

Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion hydrique par l'Equation Universelle des Pertes en sol Révisée (RUSLE) dans le Département de Saraya (Sénégal)

Use of a GIS for the evaluation and mapping of water erosion risks by the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in the Saraya Department (Senegal)

René Boissy, Mamadou Ndiaye, Moïse Diatta et Maguette Mbaye

Volume 22, numéro 2, septembre 2022

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/1100945ar>
DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.38034>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec à Montréal
Éditions en environnement VertigO

ISSN

1492-8442 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Boissy, R., Ndiaye, M., Diatta, M. & Mbaye, M. (2022). Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion hydrique par l'Equation Universelle des Pertes en sol Révisée (RUSLE) dans le Département de Saraya (Sénégal). *VertigO*, 22(2), 1–25. <https://doi.org/10.4000/vertigo.38034>

Résumé de l'article

Le département de Saraya (Sénégal) est confronté depuis ces deux dernières décennies à l'érosion. Malgré les stratégies antiérosives (digues, cordons pierreux, haies vives, diguettes, tranchées, régénération du couvert végétal, paillage) mises en place par les autochtones et les autorités locales, l'érosion prend une tournure de plus en plus inquiétante dans cette localité. Cet aléa naturel constitue un problème environnemental majeur et menace les activités économiques. Cette étude a consisté à évaluer le risque d'érosion par la modélisation des facteurs R, K, LS, C et P. L'intégration du modèle dans un Système d'information géographique (SIG) a facilité l'élaboration des cartes thématiques (topographique, érosivité des pluies, érodibilité du sol et occupation du sol) pour évaluer les risques d'érosion et cartographier les milieux vulnérables et ceux moins sensibles à cet aléa. Le couplage des SIG avec l'équation universelle des pertes de sols révisée a permis d'estimer les impacts du ruissellement en nappe. Les pertes en sols sont comprises entre 0,01 t/ha/an et 134,64 t/ha/an, soit une moyenne de 33,46 t/ha/an et un écart-type de 57,29. L'approche SIG/RUSLE apporte une aide aux décideurs et aux aménageurs au cours de l'élaboration des scénarios d'évolution de la dégradation du sol et la planification des stratégies antiérosives dans les zones où l'érosion est prédominante.



Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion hydrique par l'Equation Universelle des Pertes en sol Révisée (RUSLE) dans le Département de Saraya (Sénégal)

Use of a GIS for the evaluation and mapping of water erosion risks by the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in the Saraya Department (Senegal)

René Boissy, Mamadou Ndiaye, Moise Diatta et Maguette Mbaye

Introduction

- 1 L'accentuation de l'érosion hydrique dans le département de Saraya est liée à la durée de la saison des pluies qui y est supérieure à 5 mois. Kédougou est la première région du Sénégal à enregistrer les pluies de mousson dès avril voire mai. Sa pluviométrie moyenne annuelle est supérieure à 1000 mm alors que le substratum géologique est peu perméable et que le relief est accidenté. Les propriétés physiques du substratum (faible perméabilité) et la forte dénivellation font que l'infiltration est faible. Par conséquent, le bouleversement de la stabilité structurale du sol par les engins agricoles et l'exposition de sa surface facilitent le décapage de ses horizons superficiels. L'érosion hydrique est la cause principale de la dégradation des sols. Du fait des mutations socioéconomiques et des contrastes pluviométriques, l'aléa érosion est devenu un problème environnemental majeur menaçant la pérennisation des activités

économiques. Malgré cela, aucune estimation n'est faite pour évaluer les pertes annuelles en sols à Saraya.

- 2 Cette étude se propose de quantifier les pertes de sols avec la version dérivée de l'équation universelle de perte en sol USLE/RUSLE (*Universal soil loss equation*) de Wischmeier et Smith (1978). Cette équation reste le modèle de prédiction de l'érosion hydrique le plus utilisé au monde (Julia, 2007 ; Payet et al., 2012 ; Issa et al., 2016 ; Zouagui et al., 2018 ; Koussa et Bouziane, 2019). Son intégration dans les Systèmes d'information géographique (SIG) facilite la combinaison des couches, l'estimation des impacts de chaque facteur et la classification des pertes de sols par unité de surface. Ce modèle prédit non seulement les taux d'érosion sur la base des connaissances des caractéristiques physiques (topographique, lithologique, et bioclimatique) et du type d'occupation du sol dans la zone d'étude. De même, il présente aussi l'hétérogénéité spatiale des impacts de l'érosion hydrique.
- 3 Le RUSLE inclut l'ensemble des facteurs déterminants dans les processus d'érosion hydrique. En d'autres termes, il évalue le taux moyen annuel d'érosion à long terme en tenant compte de l'érodibilité des pluies (R) et du sol (K), la topographie (LS), le couvert végétal (C) et les pratiques antiérosives (P). Pour des besoins de spatialisation des données, le modèle est intégré aux Systèmes d'information géographique (SIG). Les cartes thématiques (érodibilité des pluies et du sol, topographie et occupation du sol) présentent les résultats de l'analyse des facteurs intervenant dans les processus d'érosion. La réalisation de la carte synthétique des pertes en sols permet d'identifier et d'évaluer les milieux vulnérables et ceux peu sensibles aux effets abrasifs du ruissellement. En ce sens, « l'approche par télédétection et SIG est utilisée pour spatialiser des modèles ponctuels d'évaluation de l'érosion, et pour l'intégration des différentes informations et la cartographie des résultats » (Garouani et al., 2003). La carte synthétique des pertes en sols facilite le choix des sites vulnérables à l'érosion, mais aussi la planification des stratégies de gestion du patrimoine foncier.

Présentation de la zone d'étude

- 4 Situé dans la partie orientale du Sénégal, le département de Saraya fait partie de la région de Kédougou. Il est compris entre les latitudes 12°28' et 13°28' Nord et les longitudes 11°7' et 12°52' Ouest. Saraya est limité à l'Est par le Mali, à l'Ouest par le département de Kédougou, au Nord par la région de Tambacounda et au Sud par la Guinée Conakry. Sa superficie est estimée à 8777 km² (Figure 1).
- 5 Les formations géologiques de Saraya font partie de la boutonnière de Kédougou-Kéniéba et elles datent du Birimien. L'évolution des unités morphologiques de cette boutonnière au cours des ères géologiques fait que le relief y est très morcelé. Il est accidenté dans la partie nord-ouest et sud-est et les altitudes y sont comprises entre 178-468 m. Près de la frontière sénégal-malienne et la région de Tambacounda, le relief est dominé par des plaines et des plateaux et au centre, les altitudes ne dépassent pas 170 m (Figure 3). Les fortes pentes (20,05-61,57 %) sont localisées près de la frontière sénégal-guinéenne. Celles comprises entre 0-5,32 % sont localisées à Bounsankhoba, Baïtilaye, et Kassanguéri et le long des axes de drainage du réseau hydrographique.

- 6 Six types de sols sont inventoriés dans tout le département de Saraya. Les régosols, les sols peu évolués et les sols ferrugineux tropicaux prédominent dans la partie nord-est et sud-est. Le centre est constitué de sols peu évolués, de lithosols et des sols hydromorphes. Ces sols sont aussi présents au nord-ouest et au sud-ouest, alors que, les vertisols sont uniquement localisés au nord-ouest (Figure 4).
- 7 Le bioclimat est caractérisé par l'alternance de l'alizé et la mousson. La pluviométrie moyenne annuelle excède 900 mm avec un minimum et un maximum pluviométrique de 372,8 mm et 1279 mm enregistrés respectivement en 2002 et 1991. La saison des pluies débute en juin et se termine en octobre. Toutefois, des pluies précoces peuvent survenir en avril ou mai de même que des pluies tardives sont enregistrées en novembre voire en décembre. Les températures et l'évaporation sont très accentuées en saison sèche (40,4 °C et 10,2 en avril 2020). La variation spatiale de la pluviométrie est représentée dans la Figure 2. L'activité économique est dominée par l'agriculture, l'orpaillage, l'élevage et le commerce. L'agriculture et l'orpaillage concentrent plus de 80 % de la population active.

Figure 1. Présentation de la zone d'étude

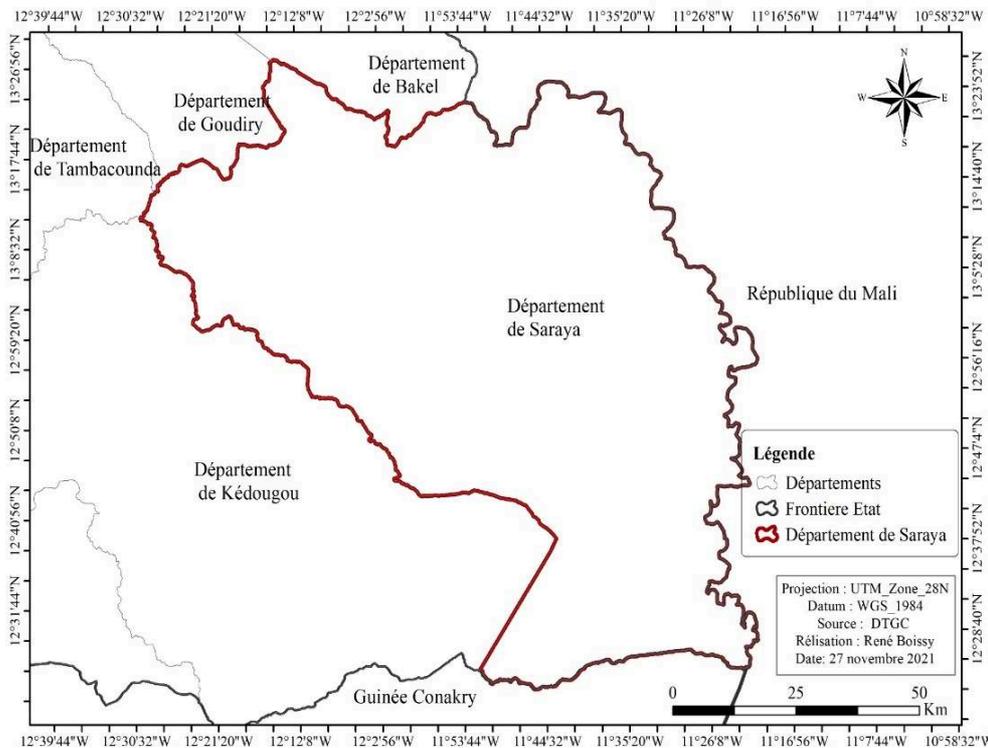


Figure 2. Variation spatiale de la pluviométrie

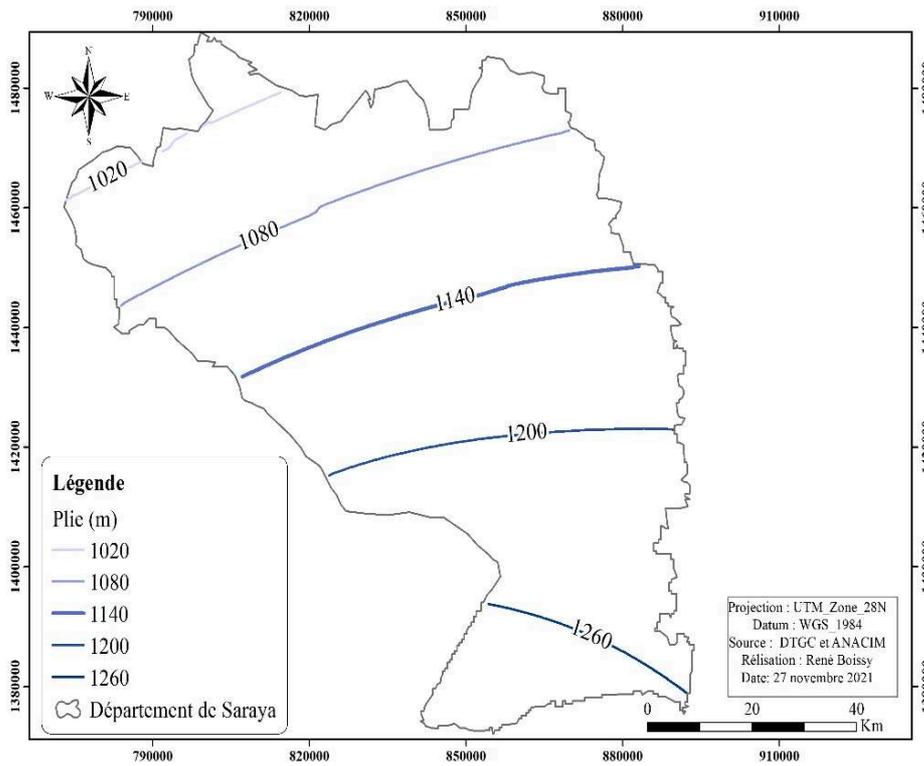


Figure 3. Variation des altitudes dans le département de Saraya

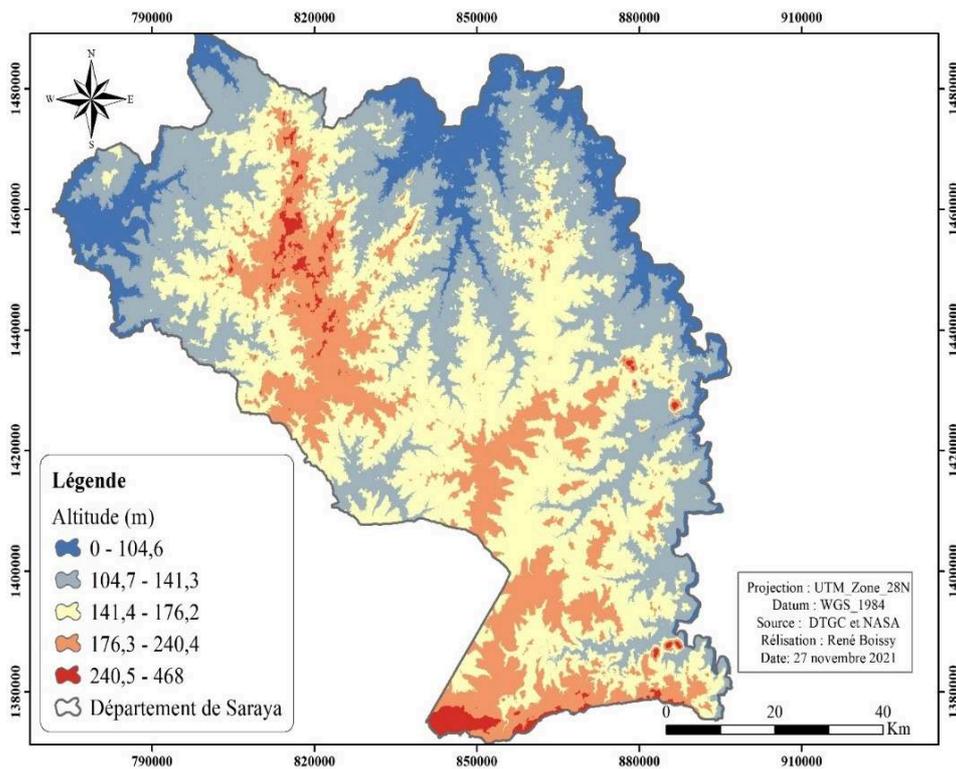
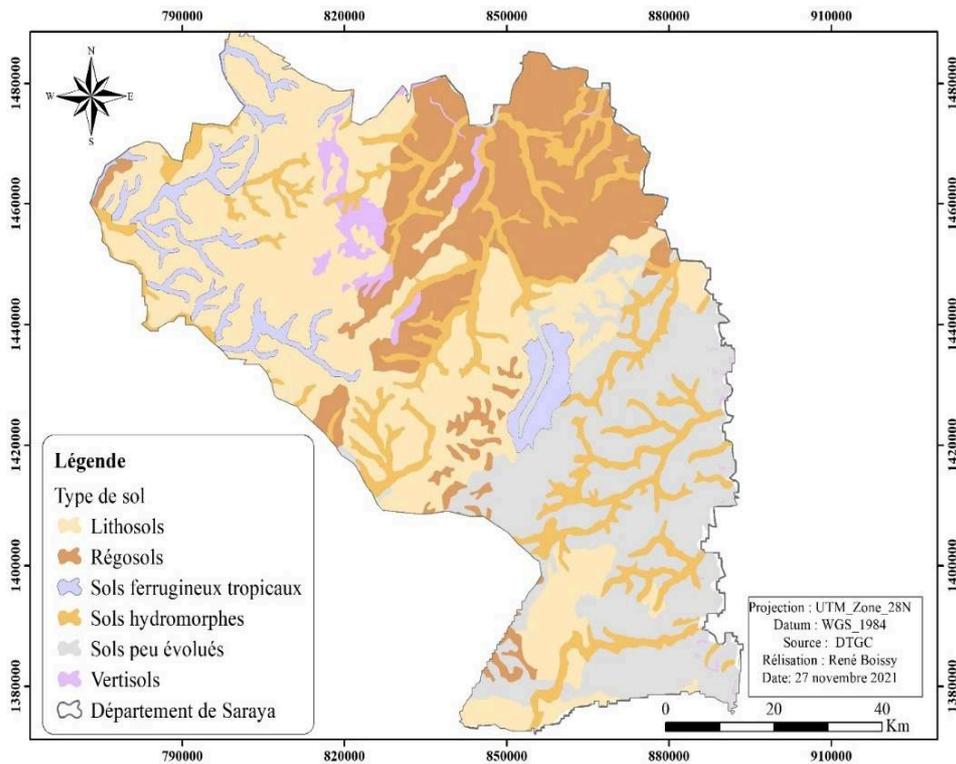


Figure 4. Carte pédologique du le département de Saraya



Données et méthodes

Données

- 8 Les données utilisées proviennent de différentes sources (Tableau 1) et elles ont été projetées dans le système WGS 84, UTM zone 28 nord. Celles de la pluviométrie viennent de la base de données de l'Agence nationale de l'aviation civile et de la météorologie (ANACIM) et de la Direction régionale de développement rural (DRDR) de Kédougou. Ces données couvrent la période 1984-2020. Les données pédologiques sont extraites de la carte des sols du monde, la *Digital Soil Map of the World (DSMW)*, disponible dans le site de l'Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (FAO). Le *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* et la base de données (*shapefile*) d'occupation du sol proviennent respectivement du site des *United States Geological Survey (USGS)* et de la Direction des travaux géographiques et cartographiques (DTGC) ex Agence nationale de l'aménagement du territoire (ANAT). L'ensemble des données ont été ramenées à la même résolution spatiale, soit 90 m.

Tableau 1. Données utilisées

Type de données	Résolution spatiale (m)	Facteur associé	Format	Source des données
SRTM	90	LS	Raster (Géo tif)	http://earthexplorer.usgs.gov

Climat	R	Données brute	ANACIM ex ANAT et DRDR/ Kédougou
Pédologique	K	Shape file et données brute	FAO
Shape file	C	Shape file	DTGC
Shape file d'occupation du sol	P	Shape file	DTGC

Méthodes

- 9 Nous avons choisi dans le cadre de cette étude d'utiliser le RUSLE couramment employé dans la prédiction des pertes en sols à l'échelle régionale, voire mondiale (Borrelli et al., 2017 ; Fenta et al., 2020 ; Adamou et al., 2021). Cette équation a été utilisée par plusieurs auteurs (Payet et al., 2012 ; Issa et al., 2016 ; Hussein et al., 2018 ; Koussa et Bouziane, 2018 ; Zouagui et al., 2018) pour prédire les pertes de sol dans les bassins versants de Moulay Bouchta et de Kalaya (Maroc), du Beni Haroun (Algérie), ceux du Mhaydssé Békaa (Liban) et le bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana. Le choix du modèle est guidé par la nature des données disponibles, l'étendue de la zone d'étude (8777 km²) et la simplicité des équations alternatives permettant de déterminer R, K, LS, C et P. Pour ce faire, nous avons utilisé une résolution de 90 m pour tenir compte de la variabilité spatiale des données d'entrée.
- 10 Le RUSLE étant dérivé de l'équation de Wischmeier et Smith (1978), il prend en compte l'agressivité des pluies (R), l'érodibilité des sols (K), la topographie incluant la longueur et l'inclinaison de la pente (LS), l'occupation du sol (C), et les pratiques antiérosives (P). L'intégration des différentes variables sous ArcGIS 10.8 permet d'apprécier l'importance de chaque facteur dans les processus d'usure, d'estimer les pertes en sols et les étendues sensibles à l'érosion hydrique. La fonction multiplicative du RUSLE s'écrit :

$$A = R * K * LS * C * P$$

- 11 **A** : exprimant les pertes en sol annuelles moyennes possibles à long terme (t/ha/an)
- 12 **R** : exprimant l'indice d'érosivité des pluies (MJ.mm/ha.h.an)
- 13 **K** : exprimant l'indice d'érodibilité des sols (t.ha.h/ha.MJ.mm)
- 14 **LS** : exprimant le facteur de déclivité
- 15 **C** : exprimant le facteur de végétation
- 16 **P** : exprimant le facteur de pratique de soutien

L'érosivité des pluies (R)

- 17 L'érosion hydrique est la cause principale de la dégradation des sols dans le département de Saraya. L'abrasion du sol augmente avec la quantité, l'intensité, la dimension des gouttes de pluie, la distribution de la grosseur de ces gouttes et la vitesse de chute des pluies (Julia, 2007). La détermination de l'érosivité des pluies avec

l'équation de Wischmeier et Smith (1978) nécessite au préalable l'estimation de l'énergie cinétique et de l'intensité moyenne des pluies enregistrées au bout de 30 minutes. Mais les données pluviométriques de Saraya, et celles des autres stations du Sénégal, ne permettent pas d'estimer l'agressivité des pluies (R) avec l'équation de Wischmeier et Smith (1978), où $R = E * I_{30}$ où E est l'énergie cinétique des pluies (MJ/ha et I_{30} l'intensité maximale des pluies en 30 minutes exprimées en mm/heure). Cette équation est alors substituée par celle de Nguyen (1996). Sa formulation et sa validation ont prévalu 54 ans d'analyse des pluies en provenance de 253 stations météorologiques à travers le monde. De plus, cette équation est plus récente que celles de Fournier (1960), de Heusch (1970), de Roose (1977), de Arnoldus (1980) et de Renard et Freimund (1994). Le choix de l'équation de Nguyen (1996) est guidé par sa simplicité et sa robustesse de 54 ans d'observation des pluies de plusieurs stations météorologiques. Les pluies annuelles étant les seules disponibles dans la station de Saraya, l'application de l'équation de Nguyen (1996) permet d'établir une corrélation entre R et leur hauteur annuelle. L'équation est définie par la fonction suivante :

$$R = 0,548 * P - 59,9$$

- 18 R = l'indice d'agressivité de la pluie et P est la pluie annuelle
- 19 Les données pluviométriques des stations du Sénégal (1984-2020) sont issues d'une part de la base de données de l'ANACIM et d'autre part de celle de la DRDR de Kédougou et les moyennes ont été calculées sur Excel 2016. Elles ont été introduites sous ArcMap pour leur spatialisation. Après l'interpolation par krigeage (procédure géostatistique avancée permettant de générer une surface estimée à partir de points ayant des valeurs), la zone d'étude a été extraite sur la base des limites administratives de la région de Kédougou. R est calculé sur Excel et les données ont été introduites à nouveau sous ArcGIS pour la confection de la carte d'érosivité des pluies. Le choix du krigeage a été motivé par la volonté de faire une analyse interactive de la variation spatiale de la pluviométrie d'abord, à l'échelle nationale puis départementale.

L'érodibilité du sol (K)

- 20 La sensibilité du sol à l'érosion dépend de ses propriétés physicochimiques, de l'intensité et de l'énergie cinétique de la pluie. La détermination de K avec l'équation de Wischmeier et Smith (1978) nécessite au préalable la disponibilité des données granulométriques et la teneur en carbone, le code de perméabilité et celui de la structure du sol. Mais, les codes de la perméabilité et de la structure du sol sont inexistant dans la base de données que nous avons utilisée. C'est pourquoi l'équation de Wischmeier et Smith (1978) est substituée par celle de William (1995). Cette dernière prend uniquement en compte la granulométrie (teneur en sables, en limons et en argiles) et la fraction organique du sol. Les variables (teneur en sables, limons, argiles et en carbone organique) sont disponibles dans la carte extraite de la base de données pédologique de la FAO. L'utilisation du programme *K rusle equation for DSMW database* sous Excel rend aisé la détermination de K. Par conséquent, l'indice K n'est pas calculé sur la base de la typologie des sols du département, mais plutôt sur la base des données extraites de la carte pédologique de la FAO. La fonction multiplicative de l'équation de William (1995) s'écrit :

$$K = f_{sabGros} * f_{arg-limon} * f_{Carb Org} * f_{teneur sab}$$

$f_{sabGros}$: est un facteur qui abaisse l'indicateur K dans les sols ayant de fortes teneurs en sables grossiers. **$f_{sabGros}$** : s'obtient en appliquant la formule :

$$f_{SabGros} = \left(0,2 + 0,3 \cdot \exp \left[-0,256 \cdot m_s \cdot \left(1 - \frac{m_{lim}}{100} \right) \right] \right)$$

$f_{arg-limon}$: donne de faibles facteurs d'érodibilité dans les sols ayant des taux élevés d'argile et de limon. L'équation permettant d'obtenir les valeurs est :

$$f_{arg-lim} = \left(\frac{m_{lim}}{m_{arg} + m_{lim}} \right)^{0,3}$$

$f_{Carb Org}$: réduit les valeurs de K dans les sols ayant des teneurs élevées en carbone organique. La résolution de l'équation suivante permet d'obtenir les valeurs de **$f_{Carb Org}$** .

$$f_{CarOrg} = \left(1 - \frac{0,25 \cdot CarOrg}{CarOrg + \exp(3,72 - 2,95 \cdot CarOrg)} \right)$$

$f_{teneur en sab}$: abaisse les valeurs K dans les sols ayant de très fortes teneurs en sables. La résolution de l'équation suivante permet de calculer la fraction de sables dans le sol.

$$f_{teneurSab} = \left(1 - \frac{0,7 \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\frac{m_s}{100} + \exp \left[-5,5 + 22,9 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right)$$

- 21 m_s : la teneur en fraction de sable (0,05-2,00 mm de diamètre) [%]
 m_{lim} : la teneur en fraction de limon (0,002-0,05 mm de diamètre) [%]
 22 m_{arg} : la teneur en fraction argileuse (<0,002 mm de diamètre) [%]
 $CarOrg$: la teneur en carbone organique (SOC) [%]

Le facteur topographique (LS)

- 23 La morphologie du terrain est un facteur permettant d'appréhender les processus d'usure du sol. La première influence de la pente sur le déclenchement des processus d'érosion hydrique est la concentration et l'augmentation de l'énergie cinétique du ruissellement. Pour déterminer l'impact de la topographie sur les processus d'abrasion du sol, Wischmeier et Smith (1978) ont proposé une équation permettant de calculer la longueur et l'inclinaison de la pente (LS). En d'autres termes, LS est le rapport des pertes en sols entre deux parcelles expérimentales dans des conditions « identiques à l'exception de l'inclinaison et de la longueur de pente : l'une d'une longueur et d'une inclinaison de pente données, l'autre ayant 22.1 m de long et 9% de pente » (Wischmeier et Smith, 1978). Mitasova et al. (1996) ont également proposé une équation alternative basée sur le même principe de celle (Wischmeier et Smith, 1978). Les algorithmes d'ArcGIS 10.8 facilitent la détermination du facteur LS à partir du raster (image composée d'une matrice de pixels et chaque pixel a ses valeurs) d'accumulation de l'écoulement et celui des pentes, tous deux dérivés du modèle numérique de terrain (MNT-SRTM) du Sénégal de 90 mètres de résolution, puisque l'équation de Mitasova et al. (1996) prend en compte la résolution de l'image, la grille d'accumulation de l'écoulement et des pentes. Il faut au préalable remplir les « cuvettes » du SRTM afin de supprimer les imperfections légères des données. Cette étape est suivie par la création d'un raster de direction de l'écoulement à partir de chaque cellule vers celle de faible altitude. Le raster de l'accumulation de l'écoulement est déterminé à partir de celle de la direction de l'écoulement. La carte des pentes est ensuite déterminée. Le raster des pentes et celui de l'accumulation de l'écoulement sont combinés afin d'obtenir l'indice LS.
- 24 Le département de Saraya est extrait sur la base de la limite administrative de la région de Kédougou. La carte des classes de pentes et celle des flux d'écoulement sont déterminées avec l'équation de Mitasova et al. (1996), formulée comme suit :

$$LS = [(FA * RS) / 22.1]^{0,4} * [(\sin(S * 0.01745) / 0.0896)]^{1,4} * 1,4$$

- 25 **FA** : Grille d'accumulation de l'écoulement ;
- 26 **RS** : Résolution du MNT (90m) et
- 27 **S** : Grille des pentes en degré

Les facteurs C et P

- 28 Ces deux facteurs sont déterminés avec la base de données (*shapefile*) d'occupation du sol du Sénégal de 2018, issu de la base de données de la DTGC. Le facteur C, est le rapport entre les pertes potentielles en sols nus sous des conditions spécifiques et les pertes en sol correspondants aux sols sous système d'exploitation (Diédhiou et al., 2018). En d'autres termes, le facteur C représente l'impact de la biomasse hypogée et épigée des végétaux sur les processus d'érosion.
- 29 Une typologie d'occupation du sol du département de Saraya est réalisée à partir de la base de données d'occupation du sol (2018). En fonction de la particularité des unités spatiales de la zone d'étude, des valeurs sont affectées à chaque unité. Ainsi, le facteur C

est estimé à 1 sur sol nu à 0,001 sous forêt ou 0,01 sous plantes de couverture, et de 0,1 à 0,9 sous cultures sarclées, (Payet et al., 2012). Nous nous sommes aussi référés à la grille proposée par Sadiki et al. (2004) lors de l'affectation des valeurs SIG à chaque type d'occupation du sol. Les variations du facteur C à l'échelle départementale sont représentées dans le Tableau 2.

- 30 Le facteur P est compris entre 0 et 1. Sa valeur est égale à 1 sur les terrains où aucune mesure d'aménagement n'est entreprise : cultures en courbes de niveau, en bandes alternées, les reboisements en banquettes et le buttage, et *cetera* (Sadiki et al., 2004). En fait, le facteur P n'a fait l'objet d'aucune étude de modélisation (Yaméogo et al., 2021). Ce facteur a été élaboré de la même façon que celui de l'indice C et une valeur est affectée à chaque unité spatiale identifiée. La variation des valeurs de l'indice P est représentée dans le tableau 2.

Tableau 2. Valeur SIG du facteur C et P, en fonction du type d'occupation du sol

Types d'occupation	C	P
Carrière/Infrastructure/Mine	0,1	1
Cours d'eau	0,01	1
Culture pluviale	0,5	0,5
Forêt galerie	0,1	1
Zone d'habitation	0,1	1
Savane arborée	0,1	1
Savane boisée	0,2	1

Résultats

L'érosivité des pluies (R)

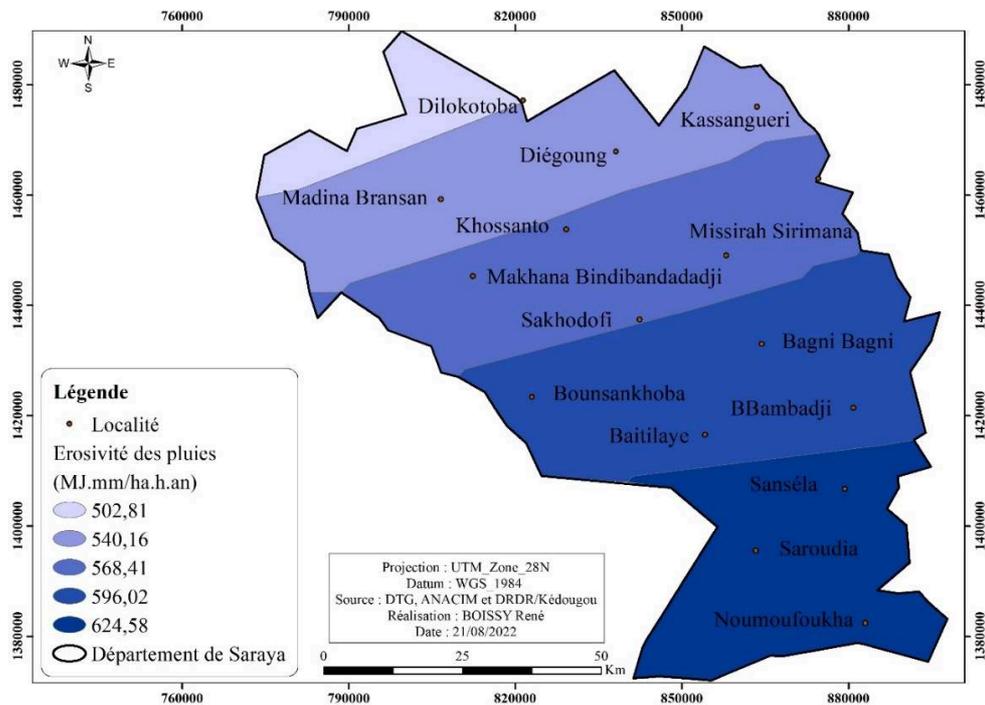
- 31 L'indice R est calculé avec les données pluviométriques de quatre stations situées à proximité de celle de la zone d'étude. Les indices de ces stations servent de comparaison avec celui de Saraya. Le Tableau 3 représente la variation de R en fonction de la hauteur annuelle des pluies. Les pluies sont très agressives dans la partie sud de Saraya, Kédougou, Tambacounda, Bakel et Goudiry, et R est compris entre 472,51 et 637,85 MJ.mm/ha.h.an. L'agressivité des pluies enregistrée dans la partie méridionale de ces stations est due au fait qu'elles y enregistrent des pluies dès avril. À Noumoufoukha, Saroudia et Sanséla, R est estimé à 624,58 MJ.mm/ha.h.an. En fait, ces deux localités sont arrosées par l'isohyète 1249,06 mm et elle couvre 159107,75 ha. Les variations de R dans la station de Saraya sont représentées par la Figure 5.
- 32 La diminution de la pluviométrie (52,11 mm) entre Sanséla et Bambadji (distant de 14,7 km) est suivie d'une baisse de R de 28,56 MJ.mm/ha.h.an. L'érosivité des pluies a régressé de 34,48 MJ.mm/ha.h.an à Kédougou, de 61,42 MJ.mm/ha.h.an à Bakel, de

58,25 MJ.mm/ha.h.an à Goudiry et de 55,82 MJ.mm/ha.h.an à Tambacounda. Entre Bambadji et Dilokotoba (distant de 81,4 km), l'agressivité des pluies a diminué de 93,21 MJ.mm/ha.h.an. Cette diminution est due à la régression de la pluviométrie de 170,09 mm. Il en est de même pour les stations restantes et les baisses sont estimées respectivement à 181,28 mm à Kédougou, 312,98 mm à Bakel, 256,59 mm à Goudiry et 286,78 mm à Tambacounda. Les valeurs moyennes de R sont comprises entre 365,45 et 571,49 MJ.mm/ha.h.an avec un écart-type et une médiane inférieurs à 92 et 573. En dehors de la station de Kédougou, les pluies sont plus agressives à Saraya et à Tambacounda.

Tableau 3. Variation de l'indice R en fonction des stations

Classes	Saraya	Kédougou	Tambacounda	Bakel	Goudiry
1	502,81	504,03	299,00	250,14	273,65
2	540,16	540,22	356,45	308,09	320,36
3	568,41	571,97	408,47	364,29	366,05
4	596,02	603,37	456,15	421,65	414,26
5	624,58	637,85	511,97	483,07	472,51
Minimale	502,81	504,03	299,00	250,14	273,65
Maximale	624,58	637,85	511,97	483,07	472,51
Ecart-type	47,43	52,32	83,15	91,63	77,83
Médiane	568,41	571,97	408,47	364,29	366,05

Figure 5. Carte d'agressivité des pluies R dans le département de Saraya



L'érodibilité du sol (K)

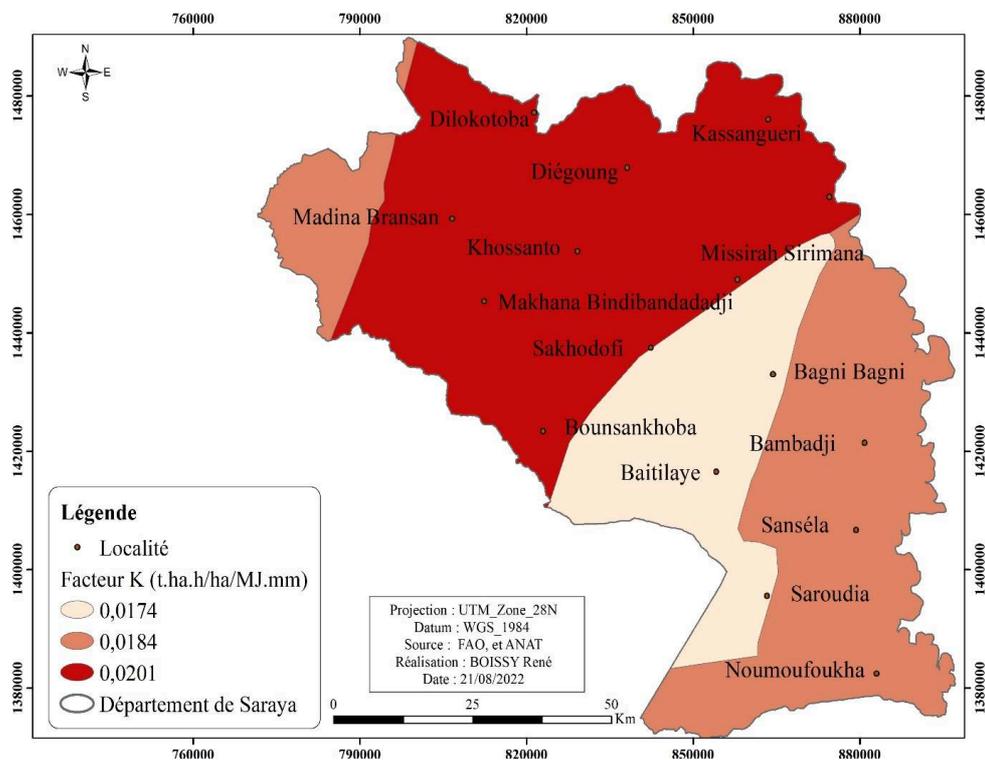
- 33 « L'érodibilité d'un sol dépend de sa résistance à deux sources d'énergie, la battance des gouttes de la pluie à la surface du sol et l'entaille du ruissellement entre les mottes dans les griffes ou les rigoles » (Bouguerra et Bouanani, 2016). En utilisant la base de données pédologiques de la FAO et en nous appuyant sur notre connaissance du terrain, nous avons identifié la texture et calculé les indices d'érodibilité des sols de Tambacounda, Goudiry, Bakel et Kédougou pour les comparer à celui de la zone d'étude. L'indice K montre une faible érodibilité du sol à Saraya. K y est compris entre 0,0174 et 0,0201 t.ha.h/ha/MJ.mm. La Figure 6 représente la répartition spatiale de K à l'échelle départementale. Sur une superficie de de 151349,66 ha, l'indice d'érodibilité est 0,0174 t.ha.h/ha/MJ.mm, soit 19,11 % de l'étendue du territoire départemental. Les indices 0,0184 et 0,0201 t.ha.h/ha/MJ.mm sont répartis sur des superficies respectives de 270024,69 ha et 370462,03 ha, soit 33,10 % et 46,79 % de la superficie totale de Saraya. Dans les départements de Kédougou, Bakel, Goudiry et Tambacounda, K est compris entre 0,0089 t.ha.h/ha/MJ.mm et 0,0203 t.ha.h/ha/MJ.mm. Les propriétés physiques du sol étant légèrement variables, K varie sensiblement en fonction des sols dans les cinq localités. Les textures sablo-argileuse, argilo-limoneuse et sablo-limoneuse ont été identifiées dans les cinq départements du Sénégal oriental.

Tableau 4. Variation de K en fonction propriétés des sols

Localités	Codes	Sables (%)	Limons (%)	Argiles (%)	Matière organique (%)	Texture	K	Interprétation de K

Kédougou	I	58,9	16,2	24,9	0,97	Sablo-argileuse	0,0184	0,08-0,1 Très résistant
	Re	68,3	15,1	16,6	0,5		0,0201	
	Lf	74,6	9,6	15,9	0,39		0,0174	
	Bv	23,3	26	50,7	1,1	Argilo-limoneuse	0,0174	
Saraya	Re	68,3	15,1	16,6	0,5	Sablo-argileuse	0,0201	0,1 - 0,2 Assez résistant
	I	58,9	16,2	24,9	0,97		0,0184	
	Lf	74,6	9,6	15,9	0,39		0,0174	
Bakel	I	58,9	16,2	24,9	0,97	Sablo-argileuse	0,0184	
	Re	68,3	15,1	16,6	0,5		0,0201	
	Rd	82,1	6,7	11,3	0,27		0,0137	
	Je	70,8	12,8	16,5	1,15		0,0172	
	Ws	69,1	16,7	14,3	0,72	Sablo-limoneuse	0,0203	
Goudiry	Ws	69,1	16,7	14,3	0,72	Sablo-argileuse	0,0203	0,4-0,6 Vulnérable
	I	58,9	16,2	24,9	0,97		0,0184	
	Re	68,3	15,1	16,6	0,5		0,0201	
	Lf	74,6	9,6	15,9	0,39		0,0174	
	Ql	92,8	2,7	4,7	0,2		0,0089	
Tambacounda	Ql	92,8	2,7	4,7	0,2	Sablo-argileuse	0,0089	0,4-0,6 Vulnérable
	I	58,9	16,2	24,9	0,97		0,0184	
	Re	68,3	15,1	16,6	0,5		0,0201	
	Lf	74,6	9,6	15,9	0,39		0,0174	
	Je	70,8	12,8	16,5	1,15		0,0172	

Figure 6. Carte d'érodibilité des sols K dans le département de Saraya



Le facteur topographique (LS)

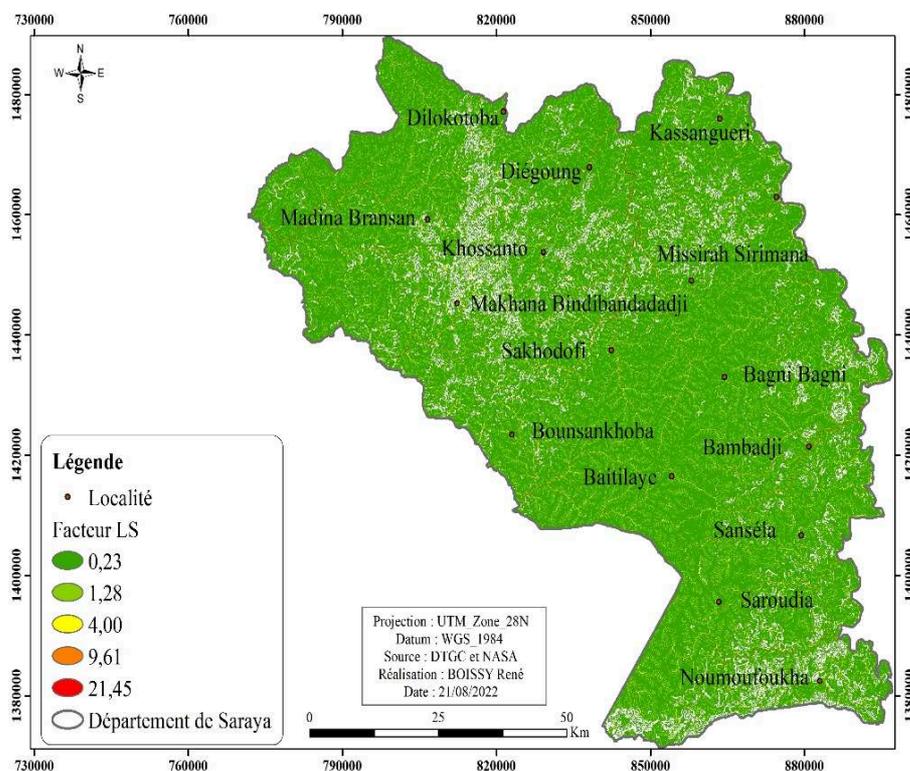
- 34 Les valeurs de la longueur et de l'inclinaison de la pente exprimées par le facteur LS se répartissent entre 0,23 et 21,45 à Saraya. La variation de l'indice LS atteste le caractère très contrasté du relief dans la zone d'étude. Les plus faibles valeurs de LS (0,23 et 1,28) sont localisées dans les zones dominées par des plaines localisées à Baïtilaye, Bagni Bagni, Kassanguéri, Sakhodofi et Bounsankhoba (Figure 7). Les superficies des pentes comprises entre 0-2,41 % et 2,42-5,31 % sont évaluées à 772434,82 et 12723,87 ha. Selon Mostephaoui et al. (2013), l'impact de ces deux classes de pentes sur les processus d'érosion est faible. Les valeurs élevées du facteur LS sont localisées sur les collines et les plateaux ayant des gradients de pentes compris entre 10,63 % et 61,57 %. Ces gradients de pentes ont une forte incidence sur les processus d'abrasion du sol.
- 35 LS est comprise entre 0,35 et 35,23 à Kédougou, 0,37 et 36,3 à Bakel, 0,47 et 46,56 à Goudiry et 0,27 et 34,94 à Tambacounda. Sur 99,67 % de l'étendue de Saraya, LS est estimé à 0,23, soit une superficie de 721824,27 ha. À Kédougou, la classe 0,35 couvre une superficie de 611849,74 ha, soit 99,80 % de l'étendue du département. L'écart-type de LS est respectivement 8,70 à Saraya, 14,46 à Kédougou, 14,82 à Bakel, 18,93 à Goudiry et 14,27 à Tambacounda. La médiane et la moyenne de LS dans les cinq localités varient respectivement entre 4-10,50 et 7,31-17. Le Tableau 5 représente la variation de l'indice LS en fonction des départements.

Tableau 5. Variation de LS en fonction de la topographie

Classes	Saraya	Kédougou	Bakel	Goudiry	Tambacounda
---------	--------	----------	-------	---------	-------------

1	0,23	0,35	0,37	0,47	0,27
2	1,28	2,24	2,22	3,19	2,00
3	4,00	8,08	7,39	10,495	7,18
4	9,61	19,51	18,29	24,29	17,25
5	21,45	35,23	36,3	46,56	34,94
Minimale	0,23	0,35	0,37	0,47	0,27
Maximale	21,45	35,23	36,3	46,555	34,94
Ecart-type	8,70	14,46	14,82	18,93	14,27
Médiane	4,00	8,08	7,39	10,50	7,18

Figure 7. Carte du facteur topographique (LS) à Saraya



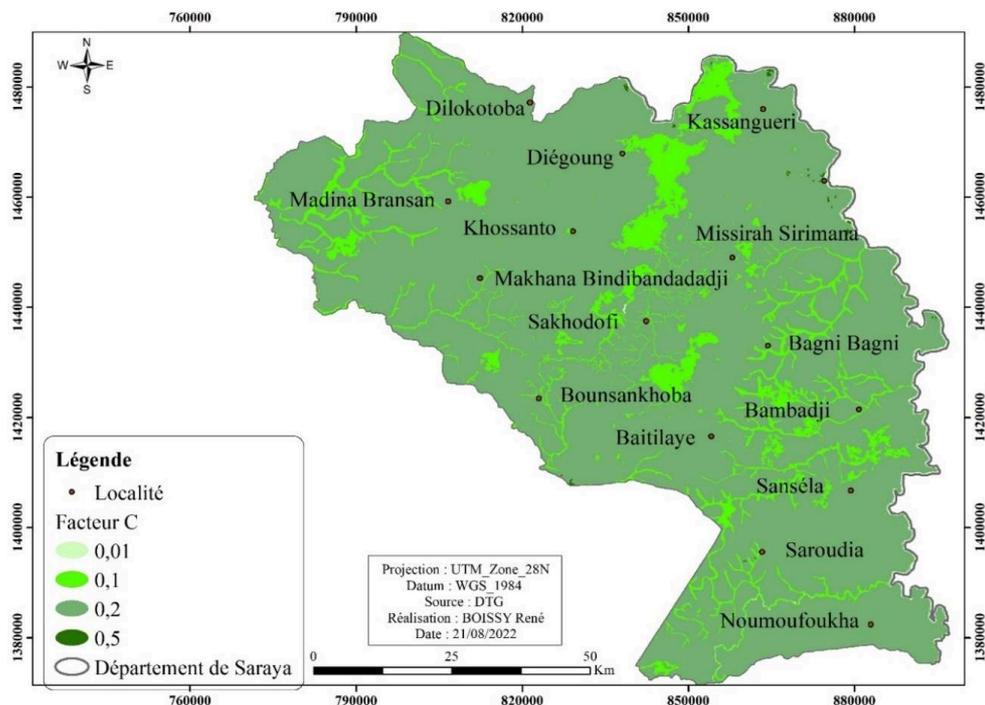
Les effets du couvert végétal

- 36 Le facteur C est un ratio de perte en sol sur des terrains cultivés sous des conditions spécifiques par rapport à la perte en sol correspondante sur un terrain en jachère (Wischmeier et Smith, 1978). L'indice C prend en compte toutes les unités spatiales du département (couvert végétal, cours d'eau, les pratiques agricoles et les aménagements). Il est compris entre 0,01 et 0,5, soit une moyenne de 0,20 et sa

variation reflète le caractère discontinu du couvert végétal. Les valeurs comprises entre 0,01 et 0,1 couvrent une superficie totale de 781943,88 ha, soit 99,59% de l'étendue départementale. Ces étendues boisées sont par exemple localisées à Bambadji, à Saroudia et Bounsankhoto. Elles sont, par conséquent, peu sensibles aux effets du splash (impact des gouttes de pluies sur le sol dû à leur énergie cinétique) et du ruissellement.

- 37 L'indice C passe de 0,2 à 0,5 soit une augmentation respective de 0,1 et 0,4 par rapport à la valeur précédente (0,1). Ces valeurs sont observées à Diégoung, à Dilokotoba, à Khossanto, à Noumoufoukha, à Kassanguéri, à Missirah Sirimana et à Baïtilaye. Au total, 3209,4 ha sont peu protégés de l'érosion, soit 0,41 % du département de Saraya. Ces étendues sont assujetties à l'agriculture, l'orpaillage et l'élevage et le couvert végétal y est très discontinu.

Figure 8. Carte du facteur C dans le département de Saraya



Les pratiques antiérosives

- 38 Le facteur P prend en compte les techniques d'aménagement existantes à Saraya au cours de l'estimation des pertes en sols, puisque chaque mesure antiérosive a une incidence sur les processus d'usure du sol dont le coefficient est établi suivant son efficacité à réduire ou à atténuer l'érosion hydrique (Oudjane et al., 2021). En d'autres termes, les incidences des pratiques antiérosives permettent de minimiser l'action du ruissellement en modifiant sa direction et en réduisant l'inclinaison et la longueur de la pente et, par conséquent, limiter l'ablation et le transport de particules du sol (Hussein et al., 2018). À Saraya, les agriculteurs développent des stratégies d'aménagements pour atténuer la violence du ruissellement. Les techniques d'aménagement les plus couramment utilisées sont les cordons pierreux, les diguettes, les cultures en contre-pente, le paillage, le creusement de tranchées, et *cetera*.

- 39 Dans l'ensemble du département, le facteur P est compris entre 0,5 et 1 (0,5 correspondant aux terrains assez bien protégés soit 0,08 % de la superficie de la zone d'étude). En dehors des parcelles agricoles, aucune mesure de protection du sol n'est mise en place par les autochtones. Ces étendues sont estimées à 784898,28 ha, soit 99,92 % de la localité et P y est estimé à 1.

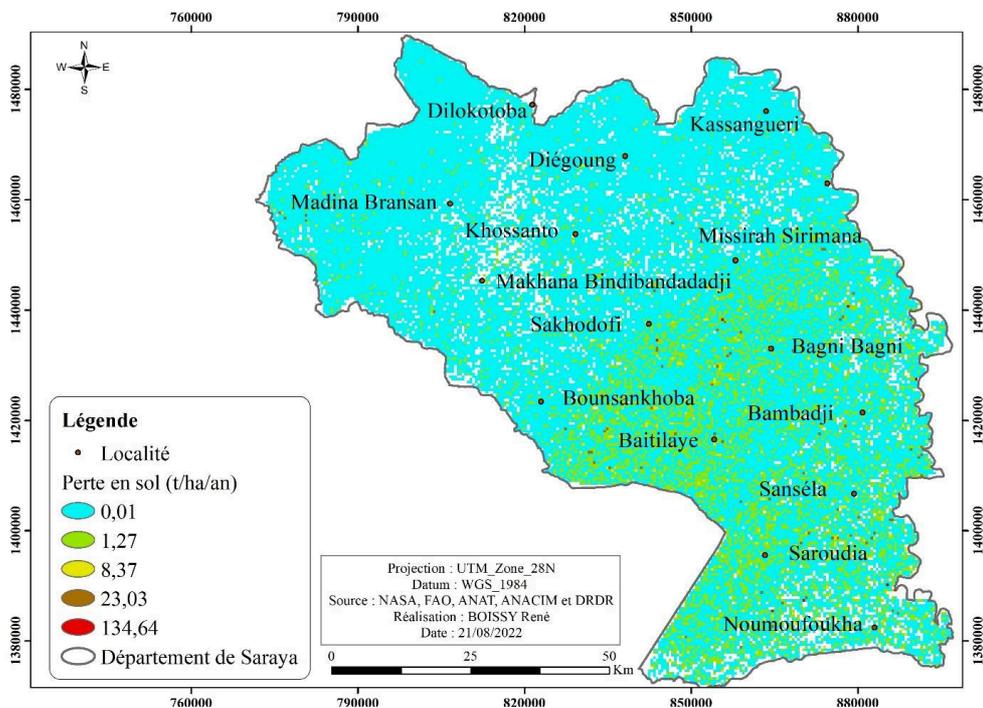
Estimation des pertes en sols

- 40 Les résultats de l'application du RUSLE après la spatialisation et la combinaison des variables du modèle ont permis l'estimation des pertes potentielles en sols. Les pertes minimales et maximales de sols sont estimées à 0,01 et 134,64 t/ha/an, soit un écart-type de 57,29 et une moyenne de 33,46t/ha/an. Nous nous sommes servis de la grille de classification des pertes en sols de Wall et al. (2002) pour identifier les milieux très peu sujets à l'érosion hydrique, ceux peu sensibles et très vulnérables aux effets abrasifs du ruissellement.
- 41 Les surfaces très peu affectées par l'érosion en nappe s'étendent sur 719096,14 ha. Elles sont en partie localisées dans l'extrême nord-ouest, nord-est et au centre, où l'érosion y est estimée à 0,01 t/ha/an, soit un dégraissage annuel de 7190,96 t. Les formations végétales de ces milieux étant peu affectées par les activités anthropiques (agriculture, orpaillage, élevage, et coupe du bois), la biomasse foliaire atténue l'énergie cinétique de la pluie et les racines vivantes des végétaux renforcent la cohésion des agrégats.
- 42 Sur une superficie de 218,07 ha, soit 0,03 % de l'étendue de la zone d'étude, l'érosion hydrique est évaluée à 1,27 t/ha/an. Ces valeurs s'observent dans les savanes boisées et herbacées où les facteurs LS, K, C, P et R sont estimés respectivement à 1,28, 0,0184 t.ha.h/MJ.mm, 0,1-0,2, 1 et 596,02-624,58 MJ.mm/ha.h.an. Du fait de l'amenuisement du couvert végétal en saison sèche, la surface du sol est presque à découvert. L'exposition de la surface du sol aux radiations solaires sur plus de la moitié de l'année induit à une diminution drastique de son humidité. Lors de l'humectation rapide du sol, les gouttes de pluie, en comprimant l'air dans les pores des sédiments, entraînent leur désagrégation. L'incrustation des particules fines dans les gros pores des sédiments diminue l'infiltration augmentant ainsi les risques d'érosion.
- 43 Malgré les pertes évaluées à 8,37 t/ha/an, les impacts de l'érosion sont faibles sur 1319,38 ha, soit des pertes annuelles de 11043,21 tonnes. Ces dernières s'observent dans la partie sud-est, sud-ouest et à l'extrême nord-est de Saraya.
- 44 Les pertes en sols, comprises entre 23,03 et 134,64 t/ha/an, couvrent une superficie de 110,61 ha, soit 0,02 % du territoire départemental. Dans toutes ces étendues, les impacts de l'érosion sont importants puisque ces étendues sont assujetties aux activités agricoles, au maraichage, à l'élevage, à l'orpaillage voire à l'exploitation du bois. La substitution des plantes endémiques par celles agricoles et la perturbation de la stabilité structurale du sol par les engins agricoles lors du labour accroissent sa sensibilité à l'érosion hydrique comme à Baïtilaye, Sabodala, Bembou, Missirah Sirimana et Khossanto par exemple.
- 45 Dans l'ensemble, 99,98 % de l'étendue du département de Saraya sont peu affectés par l'érosion hydrique soit une érosion moyenne annuelle de 0,16 t/ha. Seulement 0,02 % de Saraya est confronté à l'érosion et ses impacts moyens annuels y sont évalués à 75,19 t/ha.

Tableau 6. Interprétation des résultats des pertes en sols selon Wall et al. (2002)

Classe	Perte (t/ha/an)	Surface	Perte globale (t/an)	Interprétation des pertes
1	0,01	719096,14	7190,96	Très faible
2	1,27	218,07	276,95	
3	8,37	1319,38	11043,21	Faible
4	23,03	58,92	1356,93	Elevée
5	134,64	51,69	6959,54	Grave
Moyenne	33,46	144148,84	5365,52	
Ecart-type	57,29	321405,75	4474,14	

Figure 9. Carte des pertes en sols dans le département de Saraya



Discussion

- 46 Cette étude a consisté à intégrer les données géospatiales (lithologie, topographie, occupation du sol et climat) à un système d'information géographique pour modéliser l'érosion hydrique à Saraya. L'intégration de la fonction multiplicative du RUSLE dans les algorithmes d'ArcGIS 10.8 a rendu aisé la combinaison de R, K, LS, C et P afin d'obtenir une carte synthétique des pertes en sols. L'identification des milieux où l'érosion est importante (23,03 et 134,64 t/ha/an) facilite l'élaboration des stratégies

d'aménagement et l'évaluation des techniques de mise en valeur des terres arables. Même si le USLE a été développé et appliqué pour évaluer les pertes en sol aux États-Unis dans de petites parcelles, des équations alternatives ont été développées pour permettre de calculer les différentes variables du modèle à des étendues plus vastes (région, département, commune). Grâce à la prise en compte des particularités géographiques des régions du globe et des types de données au cours de l'élaboration des équations alternatives de R, K, LS, C et P, le RUSLE offre la possibilité d'évaluer les risques d'érosion hydrique en fonction des régions géographiques et des types de données.

- 47 Étant donné que les données pédologiques et topographiques de la zone d'étude ne nous permettent pas de déterminer K et LS, nous avons été contraints d'utiliser celles disponibles en ligne telles que les données pédologiques de la FAO et du MNT-SRTM de la NASA. Pour ce faire, elles ont été ramenées à la même résolution spatiale. Compte tenu des données disponibles sur la zone d'étude, nous avons utilisé les équations de Nguyen (1996), de William (1995) et de Mitasova et al. (1996) pour calculer respectivement R, K et LS.
- 48 Le facteur LS a été estimé avec le MNT du Sénégal issu d'une image SRTM de 90 m de résolution. La résolution du MNT-SRTM étant prise en compte lors de la détermination de l'indice LS, sa variation influe sur les résultats de celui-ci. Par conséquent, la réduction de la résolution du MNT-SRTM entraîne une diminution des valeurs de LS. « Il est actuellement établi que la résolution spatiale du MNT-SRTM a une influence sur les valeurs de LS » (Oliveira et al., 2013 ; Panagos et al., 2015).
- 49 Le recours aux données pédologiques de la FAO nous a contraints d'utiliser l'équation de William (1995) pour estimer le facteur K. Toutefois, cette équation ne prend en compte que la granulométrie (sables, argiles et limons) et la fraction organique. Le facteur K n'a pas pu être déterminé en fonction des types de sols, c'est pourquoi il est compris entre 0,0174 t.ha.h/ha/MJ.mm et 0,0201 t.ha.h/ha/MJ.mm.
- 50 R varie en fonction des équations utilisées. R étant déterminant dans le RUSLE, sa variation a des incidences sur les résultats des estimations des pertes potentielles en sols. Pour une moyenne pluviométrique de 1249,06 mm, l'utilisation de l'équation de Renard et Freimund¹ (1994) donne une érosivité de 278,34 MJ.mm/ha.h.an. En revanche, l'équation de Nguyen (1996) estime l'agressivité des pluies à Saraya à 624,58 MJ.mm/ha.h.an.
- 51 L'équation universelle des pertes en sol a été initialement conçue pour quantifier les impacts de l'érosion en nappes et en rigoles. C'est pourquoi, elle ne tient pas compte du ravinement. Août et septembre étant les mois les plus humides à Saraya, les impacts de la ravine sont non négligeables durant ce laps de temps. Cependant, la diminution de l'énergie cinétique des eaux courantes sur les faibles pentes (-2 %) est suivie du dépôt de sédiments. Ces impacts de l'érosion ne sont pas pris en compte dans l'estimation des pertes potentielles de sols puisque le RUSLE s'applique à l'érosion sur des pentes inférieures à 25 % (Roose et al., 2012).
- 52 Malgré les limites du modèle, ce travail permet une amélioration des connaissances sur les risques d'érosion à Saraya. Nous avons classifié les risques d'érosion selon la méthode de Wall et al. (2002). Cette approche explicative a permis d'identifier quatre classes d'érosion hydrique. Dans la première classe, les pertes en sol sont très faibles puisqu'elles sont comprises entre 0,01-1,27 t/ha/an. Dans la seconde classe, les impacts

de l'érosion sont également faibles, soit 8,36 t/ha/an. Par contre, dans les deux dernières classes, les pertes en sols sont élevées et graves et sont estimées respectivement à 23,03 t/ha/an et 134,64 t/ha/an. Par ailleurs, la carte synthétique des pertes en sols peut servir d'outil d'aide à la décision en matière de gestion des ressources foncières.

Conclusion

- 53 La quantification des impacts de l'érosion hydrique dans le département de Saraya a été réalisée avec l'équation universelle des pertes de sols révisée. Son application, à l'aide d'un système d'information géographique, a facilité la répartition spatiale des pertes par unité de surface. D'après les résultats obtenus de l'estimation des pertes en sols, le risque d'érosion hydrique est accentué par la topographie dominée par des pentes comprises entre 20,05-61,57 % à l'extrême sud-est et sud-ouest de la localité. L'agressivité des pluies y est forte, soit 624,58 MJ.mm/ha.h.an et la protection du sol y est faible. L'extension des sites d'orpaillage, des villages et des activités agricoles dans ces zones augmente la vulnérabilité du sol à l'érosion hydrique. D'après les données de l'Agence nationale de la statistique et de la démographie (ANSD), Saraya comptait 5443 unités d'extraction traditionnelle de l'or en 2017.
- 54 Sur une superficie de 719314,21 ha, les impacts de l'érosion hydrique sont très faibles (0,01 et 1,27 t/ha/an), soit 99,80 % du département. Les pertes annuelles en sol y sont évaluées à 7467,91 t. Les pertes en sol sont faibles (8,37 t/ha/an) sur 0,18 % du territoire départemental. Cependant, sur 110,61 ha, le dégraisement est compris entre 23,03t/ha/an et 134,64 t/ha/an. La moyenne des pertes en sols est estimée à 33,46 t/ha/an, soit un écart-type de 57,29.
- 55 La carte synthétique du RUSLE est un outil d'aide à la planification des stratégies antiérosives car elle procure des données relatives aux risques d'érosion et identifie les milieux très affectés par cet aléa naturel. L'identification des milieux sujets à l'érosion hydrique facilite l'élaboration des stratégies d'aménagement dans les sites ciblés. L'aménagement des milieux accidentés par l'installation des cordons pierreux, des diguettes filtrantes, des bandes enherbées et le travail peu profond du sol peuvent atténuer les effets abrasifs du ruissellement. Les parties nord-est et nord-ouest étant peu affectées par l'érosion hydrique, les autorités locales doivent renforcer les campagnes de sensibilisation sur la préservation du couvert végétal et les impacts des feux de brousse. Quant aux agents agronomes, ils doivent insister sur les techniques culturales permettant la conservation de la fertilité du sol.

BIBLIOGRAPHIE

Adamou, N S., A. Gourfi., Touré., A. A. et L. Daoudi., 2021, Érosion hydrique au sud-ouest du Niger : impacts des facteurs naturels et anthropiques sur les pertes en sols, *la revue*

Géomorphologie, vol. 28, n°2, [en ligne], URL : <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.16744>. Consulté le 10 septembre 2021.

Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie., 2012, Situation économique et sociale régionale, Rapport, 174 p.

Arnoldus, H. M. J., 1980, An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In : DE BOODT, M. & GABRIELS, D. (Eds.) Assessment of Erosion. FAO Land and Water Development Division, Wiley & Sons, Chichester, 127-132.

Asérar, N., R. Moussadek., et A. Douira., 2019, Étude quantitative de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de Ben ahmed (Maroc Central), pp : 385-389 [en ligne], URL : <https://docplayer.fr/192076709-Etude-quantitative-de-l-erosion-hydrique-des-sols-dans-le-bassin-versant-de-ben-ahmed-maroc-central.html>. Consulté le 05 août 2021.

Borrelli, P., D. A. Robinson., L. R. Fleischer., E. Lugato., C. Ballabio., C. Alewell., K. Meusburger., S. Modugno., B. Schütt., V. Ferro., V. Bagarello., Oost K. Van., L. Montanarella., P. Panagos., 2017, An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion, *Nature Communications*, 8 p [en ligne], URL : <file:///C:/Users/hp/Downloads/s41467-017-02142-7.pdf>. Consulté le 01 juillet 2022.

Bouguerra, S., et A. Bouanani., 2016, Cartographie qualitative de la sensibilité du sol à l'érosion hydrique : cas du bassin versant oued Boukiou (nord-ouest de l'Algérie). Etude et gestion des sols, volume 23, pp. 91-100.

Diédhiou, A M. L. Lô., P. B. D. Thioune., M. Diouf., M. S. Diallo., et E. B. Diaw., 2018, Modélisation de l'érosion hydrique des sols cultivés ou non du plateau de Thiès (Sénégal), *la revue International Journal of Innovation and Applied Studies*, pp. 210-221, [en ligne], URL : <file:///C:/Users/hp/Downloads/IJIAS-ADiedhiou.pdf>. Consulté le 25 août 2021.

Driss, E., A. Brahim., 2018, Quantification De L'érosion Hydrique En Utilisant Le Modèle Rusle Et Déposition Intégrée Dans Un Sig. Cas Du Bassin Versant De L'oued Isly (Maroc Oriental), *la revue European Scientific Journal*, volume.14, n° .5, 14 p, [en ligne], URL : <file:///C:/Users/hp/Downloads/10504-30104-1-PB.pdf>.

Dumas, P., 2010, Méthodologie de cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion appliquée à la région de Dumbéa à Païta - Bouloupari (Nouvelle-Calédonie), *le Cahier d'Outre-Mer revue de Géographie de Bordeaux n°256* pp. 567-584, [en ligne], URL : <https://journals.openedition.org/com/6123>. Consulté le 02 avril 2021.

Elbouadaoui, K., H. Hezzine., M. Badrahoui., M. Rouchdi., M. Zahraoui., et A. Ozer., 2005, Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc), *la revue Géo-Eco-Trop*, pp. 25-36, [en ligne], URL : https://geocotrop.be/uploads/publications/pub_291_03.pdf.

Elgarouani, A., A. Maerzouk., et A. Ozer., 2003, Cartographie et évaluation quantitative de l'érosion hydrique au pré-Rif marocain. Hydrology of the mediterrennean and semiarid (Proceedings of an international symposium held at Montpellier) n°278, pp. 380-386.

Fenta, A.A., A. Tsunekawa., N. Haregeweyn., J. Poesen., M. Tsubo., P. Borrelli., P. Panagos., M. Vanmaercke., J. Broeckx., H. Yasuda., T. Kawai., Y. Kurosaki., 2020, Land susceptibility to water and wind erosion risks in the East Africa Region. *Science of The Total Environment*, 703, 135016.

Fournier, F., 1960, Climat et érosion : la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. *Presses Universitaires de France*. Paris : 201 p.

- Garouani, A. El. A. Merzouk., et A. Ozer., 2003, Cartographie et évaluation quantitative de l'érosion hydrique au pré-Rif marocain. *Hydrology of die Mediterranean and Semiarid Regions*, pp. 380-386 [en ligne], URL : <https://docplayer.fr/45767356-Cartographie-et-evaluation-quantitative-de-l-erosion-hydrique-au-pre-rif-marocain.html>. Consulté le 12 octobre 2021.
- Hussein, E. H. H., L. Charbel., et L. Touchart., 2018, Modélisation de l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant du Mhaydssé. Békaa-Liban, *Vertigo-la revue électronique en science de l'environnement* [en ligne], volume 18 n°1, 18 P, [en ligne], file:///C:/Users/hp/Downloads/s41467-017-02142-7.pdf.
- Helioui, Y., et J. Hajri., 2015, érosivité des pluies dans la région du cap bon (Tunisie), XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, pp. 509-514.
- Heusch, B., R. Kalman., P. L. Duhamel., et P. Robert., 1970, Erosion, transport solide, sédimentation. *Ann. Rech. Forest. Maroc*. n° sp. Etude sur l'érosion, 10, 390 p.
- Issa, K. L., K. B. H. Lech-Hab., A. Raissouni., et A. El. Arrim., 2016, Cartographie Quantitative du Risque d'Erosion des Sols par Approche SIG/USLE au Niveau du Bassin Versant Kalaya (Maroc Nord Occidental), 18 p, [en ligne], URL : https://www.jmaterenvironsci.com/Document/vol7/vol7_N8/291-JMES-2151%20Issa.pdf. Consulté le 02 juin 2021.
- Julia, P., 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 : *Mémoire de Master Professionnel Sciences du Territoire*, 80 p.
- Kouadri, K M., L. Kouri., et Y. Chebouti., 2016, Utilisation de l'Indice d'Arnoldus pour cartographier les risques d'érosivité des pluies dans le Tell oranais (Algérie), *la revue Eco-Trop* pp. 287-296.
- Koussa M., et M. T. Bouziane., 2018, Apport de SIG a la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans le bassin versant de Beni Haroun, Mila, Algérie, *la revue Géo-Eco-Trop*, pp. 43-56.
- Koussa, M., et M. T. Bouziane., 2019, Estimation des paramètres de l'érosion hydrique par Approche SIG/USLE : cas du bassin versant de l'Oued Arab (région de Khenchela, nord-est de l'Algérie), *la revue Agriculture and Forestry Journal*, vol. 3 pp. 36-45, [enligne], URL : <https://core.ac.uk/download/pdf/235273854.pdf>. Consulté le 02 janvier 2022.
- Mitasova, H., J. Hofierka., M. Zlocha., et L. R. Iverson., 1996, Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Int J GIS*, *la revue International Journal of Geographical Information Systems* [en ligne], URL : <http://www.tandfonline.com/loi/tgis19>
- Morsli, B., M. Habi., et M. Meddi., 2013, Dynamique de l'érosion en zone méditerranéenne algérienne : facteurs explicatifs de variation du ruissellement et de l'érosion sous différentes occupations du sol, *la revue des Sciences de l'Eau*, 18p, [en ligne], URL : <http://id.erudit.org/iderudit/1016061ar>.
- Mostephaoui, T., S. Merdas., B. Sakaa., M. T. Hanafi., et M. T. Benazzouz., 2013, Cartographie des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin versant d'el Hamel (Boussaada) Algérie, *le Journal Algérien des Régions Arides* n°11, 17 p, [en ligne], URL : <https://www.asjp.cerist.dz/en/downArticle/102/12/1/76912>. Consulté le 02 novembre 2021.
- Nguyen, T. H., 1996, Identify the factors effect to soil erosion and fore cast soil erosion on slope land. Ph. D. Dissertation, Water Resources University of Vietnam, Hanoi.
- Nteranya N. J., 2020, 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, volume 20 n°3, 35 p, [en ligne], URL : <https://journals.openedition.org/vertigo/28888>. Consulté le 25 décembre 2021.
- Oliveira, P.T.S., D. B. B. Rodrigues., A. Sobrinho., T. Panachuki., E. Wendland., 2013, Use of SRTM data to calculate the (R)USLE topographic factor, *Acta Scientiarum. Technology*, 15, pp.507-513 [en ligne] DOI : <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v35i3.15792>
- Ouadjane, Y., El. A. A. Yacine., B. Benzough., L. Nassiri., J. Ibjibijen., 2021, Evaluation Des Risques D'érosion Hydrique Et Cartographie Des Zones Vulnérables Par La Méthode RUSLE Couplée Aux SIG Et À La Télédétection Dans Le Bassin Versant d'Agoudal En Amont De La Vallée d'Imilchil (Haut Atlas Central, Maroc), *la revue European Scientific Journal*, ESJ, volume 17 n°21, 26 p [en ligne] URL : <https://www.researchgate.net/publication/352877804>. Consulté le 25 février 2022.
- Ouédraogo B., O. Kaboré., et M. Kaboré., 2019, Cartographie quantitative de l'érosion des sols par approche SIG/RUSLE dans la Commune de Karangasso vigué (Burkina Faso), *la revue International Journal of Biological and Chemical Science*, Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(3): 1638-1653, pp. 1638-1653 [en ligne] URL : <file:///C:/Users/hp/Downloads/189651-Article%20Text-481538-1-10-20190911.pdf>.
- Panagos, P., P. Borrrrelli., et K. Meusburger., 2015, A new European slope length and steepness factor (LS-factor) for modeling soil erosion by water, *la revue Journal of Geoscience*, 5, 117-126 ; doi : 10.3390/geosciences5020117 [en ligne] URL : <file:///C:/Users/hp/Downloads/LS-geosciences-05-00117.pdf>.
- Payet, E., P. Dumas., et G. Pennober., 2012, Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana, *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol 11 n°3, 26 p.
- Renard, K.G., et J. R. Freimund., 1994, Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE, *Journal of Hydrology*, n° .157, pp. 287-306.
- Roose, E., 1977, Application of the Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith in West Africa , *Soil Conservation Society of America*, Ankeny, Iowa, pp. 50-71, [En ligne] URL : http://horizon.documentation.ird.fr/exldoc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_0809/09135.
- Sadiki, A., S. Bouhlassa., J. Auajjar., A. Faleh., et J. J. Macaire., 2004, Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc): cas du bassin versant de l'oued Boussouab, *bulletin de l'institut scientifique*, Rabat, section Sciences de la Terre, n°26 pp69-79 [en ligne] URL : [file:///C:/Users/hp/Downloads/Documents/05-%20Sadiki%20et%20al.%20\(69-79\)_2.pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/Documents/05-%20Sadiki%20et%20al.%20(69-79)_2.pdf). Consulté le 21 mai 2021.
- Toumi, S. M., M. Meddi., G. Mahé., et Y. T. Brou., 2013, Cartographie de l'érosion dans le bassin versant de l'Oued Mina en Algérie par télédétection et SIG, *la revue Hydrological Sciences Journal*, 58, pp 1542-1558 [en ligne], URL : <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.824088>
- Yjjou, M., R. Bouabid. A. El. Hmaid., A. Essahlaoui., et M. El. Abassi., 2014, 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. *La revue the International Journal of Engineering and Science (IJES)*, vol 3 pp. 83-91 [en ligne] URL : file:///C:/Users/hp/Downloads/ArticleYjjouetal.IJES_2014.pdf.
- Yaméogo, A., Y. S. C. Somé., S. Palé., B. A. Sirima., et D. E. C ; Da., 2021, Application de SIG/RUSLE à l'estimation de l'érosion par ruissellement en nappe dans le bassin versant supérieur de la Sissili (Burkina Faso), *la revue Eco-Trop*, vol 45 n°2, pp 299-310 URL : <file:///C:/Users/hp/Downloads/ApplicationdeSIGRUSLEestimationdelrosionparruissellementennappe-2.pdf>. Consulté le 05 2022.
- Wall, G. J. E. A. Coote., Pringle., et Shelton., 2002, RUSLE-CAN Équation universelle révisée des pertes de sol pour application au Canada, *Direction Générale de la Recherche Agriculture et*

Agroalimentaire Canada Ottawa (Ontario), CRECO-numéro de contribution 02-92, AAFC numéro de contribution AAFC/AAC2244F, 140 p.

Williams J., 1995, *The EPIC model, in Computer Models of Watershed Hydrology*, edited by V. P. Singh, Colorado, USA, pp. 909-1000.

Wischmeier, W., (1958), Rainfall erosion and its relationship to soil loss. *Transactions American geophysical Union*, 32, 285-291.

Wischmeier, W. H., et D. D. Smith., 1978. Predicting Rainfall Erosion losses, Agriculture Handbook no. 57, US Department of Agriculture. Washington DC. USA., 58p

Zékri, N., et A Tounkob., 2021, Cartographie de la vulnérabilité potentielle des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant de Tafna (Nord-Ouest Algérien), *la revue marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires p-ISSN: 2028-991X*, 8 p URL : https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAPH2/article/view/1046/1495.

Zouagui, A., M. Sabir., M. Naimi., M. Chikhaoui., et M. Benmansour., 2018, Modélisation Du Risque D'érosion Hydrique Par L'équation Universelle Des Pertes En Terre Dans Le Rif Occidental : Cas Du Bassin Versant De Moulay Bouchta (Maroc), *la revue European Scientific Journal* volume 14 n° 3 pp. 524-544 URL : <https://core.ac.uk/download/pdf/328026186.pdf>.

NOTES

1. Soit $R = 0,0483 * P^{1,61}$ si pluie moyenne annuelle ≤ 850 mm, $R = 0,004105P^2 - 1,249P + 587$ si pluie moyenne annuelle > 850 mm.

RÉSUMÉS

Le département de Saraya (Sénégal) est confronté depuis ces deux dernières décennies à l'érosion. Malgré les stratégies antiérosives (digues, cordons pierreux, haies vives, diguettes, tranchées, régénération du couvert végétal, paillage) mises en place par les autochtones et les autorités locales, l'érosion prend une tournure de plus en plus inquiétante dans cette localité. Cet aléa naturel constitue un problème environnemental majeur et menace les activités économiques. Cette étude a consisté à évaluer le risque d'érosion par la modélisation des facteurs R, K, LS, C et P. L'intégration du modèle dans un Système d'information géographique (SIG) a facilité l'élaboration des cartes thématiques (topographique, érosivité des pluies, érodibilité du sol et occupation du sol) pour évaluer les risques d'érosion et cartographier les milieux vulnérables et ceux moins sensibles à cet aléa. Le couplage des SIG avec l'équation universelle des pertes de sols révisée a permis d'estimer les impacts du ruissellement en nappe. Les pertes en sols sont comprises entre 0,01 t/ha/an et 134,64 t/ha/an, soit une moyenne de 33,46 t/ha/an et un écart-type de 57,29. L'approche SIG/RUSLE apporte une aide aux décideurs et aux aménageurs au cours de l'élaboration des scénarios d'évolution de la dégradation du sol et la planification des stratégies antiérosives dans les zones où l'érosion est prédominante.

The department of Saraya has been confronted with erosion for the last two decades. Despite the anti-erosion strategies (dykes, stone barriers, hedgerows, bunds, trenches, regeneration of

vegetation cover, mulching) put in place by the local people and the local authorities, erosion is becoming increasingly worrying in this locality. This natural hazard constitutes a major environmental problem and threatens economic activities. This study assessed the potential risk of erosion by modelling the factors R, K, LS, C and P. The integration of the model into a Geographic information system (GIS) facilitated the elaboration of thematic maps (topography, rainfall erosivity, soil erodibility and land use) to assess the risk of erosion and to map the vulnerable areas and those less sensitive to this hazard. Coupling the GIS with the revised universal soil loss equation allowed the estimation of the impacts of groundwater runoff. Soil losses range from 0.01 t/ha/yr to 134.64 t/ha/yr, with an average of 33,46 t/ha/yr and a standard deviation of 57.29. The GIS/RUSLE approach helps decision-makers and planners to develop scenarios of soil degradation and to plan anti-erosion strategies in areas where erosion is predominant.

INDEX

Mots-clés : érosion hydrique, érosivité, érodibilité, modèle, cartographie

Keywords : water erosion, erosivity, erodibility, model, cartography

AUTEURS

RENÉ BOISSY

Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Département de Géographie, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal, adresse courriel : rene.boissy@ucad.edu.sn

MAMADOU NDIAYE

Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Département de Géographie, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal, adresse courriel : mamadou86.ndiaye@ucad.edu.sn

MOISE DIATTA

Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), Département de Géographie, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal, adresse courriel : moisediociatta@ucad.edu.sn

MAGUETTE MBAYE

Laboratoires Leidi Dynamiques des Territoires et Développement (LLDTD), Département de Géographie, adresse courriel : maguette1.mbaye@ucad.edu.sn