cours d'eau à créer ou à transporter sa charge de sédiments. Elle dépend de la vitesse du courant et de son énergie (Image 4).

#### 4 Discussion

L'étude de l'érodibilités réels du bassin versant de Nariarlé à Koubri montrent que les aménagements d'irrigations du Burkina Faso connaissent l'érosion hydrique. L'érosion hydrique a été identifiée comme l'un des éléments majeurs de la dégradation des sols cultivables des bassin versants [8, p. 02], [9, p. 37], [10, p. 43]. Selon [11, p. 31] le taux d'érosion des sols changera en réponse aux changements du climat. Elle affecte négativement les attributs fonctionnels des pores de transmission et de conservation de l'eau et constituer un obstacle majeur pour l'atteinte de l'autosuffisance alimentaire de la population mondiale en croissance [12]. L'érosivité des pluies dans le Rif Occidental connaît une évolution [13, p. 12], selon les projections climatiques produites par quatre Modèles Climatiques Globaux de deux scénarios. Selon [14, p. 08] l'apport massif d'eau non saline lors de la première pluie contribue à lessiver les sels solubles et ainsi à diminuer très rapidement la conductivité électrique de la solution du sol. Deux mécanismes interviennent dans le processus d'érodibilité des sols des aménagements d'irrigation à Koubri : le phénomène de détachement des éléments de terre par l'impact des gouttes de pluie sur le sol et le phénomène de détachement. Ces résultats sont en conformité avec les travaux de [15, p. 03]. L'intégration des systèmes d'information géographiques (SIG) à l'analyse des facteurs impliqués de l'érosion présente beaucoup d'avantages, surtout ceux liés au grand nombre de résultats relatifs [16, p. 06]. La méthode, malgré ses limites, apporte une aide importante aux décideurs pour simuler des scénarios d'évolution et planifier les interventions de lutte contre l'érosion [17, p. 08].

#### 5 Conclusion

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet de thèse « risques liés aux changements climatiques des aménagements d'irrigation du sous bassin versant du Nariarlé à Koubri, bassin du Nakanbé, Burkina Faso » qui a pour objectif d'évaluer les risques climatiques des aménagements d'irrigation du bassin versant de Nariarlé à Koubri au Burkina Faso selon le rapport cinq du GIEC. Les aménagements d'irrigation au Burkina Faso tout comme en Afrique sont confrontés aux risques liés aux changements climatiques. Les expositions aux risques s'expliquent par les variations extrêmes des paramètres climatique. L'étude a permis de connaître les formes et les processus d'érosion réelles des aménagements à Koubri. La lutte contre les processus de l'érosion des sols passe par des stratégies efficaces d'adaptation aux risques climatiques.

#### REFERENCES

- [1] A.-A. Sampebgo, O. Ibrahim, et B. Joachim, « Climate Risks of Irrigation Developments in the Nariarlé Sub- watershed in Koubri, Nankanbé Basin, Burkina Faso », *Asian J. Adv. Agric. Res.*, vol. 24, n° 5, p. 50-64, avr. 2024, doi: 10.9734/ajaar/2024/v24i5506.
- [2] A.-A. Sampebgo, A. Zan, et J. Bonkougou, « Expositions climatiques des aménagements d'irrigation du sous bassin versant de Nariarlé à Koubri, bassin du Nakanbé au Burkina Faso », *Rev. Francoph.*, vol. 2, n° 2, Art. n° 2, mai 2024.
- [3] A.-A. Sampebgo, M. Zoundi, et J. Bonkougou, « Vulnérabilités climatiques des aménagements d'irrigation du sous bassin versant de nariarlé, nakanbé à koubri au burkina faso », *Rev. Int. Rech. Sci. Rev.-IRS*, vol. 2, n° 2, Art. n° 2, avr. 2024, doi: 10.5281/zenodo.10951511.
- [4] CNULCD, « Changement climatique et dégradation des terres : Relier les connaissances aux enjeux », p. 19, 2015.
- [5] M. Jarraud, « Le climat et la dégradation des sols », n° OMM-N° 989, p. 34, 2005.
- [6] A. Yaméogo, « Caractérisation de la dynamique érosive dans le bassin versant supérieur de la Sissili (Burkina Faso) », Thèse de doctorat, Université Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso, 2021.
- [7] M. Sabir, « L'érosion hydrique et sa quantification », Mémoire de DEA, Université de Paris xi département d'hydrologie et de géochimie isotopique, Paris, 1986.
- [8] J. Avakoudjo, A. F. Kouelo, V. Kindomihou, K. Ambouta, et B. Sinsin, « Effet de l'érosion hydrique sur les caractéristiques physicochimiques du sol des zones d'érosion (dongas) dans la Commune de Karimama au Bénin », *Agron. Afr.*, vol. 27, n° 2, p. 127-143, 2015.
- [9] P. Dugue, « L'érosion et ses mécanismes », *Burkina Faso*, p. 37, 2007.

- [10] D. YAAGOUB, K. SOUILAH, Y. JAAFARI, P. J. Raouf, P. C. Abdel-Ali, et P. B. Mohammed, « Memoire de fin d'études », p. 43, 2016.
- [11] M. Duchemin, A. N. Rousseau, R. Majdoub, et R. Quilbé, « Impacts potentiels des changements climatiques sur l'érosion hydrique des sols », vol. 37, n° 04, p. 32, 2004.
- [12] D. Pimentel, « Soil Erosion: A Food and Environmental Threat », *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 8, n° 1, p. 119-137, févr. 2006, doi: 10.1007/s10668-005-1262-8.
- [13] F. Choukri, M. Chikhaoui, M. Naimi, D. Raclot, Y. Pepin, et K. Lafia, « Impact Du Changement Climatique Sur L'évolution De L'érosivité Des Pluies Dans Le Rif Occidental (Nord Du Maroc) », *Eur. Sci. J. ESJ*, vol. 12, n° 32, p. 79, nov. 2016, doi: 10.19044/esj.2016.v12n32p79.
- [14] A. Douaoui, C. Gascuel-Oudou, et C. Walter, « Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif (Algérie) », *Mes. Au Lab. Sous Simul. Pluie EGS*, vol. 11, n° 4, p. 379-392, 2004.
- [15] J. Dumas, « Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques », *Cah. Orstom*, p. 307-333, 1965.
- [16] A. Tribak, A. El Garouani, et M. Abahrour, « L'érosion hydrique dans les séries marneuses tertiaires du préif oriental: agents, processus et évaluation quantitative », *Rev. Marocaine Sci. Agron. Vét.*, vol. 1, n° 1, p. 47-52, 2012.
- [17] M. Yjjou, R. Bouabid, A. El Hmaidi, A. Essahlaoui, et M. El Abassi, « Modélisation de l'érosion hydrique via les SIG et l'équation universelle des pertes en sol au niveau du bassin versant de l'Oum Er-Rbia », *Int. J. Eng. Sci. IJES*, vol. 3, n° 8, p. 83-91, 2014.