Journal of Geospatial Science and Technology 4 (1): 37-58, 2023
DOI: https://doi.org/10.54222/jgst.2023.uozplvgm
Accepted: August 11, 2023

INTEGRATION DU MODELE USLE ET DU SIG POUR L'ANALYSE DE L'EROSION HYDRIQUE DANS LE BASSIN DE L'ALIBORI EN REPUBLIQUE DU BENIN

Babatoundé Abraham Alamou[1], Ousséni Arouna[1], Joseph Oloukoi[2]

[1] Laboratoire de Géosciences, de l'Environnement et Applications (LaGEA), Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP), Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques (UNSTIM), abramsalamou@gmail.com, arounaousseni@gmail.com

[2] African Regional Institute for Geospatial Information Science and Technology, Obafemi Awolowo University Campus, Ile-Ife, Nigeria, oloukoi@afrigist.org

Résumé

L'érosion hydrique est un phénomène naturel multidimensionnel de dégradation des sols variant dans le temps et dans l'espace mais souvent amplifiée parfois par les actions anthropiques. Elle est manifeste dans le bassin de l'Alibori au Bénin. Cette recherche est basée sur l'utilisation du modèle USLE (*Universal Soil Loss Equation*) et des données en accès libre pour cartographier les zones à risque d'érosion. Le croisement de cinq (05) facteurs déterminants tels que la topographie (LS), l'érosivité des pluies (R), l'occupation du sol (C), l'érobilité des sols (K) et les pratiques antiérosives (P), a permis d'identifier quatre (04) niveaux de sévérité de l'érosion hydrique du bassin : faible, modérée, forte et très forte. Entre 1980 et 2020, la moyenne de perte en sol par niveau de sévérité est 52,75 % (faible), 10,13 % (modérée), 20,35 % (forte) et 16,77 % (très forte). Les facteurs d'érosivité des pluies (R) et le couvert végétal (C) ont une influence importante sur l'érosion hydrique dans le bassin de l'Alibori. L'intégration du modèle USLE et du Système d'Information Géographique (SIG) constitue un outil de planification efficace de l'aménagement du bassin.

Mots clés : Erosion hydrique, Modèle USLE, Risque d'érosion, Bassin de l'Alibori, Bénin.

Abstract

Water erosion is a multidimensional natural phenomenon of soil degradation varying in time and space but often amplified by anthropogenic actions. It is evident in the Alibori basin in Benin. This study is based on the use of the USLE model (Universal Soil Loss Equation) and open-source data to map areas at risk of erosion. The crossing of five (05) determining factors such as the topography (LS), erosivity of the rains (R), land cover (C), soils erobility of the grounds (K), and the erosion control practices (P) have allowed identifying four (04) levels of water erosion severity of the basin: weak, moderate, strong and very strong. Between 1980 and 2020, the average soil loss per level of erosion severity is 52.75% (low), 10.13% (moderate), 20.35% (high), and 16.77% (very high). Rainfall erosivity factors (R) and vegetation cover (C) have an important influence on water erosion in the Alibori basin. The integration of the USLE model and the Geographic Information System (GIS) constitutes an effective planning tool for the development of the basin.

Keywords: Water erosion, USLE Model, Erosion risk, Alibori Basin, Benin.

Introduction

L'érosion est un phénomène naturel auquel les sols sont exposés. Pour Ondoa (2022), face aux changements climatiques, les sols seront de plus en plus exposés à la force érosive des pluies, elles-mêmes devenant de plus en plus agressives, ce qui pourrait avoir comme conséquence, l'augmentation des volumes de ruissellement, amplifiant ainsi la vulnérabilité des sols. Ce phénomène naturel représente un risque multidimensionnel et un défi environnemental de l'écosystème (El Hafid et Akdim, 2018). C'est un phénomène très complexe et lié à des facteurs naturels et anthropiques difficilement maîtrisables. L'érosion peut être définie comme un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité (Girard *et al.,* 2005). Il s'agit d'une forme de dégradation des sols, qui varie dans le temps et dans l'espace. Pour Roose (1994), l'érosion est un processus naturel qui ronge la terre, abaisse toutes les montagnes et engraisse les vallées. Cet ensemble de processus provient de l'interaction de facteurs actifs, en particulier l'agressivité climatique passive, la texture du sol, la couverture végétale et la valeur de pente. Toutefois, lorsque l'érosion se produit sous l'action de l'eau, elle est appelée érosion hydrique : c'est de ce type d'érosion qu'il est question dans la présente étude. Certes l'érosion est un phénomène naturel, mais elle est souvent amplifiée par l'action humaine. Selon Kaci *et al.* (2014), à la suite d'une très longue pression anthropique (surpâturage, défrichement, incendies) sur le couvert végétal, les sols se dégradent profondément. La forêt joue un rôle hydrologique important ; ainsi les processus érosifs se propagent plus vite là où le couvert végétal a été détruit et peuvent causer des dégâts considérables en aval (Rey, 2004). L'érosion contribue à la modification de la structure du sol en place, à l'exportation massive des éléments fins tels que les argiles qui contribuent pourtant au maintien de la fertilité du sol (Ondoa, 2022). Les conséquences de l'érosion sont la réduction des surfaces cultivables et la pérennité du sol par les pertes des éléments fertilisants. En Afrique de l'ouest, la dégradation des sols est aggravée par une expansion rapide des terres agricoles, résultant de la croissance de la population, y compris la migration, le faible recours aux pratiques de conservation des sols et l'augmentation de la variabilité des précipitations, en raison du changement climatique (Hiepe, 2008). La quantification et la spatialisation de l'érosion des sols qui résulte de l'effet conjugué de plusieurs facteurs comme le type de climat, les propriétés des sols et la déforestation, constituent une approche importante pour l'appréhension des processus des écoulements dans les bassins versants et leur géolocalisation.

Au Bénin, l'érosion hydrique est un processus majeur de dégradation des sols. Malgré le relief relativement plat du pays, la dégradation des sols y est un problème considérable, car l'intensité des précipitations et des systèmes agricoles à faibles intrants sont répandus (Avakoudjo, 2015). Dans le bassin de l'Alibori, l'érosion hydrique est un phénomène réel. Selon Toko et Sinsin (2008), la dégradation des sols du secteur d'étude est marquée par le phénomène d'effondrement du sol et de perte massive des terres, appelée « donga ». Ce phénomène frappe aussi bien le Parc National W que ses terroirs (Avakoudjo, 2014). Pour Boko (2012), les unités pédologiques du bassin de l'Alibori sont fragiles et vulnérables. Les pratiques culturales basées sur la conquête de nouvelles terres par les défrichements répétés sont des facteurs qui rendent effective l'érosion dans le secteur d'étude. Selon Avakoudjo (2015), l'érosion hydrique est un processus majeur de dégradation des sols à Karimama. Pour Ayena *et al.* (2019), à partir de la combinaison des facteurs d'érosivité des pluies, d'érodibilité des sols, de la pente topographique et de la couverture végétale, le bassin versant de la Sota est faiblement sensible à l'érosion hydrique (72 % du bassin

est faiblement sensible). La pression animale avec la transhumance des bêtes sont des facteurs qui participent à la destruction du couvert végétal exposant les sols aux effets de l'érosion (Djènontin, *et al.,* 2003 ; Vissin, 2007). Des analyses de la dynamique de l'occupation des terres dans le bassin de l'Alibori, la déforestation est manifeste et présente (Toko Imorou *et al.,* 2019 ; Djaouga *et al.* 2021). Il est donc important d'analyser les facteurs déterminants et leur spatialisation dans le bassin de l'Alibori.

La présente étude cartographie l'influence de la déforestation sur les pertes en sols dans le bassin de l'Alibori, à travers le modèle USLE (Equation Universelle de Pertes en Sol) dont les paramètres ont été essentiellement estimés par l'utilisation des SIG et des images satellitaires. Cette méthodologie a permis d'établir les cartes des facteurs d'érosion et de déterminer les zones vulnérables à l'érosion pour une meilleure politique d'aménagement à l'échelle du bassin de l'Alibori.

Zone d'étude

Le bassin de l'Alibori est situé entre 10°04'20'' et 12°10'24'' de latitude Nord et 1°52'17'' et 3°21'27'' de longitude Est. Il est situé au nord du Bénin et couvre trois (03) départements et huit (08) communes. Sa superficie est de 13 866,24 km². La population du bassin de l'Alibori est estimée en 2022 à 504 262 habitants avec un taux d'accroissement naturel de 4,8 %. Le climat est de type soudanien avec une saison pluvieuse et une saison sèche (Badou, 2016 ; Boko, 2012). La figure 1 présente la situation géographique du secteur d'étude.

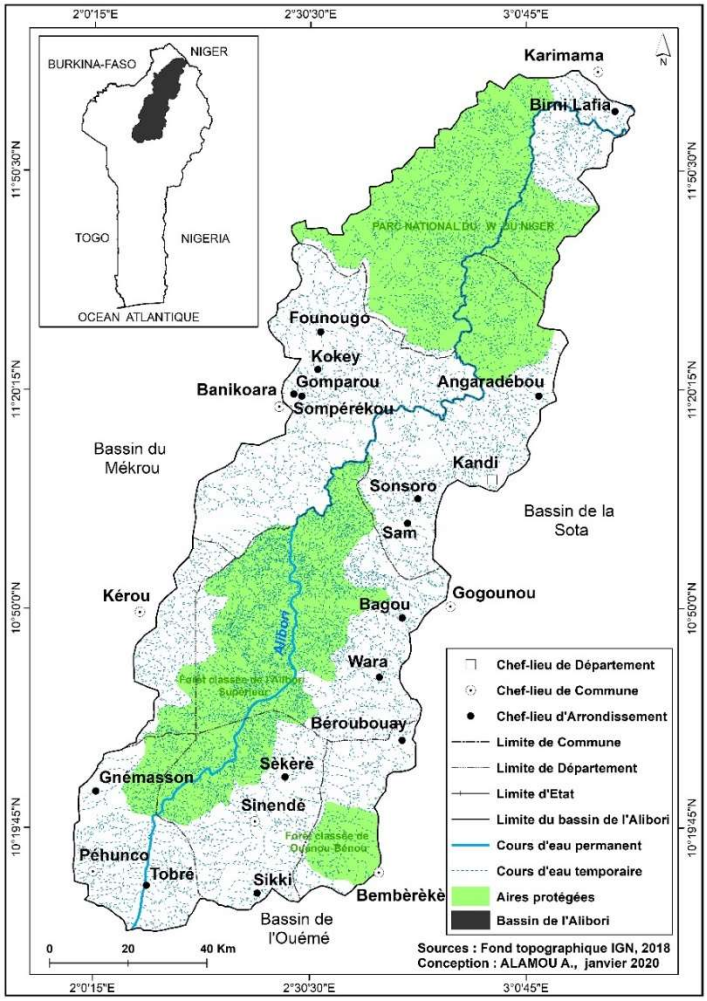

Figure 1 : Situation géographique du bassin de l'Alibori

L'ampleur des écoulements varie d'une unité géographique à une autre selon l'altitude mais aussi selon l'occupation des terres. L'altitude du relief dans le bassin de l'Alibori est dans sa globalité inclinée du sud vers le nord et variant entre 550 et 157m. La pente globale est estimée à 0,2 % (soit 2 m de hauteur sur une distance de 1 km) donc favorables à l'écoulement hydrologique. Quant au sol du bassin de l'Alibori, il appartient à la même formation pédologique que les bassins du Nord-Bénin qui résultent essentiellement des processus de ferrallitisation et de ferruginisation (Badou, 2016). La figure 2 présente la carte des altitudes du secteur d'étude.

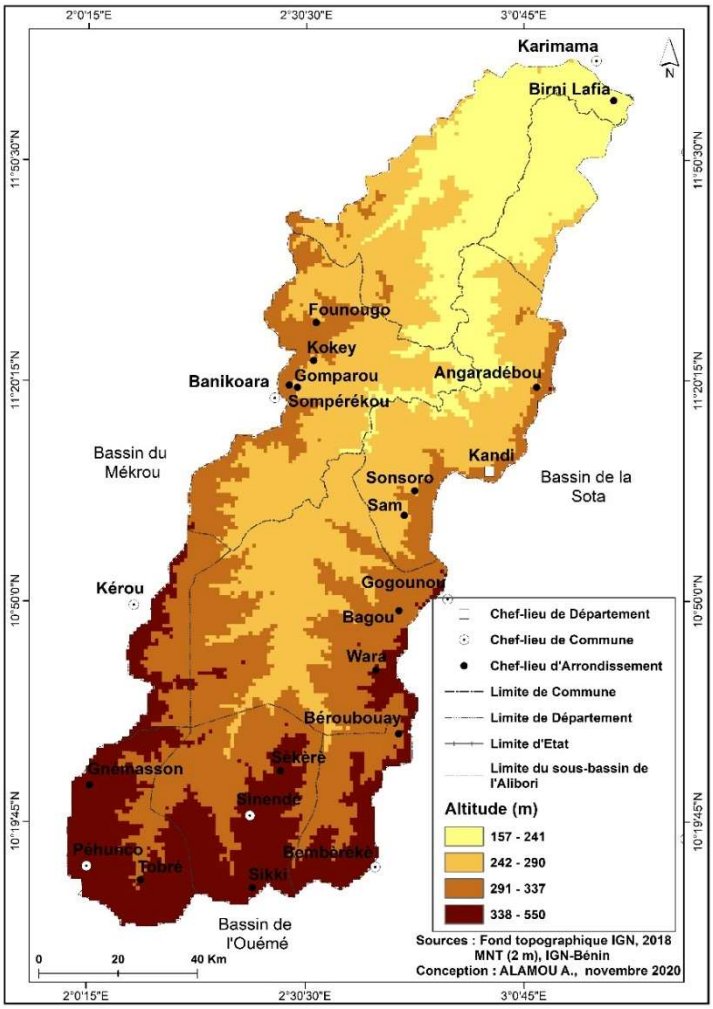

Figure 2 : Altitude du bassin de l'Alibori

La variation de l'altitude est classée en quatre types :

- ✓ Altitude entre 157 et 241 m : présente dans l'embouchure du fleuve Niger,
- ✓ Altitude entre 242 et 290 m : fortement dominante dans le centre du secteur,
- ✓ Altitude entre 291 et 337 m : observée dans la commune de Bembèrèkè et aussi le long des frontières des sous bassins mitoyens,
- ✓ Altitude variant entre 338 et 550 m : située en amont (au sud du secteur), elle est dominante dans les communes de Péhunco et de Sinendé

Matériels et méthodes

Matériels

Plusieurs types de données provenant de diverses sources ont été utilisés. Ces données se présentent comme suit :

- Les données planimétriques relatives à la topographie, à l'occupation des terres, et à la pédologie. Elles sont extraites de trois (03) images satellitaires (Landsat 2 de 1980, Landsat 7 de 2000 et Landsat 8 de 2020) téléchargées sur le https://earthexplorer.usgs.gov ;
- les Modèles Numériques de Terrain (MNT) du secteur d'étude, d'une résolution de 2m obtenus au CENATEL ;
- les hauteurs des précipitations journalières, mensuelles et annuelles extraites de la base des données de l'Agence Météo Bénin de 1980-2020 des stations pluviométriques (Alfakoara, Banikoara, Bembèrèkè, Karimama, Kérou et Kandi) selon la disponibilité des données. Les données pluviométriques complémentaires du bassin de l'Alibori sont extraites à partir des données d'AfriClim (webfiles.york.ac.uk/KITE/AfriClim) pour combler certaines lacunes.

Méthode

L'équation USLE réunit les facteurs qui déterminent les pertes en sol (A) : la topographie (LS), l'agressivité climatique (R), l'érodibilité du sol (K), le couvert végétal (C), les techniques antiérosives (P). Bien que le modèle USLE soit largement utilisé dans le monde scientifique, il présente certaines limites et nécessite des paramètres de calibration qui ne sont pas toujours disponibles. De plus, l'équation ne s'applique qu'à l'érosion en nappe. La méthode utilisée dans la présente étude s'appuie sur la formule de Wischmeier et Smith qui a déjà été employée par de nombreux auteurs en Afrique et dans la région soudanienne (Naga *et al.,* 2007 ; Kabore *et al.,* 2008 ; Payet *et al.*, 2011 ; Kaci *et al.,* 2017 ; Nacishali, 2021). La figure 3 présente l'approche méthodologique schématisée de l'USLE.

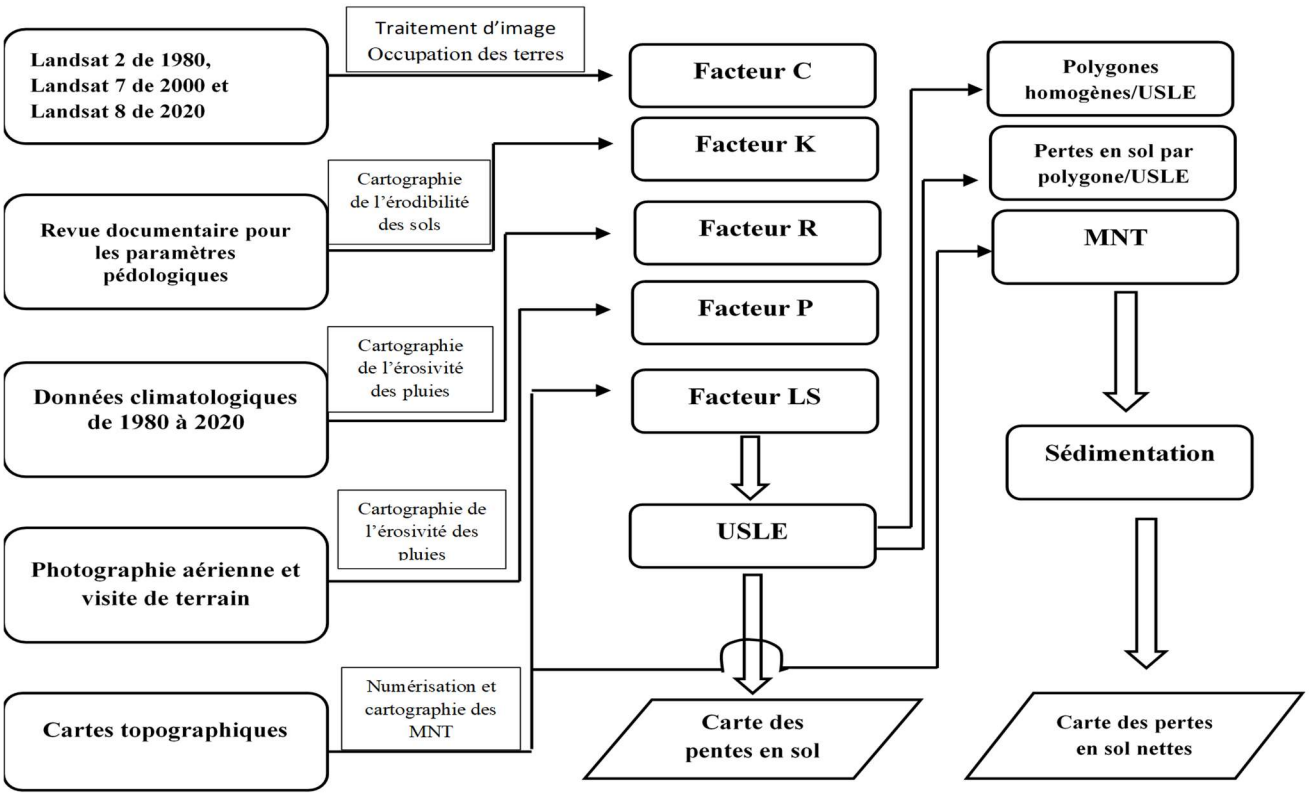

Figure 3 : Schéma de l'approche méthodologique de l'USLE.

La figure 4 présente la méthodologie adoptée pour estimer et cartographier l'érosion potentielle. Elle vise à élaborer, à l'échelle du bassin de l'Alibori, une carte des pertes en sol.

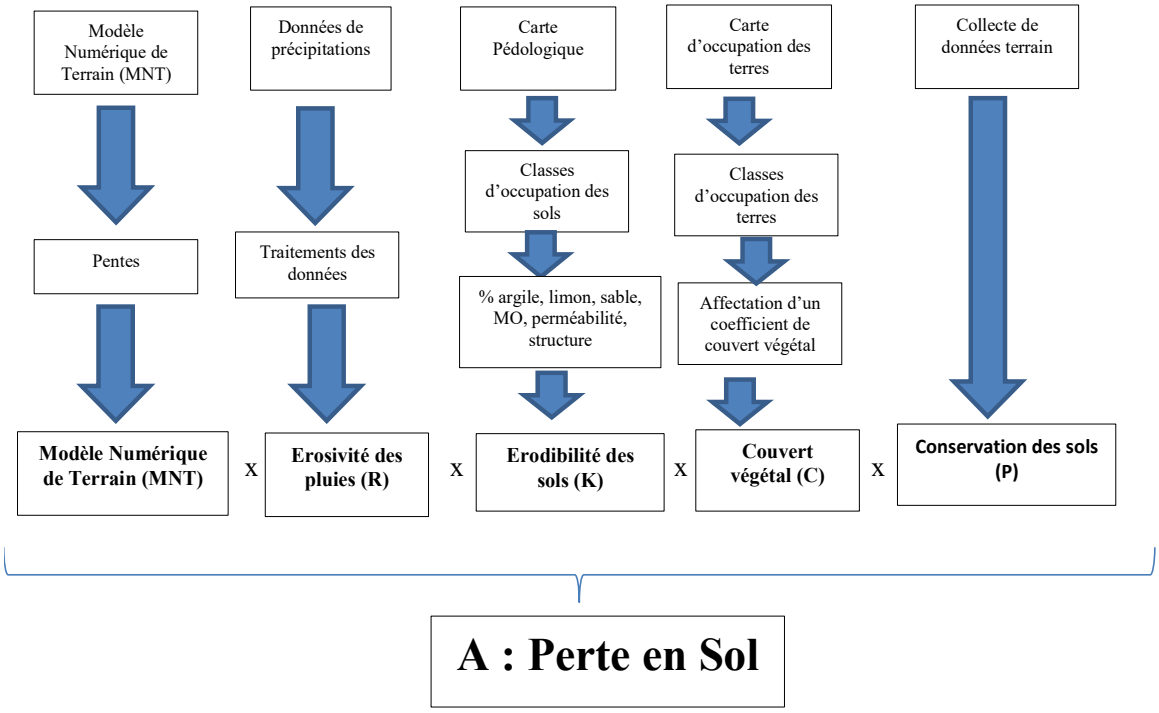

Figure 4 : Organigramme de la détermination de l'USLE dans le SIG.
Source : Printemps J., 2007

Traitements des données

- **Facteur LS**

Le facteur R est lié à la topographie du secteur. Dans le cadre de cette étude, l'équation proposée par Wischmeier et Smith (1978) a été utilisée pour la détermination du facteur LS :

$$\boldsymbol{LS = \left(\frac{\lambda}{22{,}1}\right)^{m} \times (65{,}41 sin\theta^{2} + 4{,}56\ sin\theta + 0{,}065)} \quad \textit{(E1)}$$

λ est la longueur de la pente, θ est l'angle d'inclinaison en %, m est un facteur qui dépend de la pente (voir tableau I)

Tableau I: Variation de m en fonction de la pente

Pente (θ) en %	Facteur m correspondant
θ < 1	0,2
1 ≤ θ < 3,5	0,3
3,5 ≤ θ < 5	0,4
θ ≥ 5	0,5

- **Facteur R**

Le facteur R est lié à l'érosivité des pluies, il traduit la capacité potentielle de la pluie pour produire de l'érosion. Sa formule est :

$$\boldsymbol{R = E \times I_{30}} \quad \textit{(E2)}$$

Avec R, l'érosivité de la pluie pour un épisode pluvieux en MJ.mm/ha.h ; E est l'énergie cinétique de la pluie en MJ/ha ; I_{30} est son intensité maximale en 30 minutes en mm/h. Dans le cadre de la présente recherche, ce facteur a été déterminé par

interpolation spatiale pour les années 1980, 2000 et 2020 à partir des données des stations pluviométriques qui entourent le bassin de l'Alibori supérieur.

- **Facteur K**

L'érodibilité d'un sol se traduit par la résistance inhérente au détachement et au transport des particules par l'eau (Payet *et al.,* 2011). La formule utilisée est :

$$\mathbf{100K = 2,1 \times M^{1,14} \times 10^{-4}(12 - MO) + 3,25 \times (b - 2) + 2,25 \times (c - 3)} \quad \textit{(E3)}$$

avec M = (% sable fin + limon) × (100 - % argile) ; MO : le pourcentage de la matière organique ; b : le code de perméabilité du sol et c : le code de la structure du sol (Wischmeier et Smith, 1978). Cette méthode de Wischmeier et Smith (1978) n'a pu être appliquée dans cette étude car la base de données pédologique du Bénin (ORSTOM, 1977) ne contient pas un certain nombre de paramètres habituellement pris en compte dans le calcul du facteur K. Il s'agit des paramètres comme le pourcentage de matière organique (Mo), l'indice c lié à la perméabilité du sol et l'indice b de structure du sol. Le facteur K a été déterminé suivant les types des formations pédologiques du milieu et avec l'adaptation des résultats des travaux de Payet *et al*. (2011). Le tableau 1 présente la variation du facteur K.

Tableau 1 : Variation du facteur K en fonction du type de sol

Types de formations pédologiques	Facteur K (t. ha.h/ha.MJ.mm)
Sols peu évolués	0,0395
Sols ferrugineux tropicaux	0,0057
Vertisols	0,0289
Sols minéraux bruts	0,0026

Source : Adapté à partir des travaux de Payet *et al*. (2011)

- **Facteurs C et P**

Le facteur C est lié à l'occupation des terres. Sa détermination prend en compte les aménagements et pratiques agricoles (Soutter *et al.,* 2007 ; Wischmeier et Smith, 1978 *in* El Garouani *et al.,* 2008). Le facteur (C) a été établi à partir des unités d'occupation des terres, respectivement pour les années 1980, 2000 et 2020 du bassin de l'Alibori en utilisant la démarche méthodologique adoptée par Payet *et al*. (2011) sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar. Quant au facteur P, il prend en compte les pratiques de conservation du sol, reflète les effets des pratiques qui réduisent la quantité d'eaux de ruissellement et la vitesse de ruissellement et qui réduisent de ce fait l'importance de l'érosion. Aux vues de l'unicité des techniques culturales pratiquées dans le bassin, une valeur de « 1 » a été arbitrairement affectée au facteur P. Le tableau 2 présente les seuils du facteur C en fonction de l'occupation des terres.

Tableau 2 : Détermination du facteur C en fonction du type d'occupation des terres

Type d'occupation des terres	Facteur C
Surface rocheuse	0
Plantation	0,18
Habitation	0,2
Cultures et jachères	0,5
Forêt dense	0,001
Plan d'eau	0
Savanes arborée et arbustive	0,3
Forêt claire et savane boisée	0,7

Type d'occupation des terres	Facteur C
Forêt galerie	0,28

Source : Adapté à partir des travaux de Payet et al. (2011)

Résultats

Deux principaux résultats sont présentés : les facteurs déterminants de l'érosion hydrique et l'estimation des pertes des sols dans le bassin de l'Alibori.

❖ Les facteurs déterminants de l'érosion hydrique

Facteur topographique (LS)

Le bassin de l'Alibori est caractérisé par une faible variation de son relief. La figure 5 illustre la spatialisation du facteur LS.

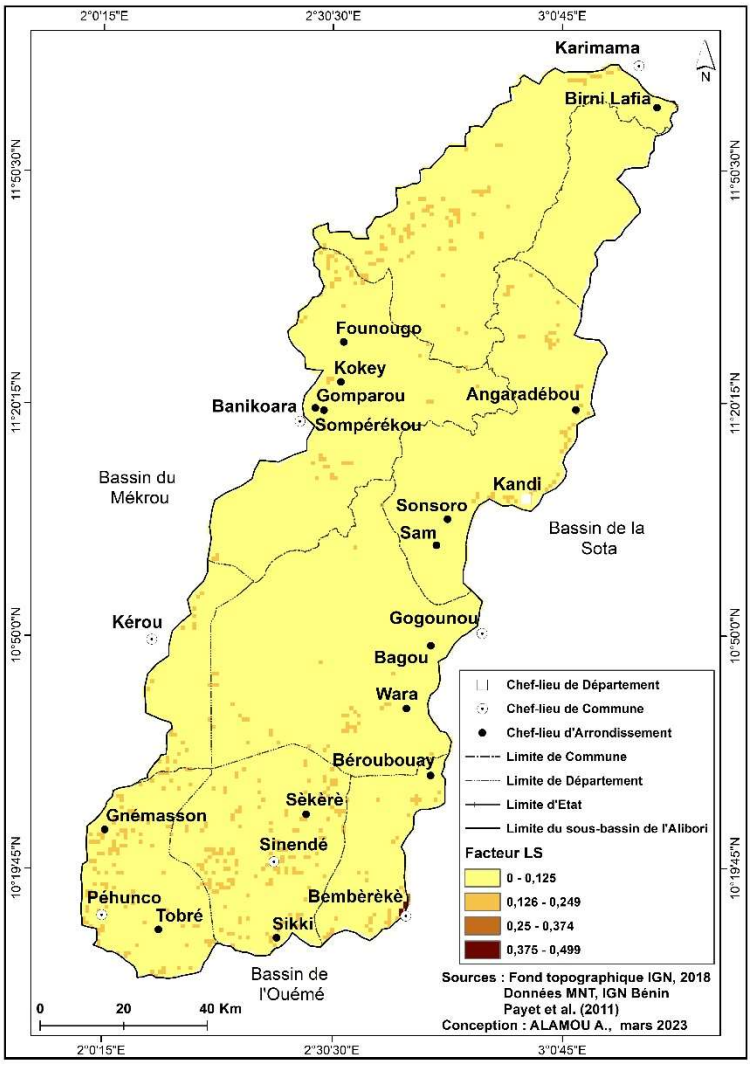

Figure 5 : Facteur topographique dans le bassin de l'Alibori

Dans le bassin de l'Alibori, le facteur LS varie entre 0,125 et 0,499. Cela montre que le facteur topographique contribue très peu à la genèse de l'érosion car fortement dominé par de faible taux de variation des pentes. Toutefois, le sud (Bembèrèkè) et le nord-ouest (Parc W du côté de Banikoara) du bassin ont un facteur LS modéré variant entre 0,25 et 0,499. Les valeurs élevées du facteur LS traduisent des zones ayant de forts

gradients de pentes qui ont une grande influence sur la genèse du phénomène de l'érosion hydrique dans le bassin.

- **Facteur érosivité des pluies (R)**

Le bassin de l'Alibori jouit d'un climat soudano-guinéen dont la spatialisation pluviométrique varie du sud vers le nord pour les années 1980 et 2000. Le facteur d'érosivité pour ces mêmes années est fonction de la spatialisation des précipitations et structurée en quatre (04) classes : fortement érosive, modérément érosive, érosive et faiblement érosive. Les figures 6a, b et c illustrent le facteur R.

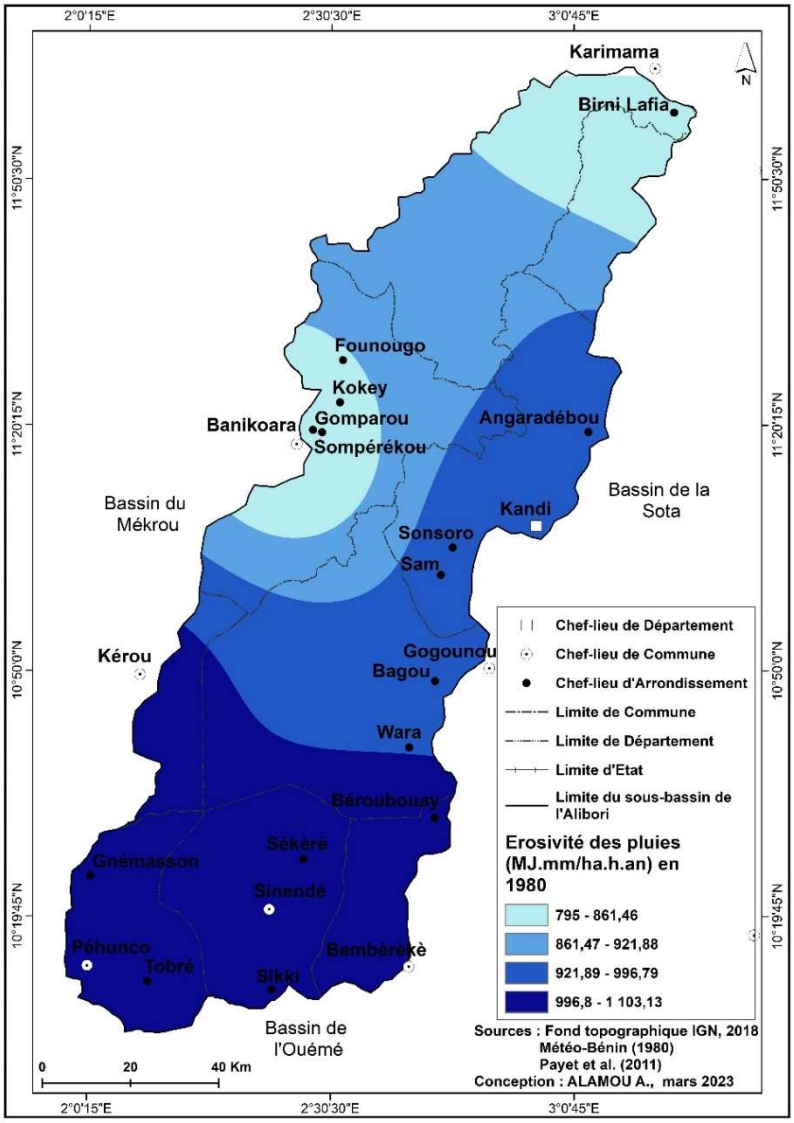

Figure 6a : Erosivité des pluies en 1980 dans le bassin de l'Alibori

Selon la figure 6a, en 1980, le facteur varie entre 795 et 1103 MJ.mm/ha.h.an. Le secteur est fortement érosif du sud du bassin jusqu'à la latitude de Wara.

Web site : https://www.afrigistjournals.com/index.php/jgst
Email : chiefeditor@afrigistjournals.com

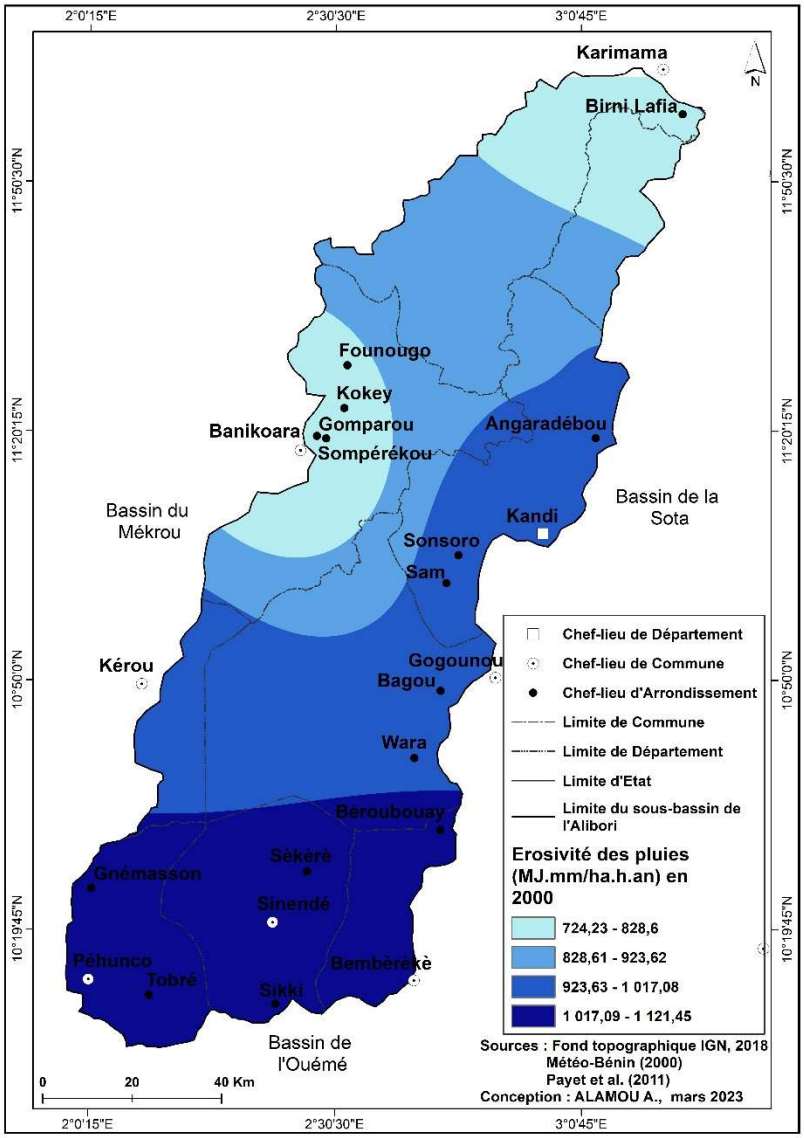

Figure 6b : Erosivité des pluies en 2000 dans le bassin de l'Alibori

En 2000, la zone de la classe fortement érosive a régressé en termes de couverture spatiale au détriment de la classe modérément érosive (figure 6b).

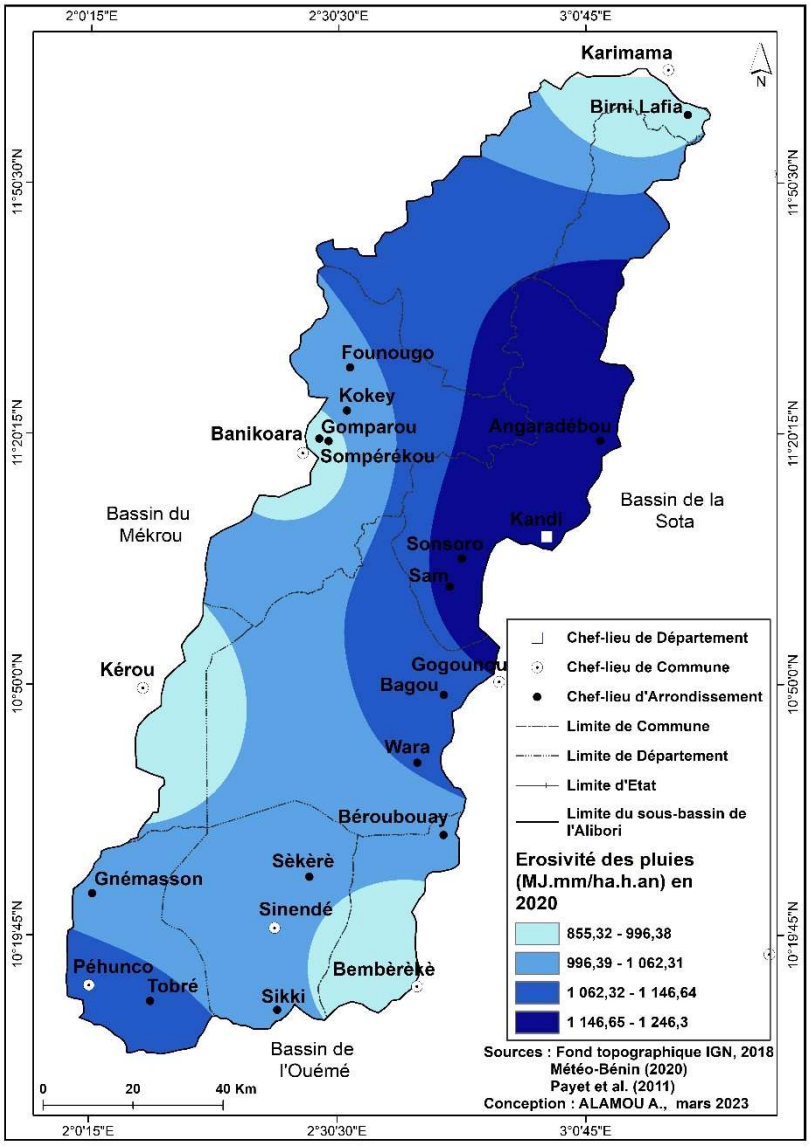

Figure 6c : Erosivité des pluies en 2020 dans le bassin de l'Alibori

En 2020, le secteur a enregistré une modification significative des classes d'érosivité : les classes fortement et modérément érosives sont apparues à l'Est, les classes faiblement érosives ont connu une réduction de couverture spatiale mais avec des apparitions des foyers des classes de faiblement érosives au sud-est, sud-ouest, au centre ouest et au nord (figure 6c). L'agressivité des précipitations a été élevée au sud et au centre entre 1980 et 2000 puis à l'est et au centre en 2020. Ceci indique que le secteur subit une influence importante de l'érosivité des pluies dans la genèse de l'érosion hydrique mais à de gradients décroissants spatialement (du sud vers le nord).

Erodibilité des sols (Facteur K)

La variabilité du facteur érodibilité du bassin de l'Alibori est fonction du type de sol. La figure 7 illustre la spatialisation du facteur K.

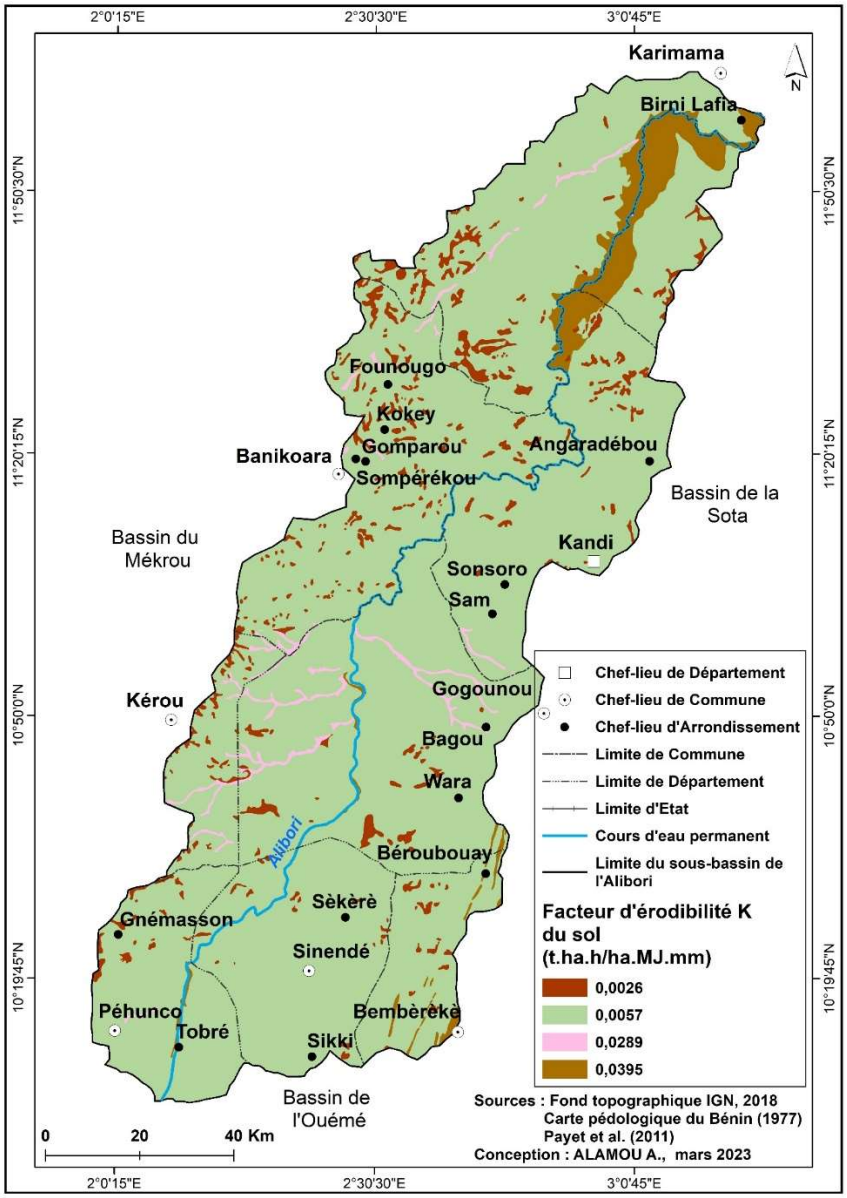

Figure 7 : Facteur d'érodibilité des sols dans le sous-bassin de l'Alibori

De manière globale, l'érodibilité du sol du bassin est faible, elle varie entre 26.10^{-4} et 395.10^{-4} t.ha.h/ha.MJ.mm. Les sols peu évolués et les vertisols sont respectivement les sols les moins vulnérables au détachement et au transport par la pluie et le ruissellement comparativement aux sols ferrugineux tropicaux et les sols minéraux qui sont les plus vulnérables. Le bassin de l'Alibori étant fortement dominé par des vertisols donc résiste à l'érosion hydrique. Toutefois, la partie ouest (Kérou, Banikoara) et la vallée du cours d'eau Alibori dans le Parc W sont très vulnérables à l'érosion à cause de la minéralisation ou le lessivage des sols liés à la culture du coton ou aux actions de l'eau.

Occupation du sol (Facteurs C) de 1980, 2000 et 2020

Le facteur C montre la sensibilité des différents types d'occupation du sol face au processus érosif. Les figures 8 a, b et c présentent le facteur C.

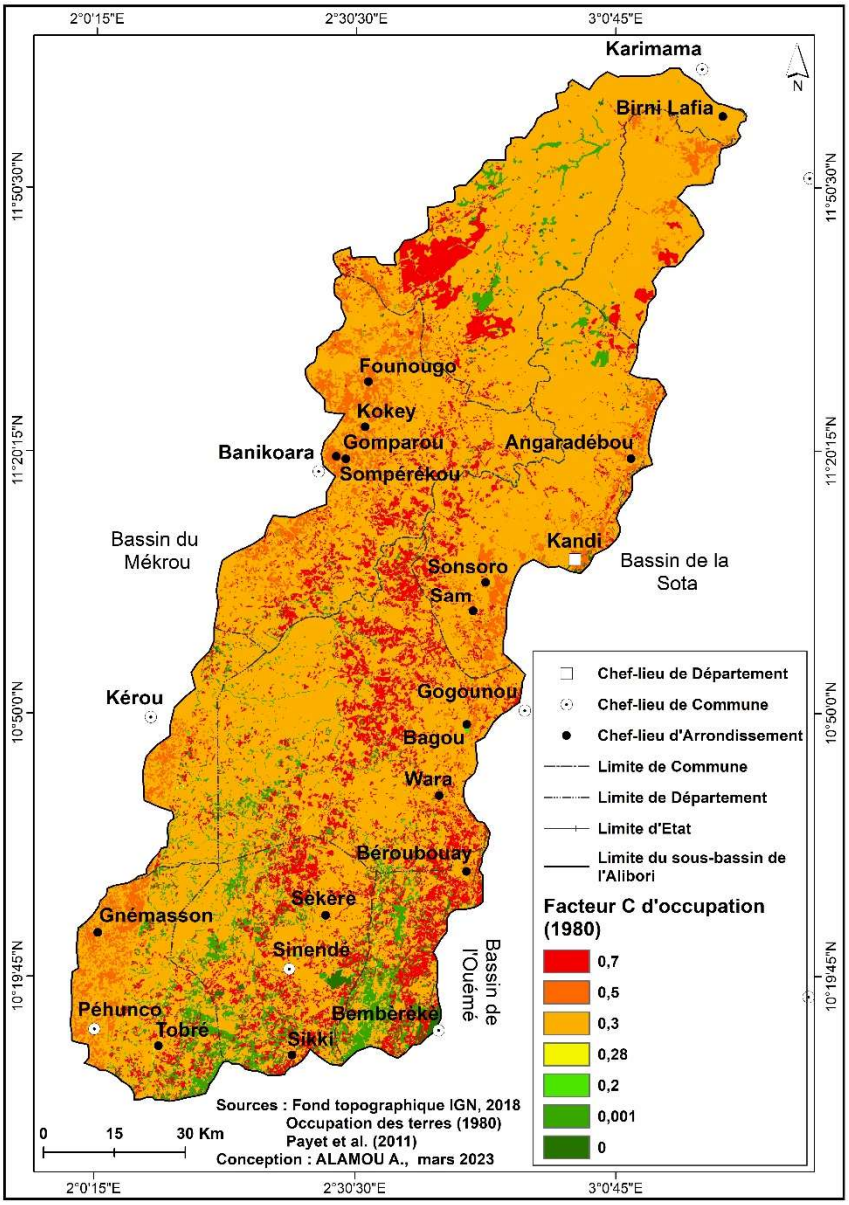

Figure 8a : Facteur C en 1980 dans le bassin de l'Alibori

La figure 8a montre que le bassin est fortement sensible à l'érosion (dominance des seuils variant entre 0,3 et 0,7). Toutefois il existe des ilôts ou fragments d'une partie du sud et du Park W qui ont une sensibilité nulle à l'érosion à cause de la présence du couvert végétal sur les sols.

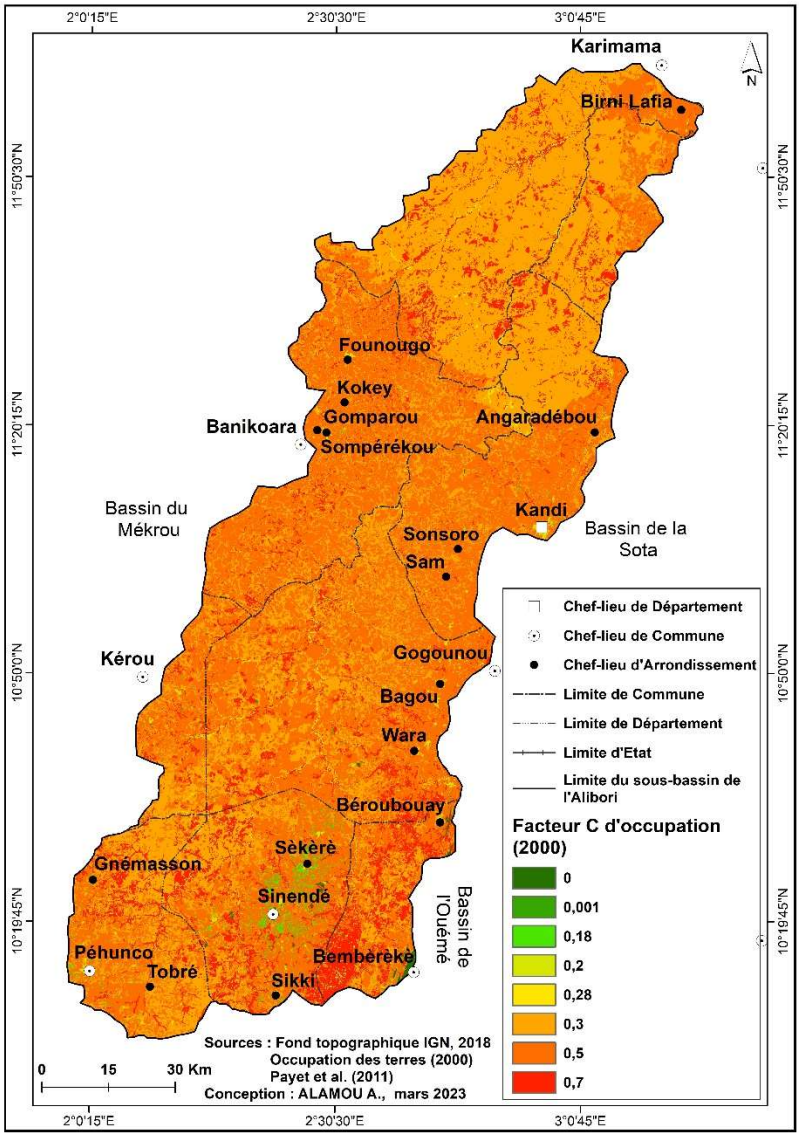

Figure 8b : Facteur C en 2000 dans le bassin de l'Alibori

La figure 8b montre une généralisation de la forte sensibilité du bassin de l'Alibori à l'érosion excepté les localités de Sèkèrè et de Sinendé qui ont une faible sensibilité variante entre 0,001 et 0,18.

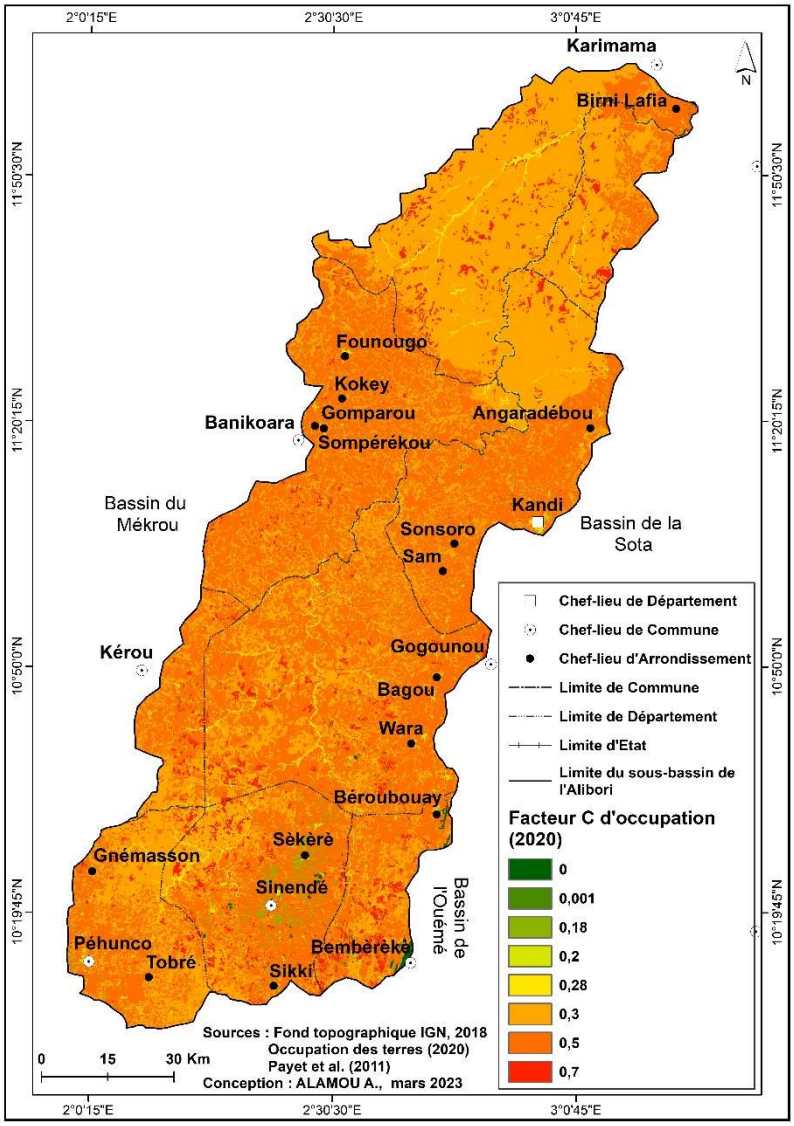

Figure 8c : Facteur C en 2020 dans le bassin de l'Alibori

La figure 8c présente une globalisation de la sensibilité du bassin de l'Alibori à l'érosion. La vulnérabilité du bassin de l'Alibori au processus de l'érosion hydrique varie entre 0 et 0,7. Le facteur C obtenu a varié suivant les années en fonction de la dynamique de l'occupation du sol du bassin. Aux secteurs fortement végétalisés, correspondent les coefficients les plus faibles donc faiblement exposés à l'érosion ; alors qu'aux coefficients les plus élevés, sont associés les sols nus et les secteurs faiblement végétalisés. La dynamique évolutive de la vulnérabilité du bassin au processus de l'érosion s'explique par la régression du couvert forestier du bassin de 1980 à 2020. Donc la présence du couvert végétal ralentit le phénomène de l'érosion. Quant aux pratiques antiérosives, les techniques culturales mises en œuvre pour diminuer le ruissellement et l'érosion dans le bassin de l'Alibori sont : le labour à contre-pente, la culture suivant les courbes de niveau, la culture en bandes, le buttage, ou le billonnage. La planche 1 illustre quelques techniques culturales antiérosives.

Photo a : Technique de culture par buttage	Photo b : Technique de culture attelée à contre-pente	Photo c : Technique de culture à plat

Planche 1 : Techniques de cultures antiérosives dans le bassin de l'Alibori
Source : Prise de vue, Alamou, 2021

La planche 1 présente les techniques culturales antiérosives développées par les populations du bassin de l'Alibori pour réduire les pertes en terres.

- **Etat des risques d'érosion du bassin de l'Alibori**

Deux principaux facteurs (naturels et anthropiques) sont à la base de la genèse de l'érosion hydrique dans le bassin de l'Alibori. La figure 9 indique la catégorisation les zones naturellement vulnérables à l'érosion (figure 9a, 9b et 9c) et le tableau 3 présente les proportions de vulnérabilité entre 1980 et 2020.

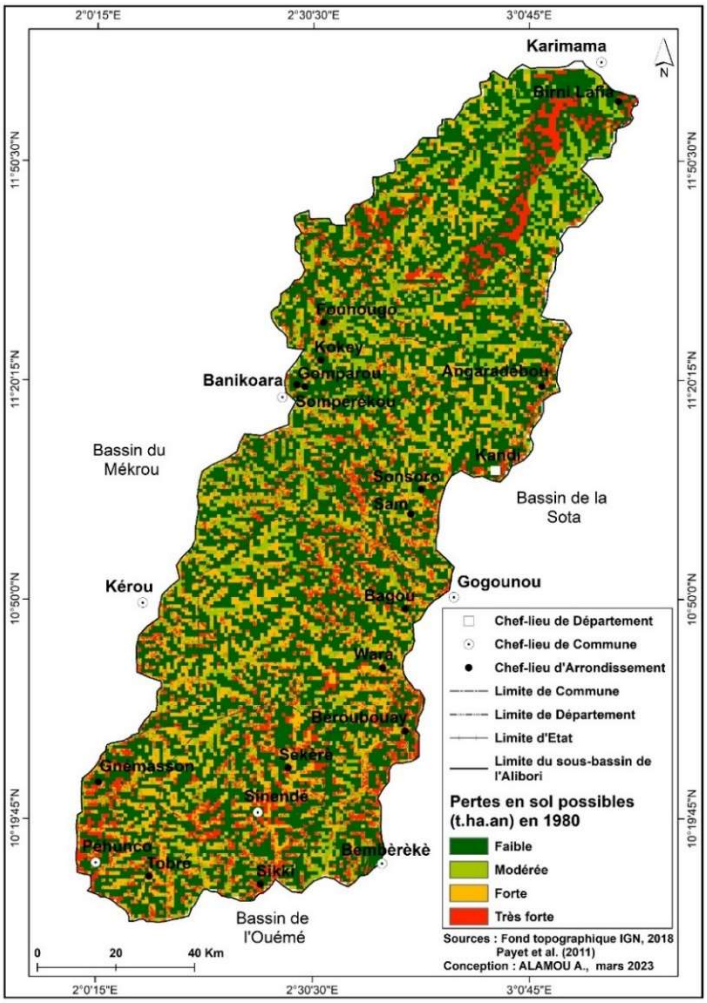

Figure 9a : Pertes en sol en 1980 dans le bassin de l'Alibori

De l'analyse de cette figure 9a, en 1980 le bassin est fortement dominé par une catégorisation très faible de sensibilité à l'érosion suivi de la catégorisation modérée.

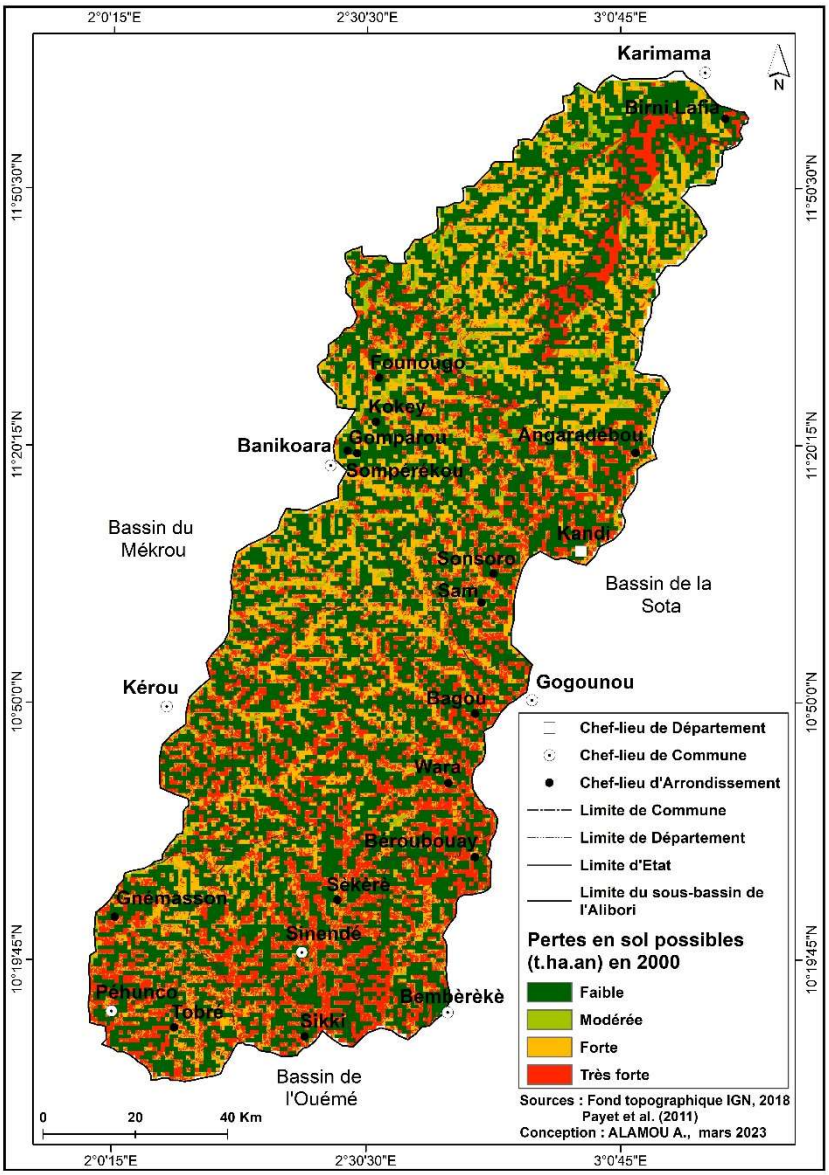

Figure 9b : Pertes en sol en 2000 dans le bassin de l'Alibori

En 2000, le secteur a enregistré au sud du bassin une codominance de la très forte perte et de la faible perte en terre tandis que le nord a enregistré une codominance de la forte et de la faible perte en terre (figure 9b).

Web site : https://www.afrigistjournals.com/index.php/jgst
Email : chiefeditor@afrigistjournals.com

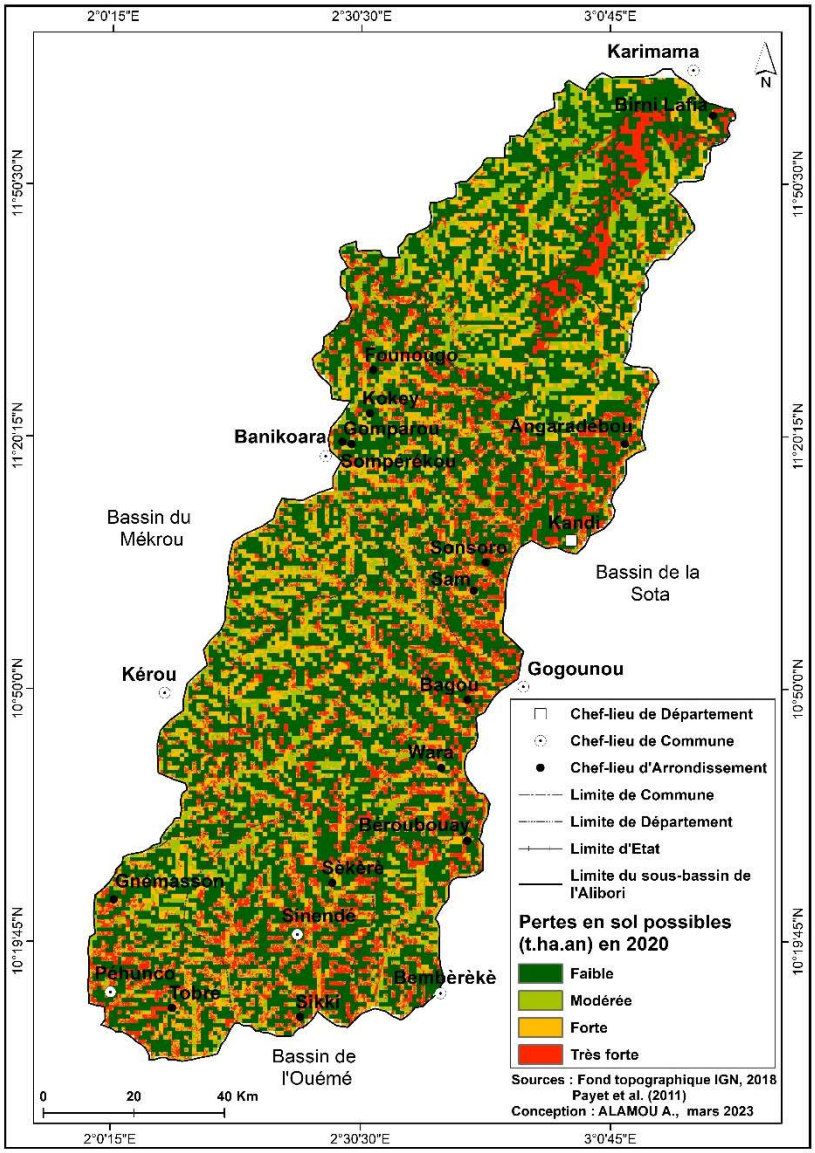

Figure 9c : Pertes en sol en 2020 dans le bassin de l'Alibori

En 2020, le bassin de l'Alibori a connu une régression de la perte en terre et seules les agglomérations et la rivière Alibori sont restées fortement sensibles aux pertes de terre (figure 9c). Le tableau 3 présente les statistiques des pertes des terres par catégories.

Tableau 3 : Catégories des pertes en sol dans le bassin de l'Alibori 1980-2020.

	Pertes en sol possibles dans le bassin de l'Alibori							
	Faible		**Modérée**		**Forte**		**Très forte**	
Années	Sup (km²)	Prop (%)	Sup (km²)	Prop (%)	Sup (km²)	Prop (%)	Sup (km²)	Prop (%)
1980	7327,7	52,9	2005,7	14,5	2836,7	20,5	1686,1	12,17
2000	7300,2	52,7	485,3	3,5	3057,3	22,1	3013,4	21,8
2020	7301,4	52,7	1718,2	12,4	2564,7	18,5	2272	16,4

Prop : Proportion ; Sup : Superficie

Seules les régions du sud au centre, le nord-ouest particulièrement les terroirs occupés par les agglomérations et les bassins du fleuve Alibori sont des zones très fortement érodées soit environ 32,64 % de la superficie du bassin. Pour les zones modérément érodées, c'est 14,47% du territoire qui est dans cette classe de perte de sol. En 2000, les catégories « modérée » et « très forte sensibilité » ont considérablement évolué dans tout le bassin excepté dans le Parc W ; soit environ 43,81 % (figure 9b). Toutes les zones modérément sujettes à l'érosion en 1980 sont converties en zones très fortement érodées en 2000. Quant à 2020, les zones très fortement érodées ont régressé pour se stabiliser à 34,9 % de zones fortement érodées (figure 9c). Dans la globalité, les zones faiblement érodées représentent 52 % du bassin alors que le cumul des zones fortement et très fortement érodées est estimé à 48 % mais lié aux facteurs anthropiques tels que l'extension des agglomérations et les surfaces culturales. Les zones faiblement érodées sont majoritaires dans le bassin et présentes sur les sols couverts de végétation facilitant ainsi l'infiltration et limitant les risques de ruissellement agressif et d'érosion.

Discussion

L'érosion hydrique du bassin de l'Alibori a été spatialisée à partir des facteurs de l'USLE et classée en quatre (04) catégories selon son ampleur (faible, modérée, forte et très forte). Entre 1980 et 2020, la moyenne de perte en sol par catégorie est 52,75 % (faible), 10,13 % (modérée), 20,35 % (forte) et 16,77 % (très forte). Le facteur topographique (LS) influence très peu la genèse de l'érosion. Les facteurs d'érosivité des pluies (R) et l'occupation du sol (facteur C) ont une influence importante et spatiale sur l'érosion hydrique tandis que le facteur d'érobilité des sols (facteur K) permet au bassin de résister au prélèvement des particules pédologiques. Les pratiques antiérosives (P) développées de manières endogènes permettent aux populations de réduire les impacts de l'érosion dans le secteur. Selon Avakoudjo *et al.* (2015), l'érosion hydrique est l'un des trois principaux types d'érosion du sol rencontrés dans le Parc National W et sa périphérie et la perméabilité du sol est un facteur important influençant l'érosion. Les résultats de la présente étude concordent avec les résultats de Ayena *et al.* (2019) qui à partir du croisement des cartes de l'érosivité des pluies, de l'érodibilité des sols, de l'inclinaison des pentes et du couvert végétal, font apparaître quatre classes de sensibilité potentielle à l'érosion hydrique et trouvent que le bassin versant de la Sota a une faible sensibilité (71,88%) à l'érosion hydrique. La catégorisation de la présente recherche ne concorde pas avec les résultats de Dallahi *et al.* (2021) dans le nord-ouest de l'Afrique qui ont obtenu une classification de cinq (5) classes pour les cartes d'érodibilité et de la protection des sols en utilisant l'approche prédictive de la méthode PAP/CAR (1998) dans le bassin versant de Kharouba au Maroc. Pour Payet *et al.* (2011), la distribution statistique de l'érosion hydrique dans le bassin versant du Fiherenana (Madagascar) montre que 61 % de la superficie du bassin révèle une sensibilité faible à modérée à l'érosion. Ses résultats sont très proches de la présente recherche dont le cumul des catégories faibles et modérées est 62,88 %. Dans le territoire d'Uvira (République démocratique du Congo), 47,21 % de la superficie fait face à un risque de perte de sol supérieure à la limite tolérable de 11 t/ha/an dans le contexte des paysages tropicaux et montagneux (Nacishali, 2021) donc forte perte des terres. Ces résultats ne concordent pas avec ceux de la présente recherche menée dans une zone à relief peu accidenté (plateaux et plaines).

Dans le bassin de l'Alibori, entre 1980 et 2020, le facteur R a varié entre 724,23 et 1246,3 MJ.mm/ha.h.an et du sud vers le nord. La carte d'érosivité synthétisée à partir de la spatialisation des différentes stations pluviométriques du bassin du fleuve Niger, montre que les valeurs du facteur R varient entre 688,46 MJ.mm/ha.h.an à Malanville et 998,59 MJ.mm/ha.h.an à Parakou (Ayena *et al.*, 2019). Ces valeurs sont relativement

proches, donc l'efficacité du facteur d'érosivité dans l'analyse de la sensibilité de l'érosion hydrique est fonction de l'étendue du secteur à étudier. Toutefois la spatialisation des gradients d'érodibilité des pluies du bassin de l'Alibori et du bassin du fleuve Niger ont donné le même nombre de classes. Mais dans la basse vallée de l'Ouémé, les valeurs du facteur d'érosivité varient de 499,68 MJ.mm/ha.h.an à 2579,08 MJ.mm/ha.h.an (Agbomahènan, 2016) et ne concordent pas aux valeurs du bassin de l'Alibori. La dégradation des sols constitue une menace pour la production agricole et la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne (Hiepe, 2008).

Conclusion

La mise en œuvre de l'Équation Universelle de Pertes en Sol à l'aide d'un Système d'Information Géographique a permis une estimation quantitative des espaces érodés du bassin de l'Alibori. La dynamique érosive du bassin est très active. Quatre classes d'érosion hydrique ont été identifiées entre 1980 et 2020, la moyenne de perte en sol par catégorie est 52,75 % (faible), 10,13 % (modérée), 20,35 % (forte) et 16,77 % (très forte). La couverture des sols est un levier fort pour la réduction du risque d'érosion. La végétation protège le sol en limitant l'impact des gouttes de pluie sur les agrégats et ainsi limiter la création de terre très fine favorisant la battance. Le système racinaire contribue à une meilleure infiltration de l'eau notamment en présence de système pivotant. La présence des plantes freine aussi la vitesse de circulation de l'eau en surface.

Les résultats de cette recherche peuvent être utilisés pour soutenir la planification des activités de conservation des sols dans le bassin de l'Alibori au Bénin. En termes de perspective, il est important d'élaborer un plan d'aménagement du bassin de l'Alibori à travers un plan d'affectation des terres pour le développement durable en se basant sur la cartographie de l'érosion hydrique.

Références bibliographiques

Agbomahènan, S. (2016). Erosion hydrique et dynamique des états de surface dans la Basse Vallée de l'Ouémé, Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 247p.

Avakoudjo, J., Mama, A., Toko, I., Kindomihou, V., & Sinsin, B. (2014). Dynamique de l'occupation du sol dans le Parc National du W et sa périphérie au nord-ouest du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *8*(6), 2608-2625.

Avakoudjo, J., Kouelo, A. F., Kindomihou, V., Ambouta, K., & Sinsin, B. (2015). Effet de l'érosion hydrique sur les caractéristiques physicochimiques du sol des zones d'érosion (dongas) dans la Commune de Karimama au Bénin. *Agronomie Africaine*, 27(2), 127-143.

Ayena AA., Totin Vodounon SH., Vissin EW. (2019). Sensibilité Potentielle du Bassin Versant de la Sota à l'Erosion Hydrique. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 18 (1), 196-208

Badou, D. F. (2016). Multi-model evaluation of blue and green water availability under climate change in Four-Non Sahelian Basins of the Niger River Basin (Doctoral dissertation, WASCAL). 155p.

Boko, G. J. (2012). Trajectoires des changements dans l'occupation du sol: déterminants et simulation, cas du bassin versant de l'Alibori (Bénin, Afrique de l'ouest). Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 261p.

Dallahi, Y., El Aboudi, A., Sahel, Y., Aafi, A., El Mderssa, M., & Malki, F. (2021). Evaluation de l'impact de la dynamique du couvert végétal sur l'érosion hydrique à l'aide de la méthode PAP/CAR et la télédétection spatiale dans le bassin versant de Kharouba (Plateau Central, Maroc), *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 9(4), 562-566.

Djaouga, M., Arouna, O., Zakari, S., Kouta, S., Moumouni, Y.I., Mertens, B.,

Imorou, I.T. and Thomas, O. (2021). Cartographie de la déforestation à la base de l'imagerie satellitaire dans le département de l'Alibori au nord du Benin, *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, 223, 200-216.

Djenontin, J. A., Wennink, B., Dagbenongbakin, G., & Ouinkoun, G. (2003). Pratiques de gestion de fertilité dans les exploitations agricoles du Nord-Bénin. In Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun,Cirad-Prasac, pp. 1-10.

El Hafid D. et Akdim B. (2018). Quantification de l'erosion hydrique en utilisant le modèle rusle et déposition intégrée dans un sig : cas du bassin versant de l'oued isly (Maroc Oriental). *European Scientific Journal*, 14(5), 373-385.

El Garouani, A., Chen H., Lewis L., Triback A., et Abahrour M. (2008). Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG IDRISI au Nord-Est du Maroc, *Télédétection*, 8(3), 193-201,

Girard, N., & Navarrete, M. (2005). Quelles synergies entre connaissances scientifiques et empiriques? L'exemple des cultures du safran et de la truffe. *Natures Sciences Sociétés*, 13(1), 33-44.

Hiepe, C. (2008). Soil degradation by water erosion in a sub-humid West-African catchment: a modelling approach considering land use and climate change in Benin. Thèse de Doctorat, Université de Bonn, 335p.

Kabore, S., & Ouedraogo, B. (2008). Evaluation spatiale de l'érosion hydrique à Torokoro (Burkina Faso): application de l'équation universelle des pertes des terres (USLE) par télédétection et système d'information géographique: Spatial assessment of water erosion in Torokoro (Burkina Faso): Universal Soils Loss Equation application using remote sensing and geographic information system, *Sciences Naturelles et Appliquées*, 30(2), 75-91.

Kaci, M., Morsli, B., & Habi, M. (2014). Dynamique de l'érosion sous différentes utilisations du sol au niveau d'un versant en zone méditerranéenne subhumide: Influence des cultures, des aménagements de Gestion conservatoire des eaux et des sols (GCES) et des couvertures forestières en Algérie, *Geo-Eco-Trop*, 38(1), 111-118.

Nacishali Nteranya, J. (2021). Cartographie de l'érosion hydrique des sols et priorisation des mesures de conservation dans le territoire d'Uvira (République démocratique du Congo). *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, 20(3), 1-31.

Naga, C., Albert, G. B. T., Lacina, C., & Issiaka, S. (2007). Modélisation spatio-temporelles de l'érosion hydrique à partir l'USLE en zone de savane tropicale humide: cas du bassin versant du Bâoulé (Côte D'ivoire). *European Journal of Scientific Research*, 16(2), 213-221.

Ondoa, Z. A. (2022). Intensification des pluies et impacts sur l'érosion hydrique des sols et la qualité des eaux sous six systèmes culturaux à Saint-Lambert-de-Lauzon (Doctoral dissertation, Maîtrise en sciences de l'eau). 167p.

Payet, E., Dumas, P., & Pennober, G. (2012). Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana. Vertigo, 11(3), 1-26.

Rey, F., Ballais, J. L., Marre, A., & Rovéra, G. (2004). Rôle de la végétation dans la protection contre l'érosion hydrique de surface. Comptes rendus géoscience, 336(11), 991-998.

Printemps, J. (2007). Estimation et spatialisation de l'érosion hydrique des sols en Nouvelle-Calédonie, utilisation de l'équation universelle de perte de sol assistée d'un SIG sur les communes de Voh, Koné et Pouembout. IRD/Université Joseph Fourier, Grenoble/Nouméa, Mémoire de Master 2. 80p.

Roose, E. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) (Vol. 70). Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Bulletin pédologique de la FAO n°70, Rome, 1994, 420p.

Soutter, M., A. Mermoud et A. Musy, 2007, Ingénierie des eaux et du sol Processus et aménagements, Presse polytechniques et universitaires romandes, 316 p.

Toko, I., & Sinsin, B. (2008). Les phénomènes d'érosion et d'effondrement naturels des sols (dongas) du Parc national du W et leur impact sur la productivité des pâturages. Science et changements planétaires/Sécheresse, 19(3), 193-200.

Toko Imorou, I., Arouna, O., Zakari, S., Djaouga, M., Thomas, O., & Kinmadon, G. (2019, March). Évaluation de la déforestation et de la dégradation des forêts dans les aires protégées et terroirs villageois du bassin cotonnier du Bénin. In Conférence OSFACO: Des images satellites pour la gestion durable des territoires en Afrique, pp. 1-26.

Vissin, E. (2007). Impact de la variabilité climatique et de la dynamique des états de surface sur les écoulements du bassin béninois du fleuve Niger. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, France, 285p.

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration. Agr. Handbook, n°537, 1978, 58p.