



Application de SIG/RUSLE à l'estimation de l'érosion par ruissellement en nappe dans le bassin versant supérieur de la Sissili (Burkina Faso)

Application of SIG/RUSLE for the estimation of water erosion by expanse of water streaming in the upper basin of the Sissili (Burkina Faso)

Augustin YAMÉOGO^{1*}, Yélézoumin Stéphane Corentin SOME², Sié PALÉ³, Badaye Abdoulaye SIRIMA⁴ & Dapola Évariste Constant DA⁵

Abstract: The upper watershed of Sissili is undergoing a degradation linked to water erosion by the combination of several natural and anthropogenic factors. The objective of this article is to assess the risk of water erosion by GIS/RUSLE approach in the upper Sissili river basin. For the application of the RUSLE model, Geographic Information System (GIS) techniques were adopted for the processing of 2018 data from the study area. This RUSLE model requires the use of several data such as rainfall erosivity, soil erodibility, slope inclination and length, vegetation cover and anti-erosion practices. The combination of these factors results in a land loss map. The average erosion rate of the watershed in 2018 is 1.22 t/ha/year with a total loss of 392,835.46 t/year over an area of 3232.14 km². Five classes of erosion have been determined. Class 1 is the most represented and covers 61.38 % of the study area with an average rate of 0.27 t/ha/year. Classes 2, 3, 4 and 5 have an average rate of 2.1 t/ha/year, 6.72 t/ha/year, 13 t/ha/year and 31.17 t/ha/year respectively.

Keywords : Water erosion, RUSLE, Catchment area, Sissili, Burkina Faso.

Résumé : Le bassin versant supérieur de la Sissili connaît une dégradation liée à l'érosion hydrique en nappe par la conjugaison de plusieurs facteurs naturels et anthropiques. L'objectif de cet article est d'évaluer le risque d'érosion hydrique, par approche SIG/RUSLE, du bassin versant supérieur de la Sissili. Pour l'application du modèle RUSLE, les techniques du Système d'Informatique Géographique (SIG) ont été adoptées pour le traitement des données de 2018 concernant la zone d'étude. Ce modèle RUSLE requiert l'utilisation de plusieurs données, telles que l'érosivité de la pluie, l'érodibilité du sol, l'inclinaison et la longueur de pente, la couverture végétale et les pratiques antiérosives. De la combinaison de ces facteurs, il résulte une carte de perte de terres. Le taux d'érosion moyen du bassin versant en 2018 est de 1,22 t/ha/an avec une perte totale de 392.835,46 t/an sur une superficie de 3.232,14 km². Cinq classes d'érosion ont été déterminées. La classe 1 est la plus représentée et couvre 61,38 % de la zone d'étude avec un taux moyen de 0,27 t/ha/an. Les classes 2, 3, 4 et 5 ont respectivement un taux moyen de 2,1 t/ha/an, 6,72 t/ha/an, 13 t/ha/an et 31,17 t/ha/an.

Mots-clés : Érosion hydrique, RUSLE, Bassin versant, Sissili, Burkina Faso.

INTRODUCTION

L'érosion est un phénomène naturel vieux comme le monde et rares sont les civilisations qui ne l'ont pas subie sur la route de leur développement (ROOSE, 1975). Toutes les régions du globe sont affectées par l'érosion des sols, phénomène dit « naturel » dans l'équilibre des différents éléments d'un même écosystème (DA, 2007). Elle figure parmi les principales sources de dégradation des sols et constitue une question importante au niveau mondial.

¹Université Norbert ZONGO, Département de Géographie, Laboratoire de Recherche en Sciences-Humaines (LABOSH), BP 376 Koudougou, Burkina Faso, Email : yamaug8@gmail.com

²Université Norbert ZONGO, Département de Géographie, Laboratoire de Recherche en Sciences-Humaines (LABOSH), BP 376 Koudougou, Burkina Faso/ Laboratoire Dynamique des Espaces et Sociétés (LDES), Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021, Ouagadougou 03, Burkina Faso, Email : some_y@yahoo.fr

³Université de Ouahigouya, 01 BP 346, Ouahigouya 01, Burkina Faso/ Laboratoire Dynamique des Espaces et Sociétés (LDES), Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021, Ouagadougou 03, Burkina Faso, Email : palesie@gmail.com

⁴Université Joseph KI-ZERBO, Département de Géographie, Laboratoire Dynamique des Espaces et Sociétés (LDES), 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso, Email : sirimaulrich@yahoo.fr

⁵Université Joseph KI-ZERBO, Département de Géographie, Laboratoire Dynamique des Espaces et Sociétés (LDES), 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso, Email : dadapola432@gmail.com

* Contact : yamaug8@gmail.com

C'est un phénomène inévitable, devenu un sérieux problème environnemental et économique, surtout quand il est accéléré par les activités humaines (MELIHO et al., 2016). L'érosion hydrique est celle qui menace le plus fortement les sols en réduisant leur épaisseur et en diminuant leur taux de matière organique, d'où une dégradation de la fertilité des sols (TAVARES, 2010). Ce type d'érosion est un phénomène complexe qui résulte du détachement, du transport et du dépôt. L'érosion hydrique est causée par l'action combinée de la pluie et du ruissellement. L'expression de la pluie et du ruissellement dépend de la topographie et de la résistance du milieu, tels que la nature du sol, le couvert végétal et les techniques culturales (DRISS & BRAHIM, 2018 ; THOMAS & THRIVIKRAMJI 2018 ; ZERIHUN et al., 2018 ; JAZOULI et al., 2019 ; OUEDRAOGO et al., 2019 ; NEHAÏ & GUETTOUCHE, 2020).

La dégradation des écosystèmes et d'une manière générale de l'environnement au Burkina Faso est liée aux facteurs anthropiques, notamment l'accroissement de la population, les activités agricoles et minières (GOMGNIMBOU et al., 2010). Le bassin versant supérieur de la Sissili est soumis à une forte pression anthropique qui entraîne une mutation majeure des espaces naturels. Cette mutation des espaces naturels rend vulnérable le bassin versant à l'érosion hydrique. L'objectif du présent article est d'évaluer le risque d'érosion hydrique par approche SIG/RUSLE à l'échelle du bassin versant supérieur de la Sissili.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Présentation de la zone d'étude

Le bassin supérieur de la Sissili est le site concerné par la présente étude. Il appartient au bassin versant de la Sissili et couvre une superficie d'environ 3.232 km². La zone d'étude est située entre les latitudes de 11° et 12° Nord et les longitudes 1°48' et 2°24' Ouest et se localise dans le Sud du Burkina Faso (Figure 1). Trois classes de sols y sont présentes : les sols minéraux bruts composés de lithosols sur cuirasses et sur roches diverses (moins de 1 % de la superficie totale), les sols à sesquioxydes de fer et de manganèse (94 %) et les sols peu humifères à pseudogley de surface (5,50 %) du bassin versant.

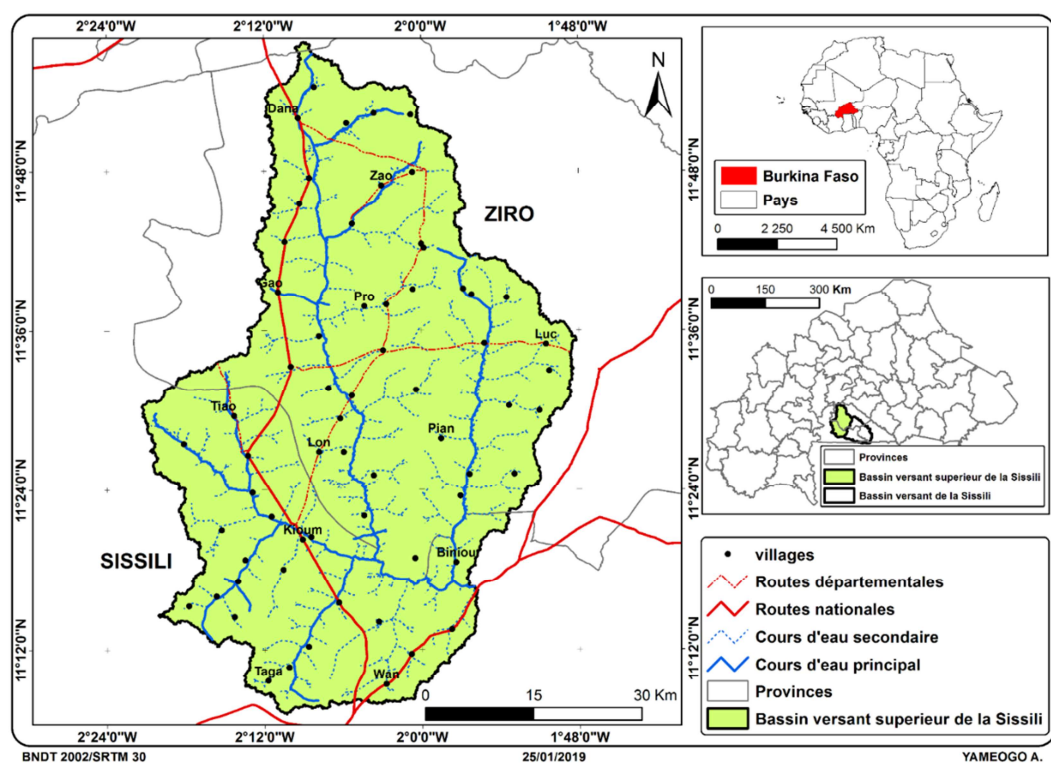


Figure 1.- Situation géographique du bassin versant supérieur de la Sissili.

Le climat du bassin versant est caractérisé par deux saisons, dont une saison pluvieuse allant de mai à octobre. La pluviométrie moyenne annuelle varie de 1.020 mm au sud à 750 mm au nord du bassin.

Le relief est quasiment plat avec des pentes faibles et des altitudes allant de 285 m à 378 m. La pente moyenne générale du bassin versant est faible (1,16 %). Plus de 93 % de la superficie du bassin versant ont une pente comprise entre 0 et 2%. Le couvert végétal est de type savane arbustive à arborée, savane parc à *Vitellaria paradoxa* et quelques reliques de formation ripicole.

Matériel

Le matériel utilisé pour cette étude est composée de données ancillaires, d'outils et de logiciels. Les données ancillaires sont composées d'une image Landsat 8 OLI/TIRS du 10 janvier 2018, des images SRTM GTOPO 30 m et Aster 30 m, ainsi que de données de la Base Nationale de Données Topographiques (BNDT) du Burkina Faso, de la cartographie des sols du Bureau National des Sols (BUNASOLS) et enfin des données climatiques de l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM).

Les logiciels ENVI 5 et ArcGIS10.8 ont respectivement été utilisés pour le traitement de l'image Landsat et le système d'information géographique. Ce traitement d'image a nécessité la composition colorée des bandes 7-4-3 au regard de leur capacité à discriminer les unités d'occupation ayant servi de clés d'interprétation. L'outil GPS Garmin 62x a servi au relevé de coordonnées sur le terrain.

Détermination des différents facteurs

La méthodologie utilisée est centrée sur l'analyse différentielle de la perte en terres à partir de l'équation universelle de perte en sol RUSLE. Cette équation a été utilisée dans cette étude pour la quantification des pertes en sol. Il s'agit d'un modèle empirique qui réunit plusieurs facteurs ayant une incidence sur la vitesse de l'érosion hydrique comme la pluviométrie, les propriétés du sol, les caractéristiques du terrain, la protection du sol par la couverture végétale et les pratiques anthropiques (MARHIK *et al.*, 2015).

L'équation RUSLE (1) se présente comme suit :

$$A = R * K * LS * C * P \quad (\text{équation 1})$$

A, est le taux annuel de perte en sol et s'exprime en t/ha/an ;

R (MJ/mm / ha. H. an), est le facteur de l'érosivité des pluies ; il correspond à la moyenne annuelle des sommes des produits de l'énergie cinétique de la pluie par son intensité en 30 minutes consécutives ;

K (t. H / MJ. mm), est l'érodibilité des sols ; elle est fonction de la texture du sol, du taux d'humus, de la structure de la couche superficielle du sol ainsi que de sa perméabilité ;

LS, est un facteur sans dimension qui représente l'inclinaison (S) et la longueur de pente (L) ;

C, est un facteur sans dimension ; c'est l'occupation du sol ou l'indice de couverture végétale et de pratiques culturales ;

P, facteur sans dimension, est un rapport qui tient compte des techniques culturales antiérosives telles que le labour en courbes de niveau.

L'érosivité des pluies (R)

Pour l'étude de l'érosivité des pluies, WISCHMEÏER & SMITH (1978) ont établi une relation entre l'énergie cinétique et l'intensité des pluies (équation 2)

$$R = EI_{30} \quad (\text{équation 2})$$

Avec R l'érosivité des pluies en MJ.mm/ha.hr.an, E l'énergie cinétique de l'averse en MJ/ha.mm et I_{30} , l'intensité maximale d'une durée de 30 minutes et s'exprime en mm/h.

L'intensité est le paramètre principal qui représente un lien entre la pluie et l'érosion. Son intervention se fait à deux niveaux, à savoir la saturation momentanée de la porosité du sol et l'énergie cinétique que la pluie dissipe en détruisant la structure de la surface du sol (battance) (ROOSE, 1977). L'indisponibilité des différents paramètres de WISCHMEÏER & SMITH (1978) dans le bassin versant présente une difficulté majeure pour le calcul de l'indice de l'érosivité de pluie. En effet, les stations de la zone d'étude ne disposent pas d'un enregistreur des précipitations maximales d'une durée de 30 minutes. Plusieurs auteurs ont rencontré ce type de difficulté. Par conséquent, des chercheurs partout dans le monde, ont développé, après de nombreuses années de recherches, des équations alternatives et d'autres indices empiriques permettant d'estimer le facteur R (MAAMAR-KOUADRI *et al.*, 2016).

ROOSE (1977) dans ces travaux de recherches en Afrique de l'Ouest a constaté qu'il existe une relation entre l'indice annuel moyen (R_{am}) et la hauteur de pluie annuelle moyenne (H_{am}) durant une période donnée. Le rapport (équation 3) entre l'indice annuel moyen et la pluviométrie moyenne annuelle se présente comme suit :

$$\frac{R_{am}}{H_{am}} = 0,50 \pm 0,05 \quad (\text{équation 3})$$

Ce rapport s'avère particulièrement constant. C'est notamment le cas pour une vingtaine de sites localisés en Côte d'Ivoire, Burkina Faso, Sénégal, Niger, Tchad, Cameroun et Madagascar. Cependant, la constance de ce rapport ne s'observe pas en zone de montagne.

L'érosivité des pluies a été calculée à partir des mesures de 5 stations pluviométriques de l'ANAM à proximité du bassin versant. Le calcul de l'érosivité des pluies de la zone d'étude a été réalisé en appliquant la formule de NGUYEN (1996). En effet, NGUYEN (1996) a suggéré une méthode de mesure du facteur R (équation 4) basée sur les précipitations annuelles en analysant les données pluviométriques sur 54 ans provenant de 253 stations météorologiques à travers le monde.

$$R = 0,548257 * P - 59,9 \quad (\text{équation 4})$$

R est l'érosivité des pluies et P, la pluviométrie annuelle

L'érodibilité des sols (K)

L'indice K ou érodibilité des sols a été l'objet de plusieurs mesures des taux d'érosion sur des conditions standards aux Etats Unis. Les données issues de ces mesures ont permis à WISCHMEIER & SMITH (1978) de développer un modèle. La répétition de ces expérimentations sur différents types de sols a permis d'établir des relations entre les pertes en terre et les propriétés du sol applicables sous des conditions différentes des conditions standard (SADIKI, 2005). L'érodibilité des sols est fonction de la matière organique, de la perméabilité, de la texture et de la structure du sol. WISCHMEIER et al. (1971) ont fait des études sur plus de vingt-trois paramètres et ont proposé un nomogramme pour la détermination de l'érodibilité des sols. ROOSE (1994) définit l'érodibilité d'un sol comme étant sa résistance à la battance de la goutte de pluie et au ruissellement. C'est une mesure de la vulnérabilité des particules de sol au détachement et au transport par la pluie et le ruissellement (TAHIRI et al., 2017). L'indice K se mesure par la formule (équation 5) suivante :

$$K = ((2,1 * 10^{-4} * M^{1,14}) * (12 - A) + 3,25 * (B - 2) + 2,5 * (C - 3))/100 \quad (\text{équation 5})$$

K, est le facteur d'érodibilité ;

M, le facteur granulométrique, = % (2 à 100 microns) * % (100 à 2000 microns) ;

A = % de matières organiques ;

B, le code de la structure du sol (granulaire très fine : 1 ; granulaire fine : 2 ; granulaire moyenne et grossière : 3 ; en block ou massive : 4) ;

C, le code de la classe de perméabilité (rapide : 1 ; modéré à rapide : 2 ; modérée : 3 ; lente à modérée : 4 ; lente : 5 ; très lente : 6).

Le facteur topographique LS

La pente a une incidence importante sur le processus d'érosion hydrique ; le ruissellement est généralement fort et rapide sur des pentes raides causant ainsi une érosion hydrique très grave (FILS et al., 2014). La détermination du facteur topographique (LS) est fonction de la longueur des pentes (L en m) et de leur inclinaison (S en %). LS est déterminé à partir de l'image Aster 30 m de la zone d'étude.

Dans cette étude, l'indice topographique est calculé sur base de l'algorithme d'écoulement multidirectionnel proposé par FREEMANN (1991) à l'aide de l'outil de calcul matriciel sur les SIG. LS a été déterminé par les formules suivantes (équations 6 et 7) :

$$L = \left(\frac{\varepsilon}{22,1}\right)^m \quad (\text{équation 6})$$

ε représente le produit entre l'accumulation du Flux (Flow accumulation) et la taille du pixel (Cell size).

La taille du pixel ou la résolution dans notre étude est de 30 m x 30 m, soit 900 m². La constante de l'équation (6) 22,1 représente une longueur (en mètres) uniforme pour éviter les incertitudes concernant l'influence de la pente sur l'érosion.

Tableau 1.- Variations en m en fonction de la pente.

Pente en %	P < 1	1 ≤ P < 3,5	3,5 ≤ P < 5	P ≥ 5
m	0,2	0,3	0,4	0,5

Pour la détermination de la valeur en m du bassin versant, une classification des pentes en pourcentage a été générée. Les classes des pentes P<1 et 1≤P<3,5 occupent majoritairement l'espace d'étude. Elles couvrent respectivement 40,08 % et 59,4 % de la superficie totale de la zone d'étude. Pour le calcul de la longueur de la

penne, une valeur moyenne de $m = 0,25$ a été définie. L'inclinaison de la penne est déterminée par la formule suivante :

$$S = \left(\frac{\sin(\theta * 0,01745)}{0,09} \right)^{1,4} \quad (\text{équation 7})$$

Avec (θ) la penne exprimée en degré et 0,01745 est une constante pour passer de degré en radian.

Le calcul de l'indice topographique a nécessité la combinaison des facteurs L et S en un seul facteur LS. Le facteur topographique (LS) est fonction de la longueur des pentes (L en m) et de leur inclinaison.

Le facteur C

Le facteur C de l'équation de WISCHMEIER est le rapport entre l'érosion mesurée sous une culture bien précise et celle que l'on observe sur la parcelle nue standard et exprime l'interaction entre la plante et les techniques culturales (ROOSE, 1975). La détermination du facteur C s'est faite en fonction des types d'occupation des terres dans le bassin versant. Une carte de dynamique d'occupation des terres a été réalisée à base des images Landsat (30 m de résolution) à cet effet. Sept classes ont été déterminées : les zones de cultures, l'habitat, les plans d'eau, les zones nues, la formation ripicole, les savanes arborée et arbustive. Ces unités d'occupation ont été déterminées sur base de la nomenclature nationale d'occupation des terres de 1996 par le Programme National de Gestion de l'Information sur le Milieu (PNGIM). C varie de 1 sur sol nu, soit sa valeur maximale en termes d'efficacité des processus érosifs, à 1/1000ième sous forêt, 1/100ième sous prairies et plantes de couverture, 1 à 9/10ième sous cultures sarclées (PAYET & al., 2011). La détermination des valeurs de C dans le bassin versant supérieur de la Sissili est faite à base des études de ROOSE (1977) en Afrique de l'Ouest dont le Burkina Faso.

Les spéculations les plus cultivées dans le bassin sont :

- le maïs, le mil et le sorgho qui occupent environ 60 % de la superficie cultivée ;
- le coton utilise approximativement 25 % de l'espace emblavé ;
- le sésame et autres spéculations occupent respectivement 10 % et 5 %.

Toutes ces spéculations représentent les zones de cultures de l'espace d'étude. Vu la difficulté de faire la répartition de ces cultures dans le bassin versant, une moyenne de C a été ainsi élaborée pour l'ensemble de ces produits. La valeur de C est égale à 0,5. Les taux de recouvrement des formations végétales estimés sont les suivants : un recouvrement de 95 % est estimé pour la formation ripicole, 70 % pour la savane arborée et la savane arbustive avec 50 %. En fonction de la lecture des auteurs qui ont mené des études en Afrique de l'Ouest, une valeur moyenne de C a été attribuée aux différentes formations végétales. L'indice du couvert végétal C représente respectivement 0,006 ; 0,03 et 0,05 pour la formation ripicole, les savanes arborée et arbustive. L'habitat et les zones nues ont une valeur de C égale à 1. Les plans d'eau ont un indice de dégradation C égal 0.

Le facteur P

Le facteur P tient compte des techniques de conservation du sol telles que les pratiques antiérosives. Le labour en courbe de niveau, le buttage, le billonnage en courbe de niveau, les cordons pierreux, les bandes enherbées, les haies et le paillage sont des techniques culturales mises en œuvre en vue de diminuer le ruissellement et l'érosion. La valeur du facteur P est comprise entre 0 et 1 (Tableau 2), où 1 représente les zones pour lesquelles les pratiques antiérosives sont absentes. Il n'y a aucune étude de modélisation du facteur P. Seules des observations de terrain permettent de le calculer par comparaison de la perte de sol avec ou sans les pratiques antiérosives (MOSTEPHAOUI et al., 2013).

Tableau 2.- Valeur générale de P en fonction des pratiques de conservation

Pratique de conservation	Valeur de P
Aucune pratique de conservation	1,00
Culture en penne transversale	0,75
Culture suivant les courbes de niveau (pentes de 3 à 8 %)	0,50
Culture en bandes alternantes, en penne transversale (pentes de 3 à 8 %)	0,38
Culture en bandes alternantes, en courbes de niveau (pentes de 3 à 8 %)	0,25

Source : (WALL et al., 2002).

La quasi-totalité du bassin versant supérieur de la Sissili (99,97 %) a une pente comprise entre 0 et 7 %. En superposant les couches de l'occupation des terres et celles des pentes du bassin versant, on constate que toutes les zones de culture se trouvent sur des pentes comprises entre 0 et 7 %.

Les observations faites sur la zone d'étude révèlent que les cultures sur billon sont les pratiques antiérosives dans le bassin versant. L'inexistence d'une base de données sur les pratiques antiérosives et la difficulté de sa mise en place dans le bassin versant nous ont conduit à attribuer une valeur 1 de P sur les zones non aménagées et 0,55 sur les zones de culture.

RÉSULTATS

L'érosivité des pluies (R)

L'érosivité des pluies calculées par la formule de NGUYEN (1996) a permis d'établir la Figure 2. L'érosivité des pluies R varie de 492,85 à 362,64 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.an⁻¹, du Sud au Nord du bassin versant, avec une moyenne de 417,47 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.an⁻¹.

L'érodibilité des sols (K)

L'érodibilité varie de 0,13 à 0,21 t.h/ha/ha.MJ.mm. Deux classes d'érodibilité des sols ont été identifiées (Figure 3). Il s'agit de la classe 0,1 à 0,2 t.h/ha/ha.MJ.mm, couvrant 79,94 % du bassin versant et celle de 0,2 à 0,3 t.h/ha/ha.MJ.mm avec 20,06 % de la superficie totale.

Le facteur topographique (LS)

L'incidence de la longueur et l'inclinaison de la pente (LS) du bassin versant supérieur de la Sissili varie entre 0 et 3,12. Sa valeur moyenne est de 0,092 (Figure 4).

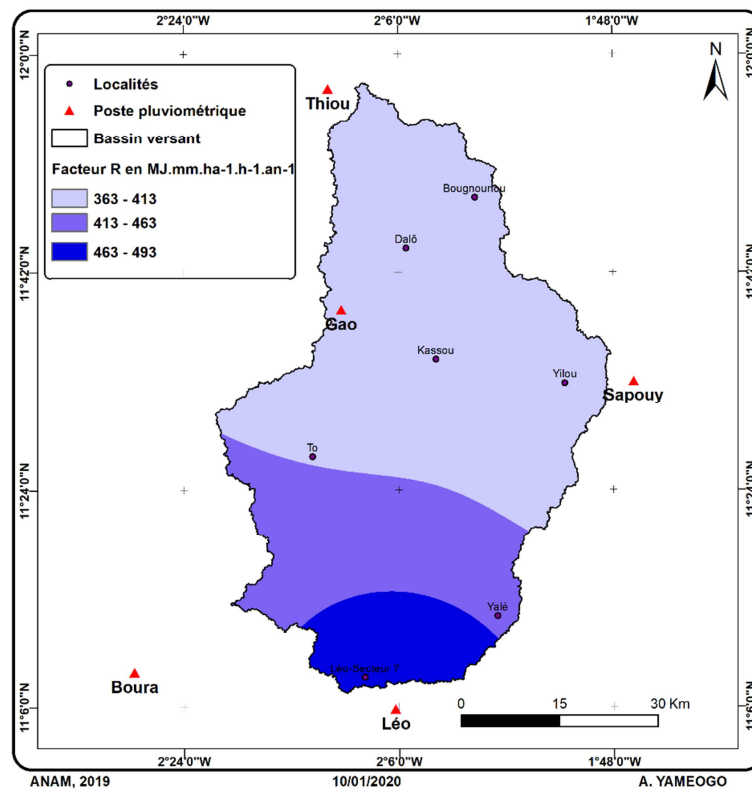


Figure 2.- L'érosivité des pluies du bassin versant de la Sissili.

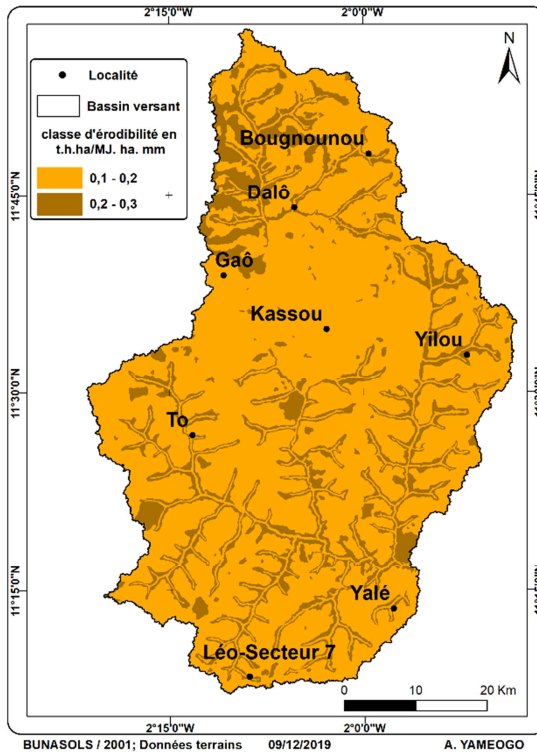


Figure 3.- Érodibilité des sols K

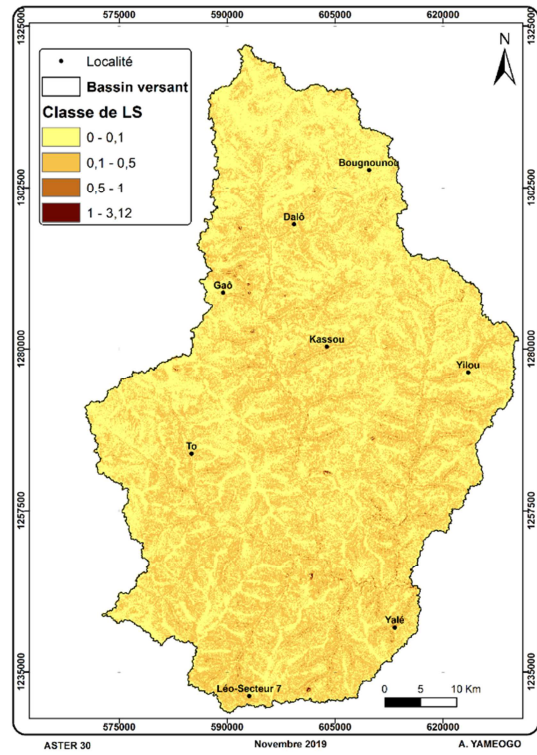


Figure 4.- Érosion liée au facteur topographique LS

Quatre classes de LS ont été délimitées (Figure 5). On a les classes 0 à 0,1, 0,1 à 0,5, 0,5 à 1 et 1 à 3,12 (Figure 5).

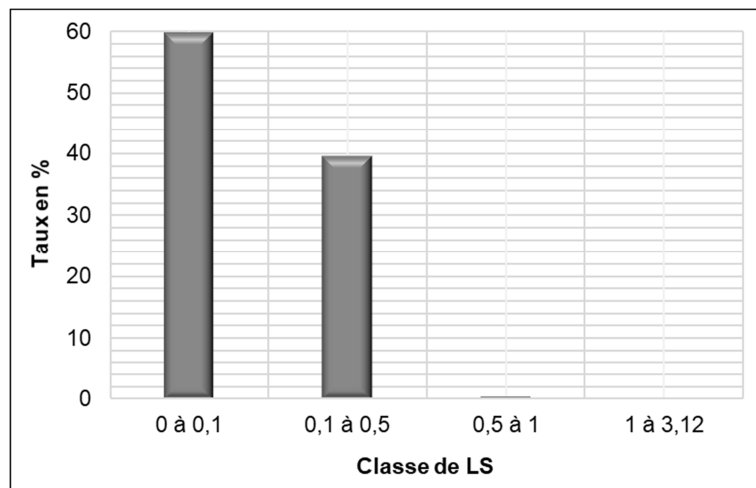


Figure 5.- Répartition par classe du facteur topographique LS.

La classe 0-0,1 occupe la majeure partie du bassin versant. Elle couvre environ 59,79 % de sa superficie totale.

Le facteur du couvert végétal (C)

Plus de la moitié du bassin versant est occupée par l'homme à travers les zones de culture représentant 57,8 % de la superficie totale et les habitats à 0,5 % (Figure 6). L'occupation humaine est suivie par les formations végétales telles que la savane arbustive (24,5 %), la savane arborée (14,2 %) et la formation ripicole (1,1 %). Les zones nues ou érodées et les plans d'eau couvrent respectivement 1,7 % et 0,1 %. L'occupation des terres a permis d'élaborer la carte du facteur C du bassin versant (Figure 7).

Cinq classes du risque d'érosion lié à la couverture végétale (facteur C) ont été déterminées. L'indice du risque d'érosion est compris entre 0 et 1 et il est catégorisé en cinq niveaux de gravité. Le risque est très faible ou absent pour $C = 0$; il est faible, moyen ou fort pour C compris respectivement entre 0,001 et 0,009, 0,01 et 0,09, 0,1 et 0,9. Il est très fort pour $C = 1$.

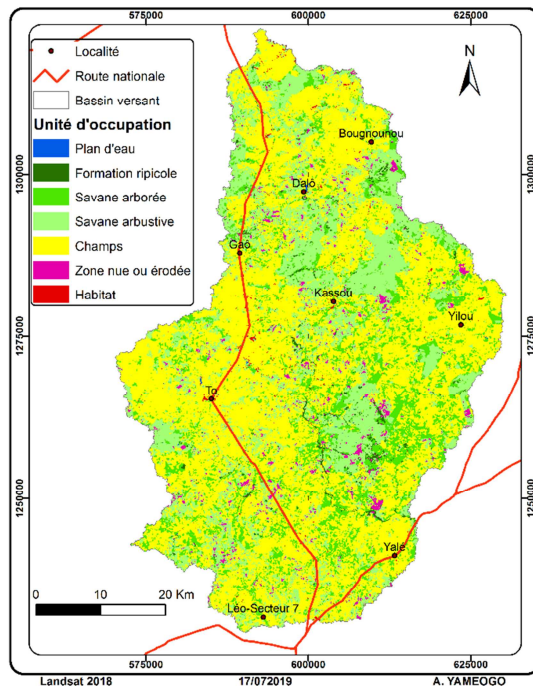


Figure 6.- Occupation des terres en 2018.

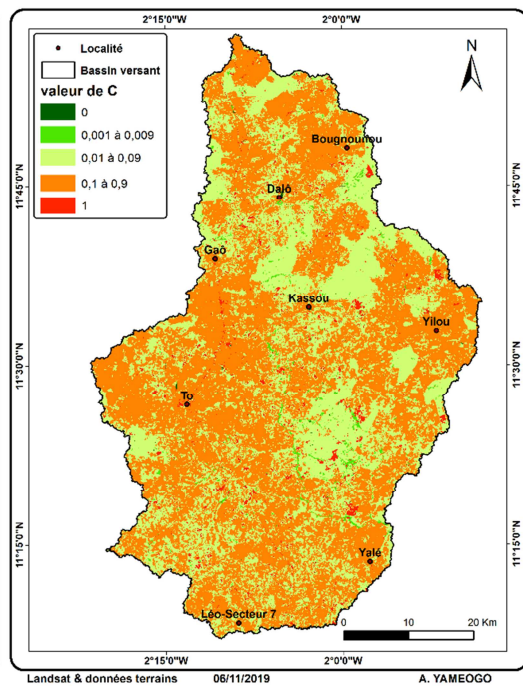


Figure 7.- Indice du couvert végétal (C).

Les pratiques agricoles (P)

Les zones aménagées représentent les champs et les zones non aménagées, les surfaces dénudées, les zones d'habitation et les zones forestières telles que la formation ripicole et les savanes arborée et arbustive (Figure 8). Les zones aménagées occupent 57,86 % du bassin versant contre 42,14 % pour celles non aménagées.

Le potentiel de l'érosion hydrique

Le croisement des différentes couches des facteurs de RUSLE a permis de spatialiser le risque d'érosion à l'échelle du bassin versant supérieur de la Sissili en 2018 (Figure 9). Le taux moyen d'érosion du bassin versant est de 1,22 t/ha/an.

Cinq classes du taux d'érosion ont été déterminées (Figure 10). Ces classes sont 0 à 1 t/ha/an (faible), 1 à 5 t/ha/an (moyen), 5 à 10 t/ha/an (assez fort), 10 à 20 t/ha/an (fort) et ≥ 20 t/ha/an (très fort). Le taux moyen d'érosion du niveau faible est de 0,27 t/ha/an sur 61,39 % du bassin contre 2,10 t/ha/an pour le niveau moyen (34,97 % de la superficie totale). Les niveaux assez fort, fort et très fort couvrent 3,64 % de la zone d'étude avec respectivement un taux de 6,72 t/ha/an (2,89 %), 13 t/ha/an (0,64 %) et 31,03 t/ha/an (0,11 %). La perte totale en sol du bassin versant est estimée à 392.379,82 t/an.

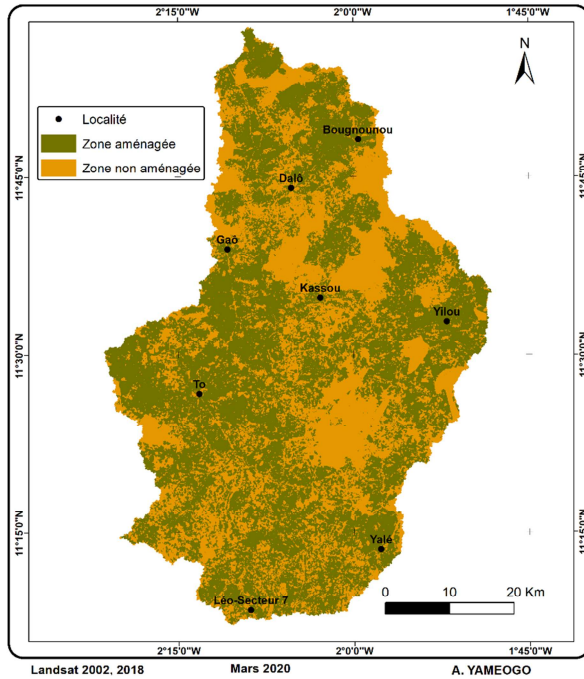


Figure 8.- Pratique agricole (P) en 2018.

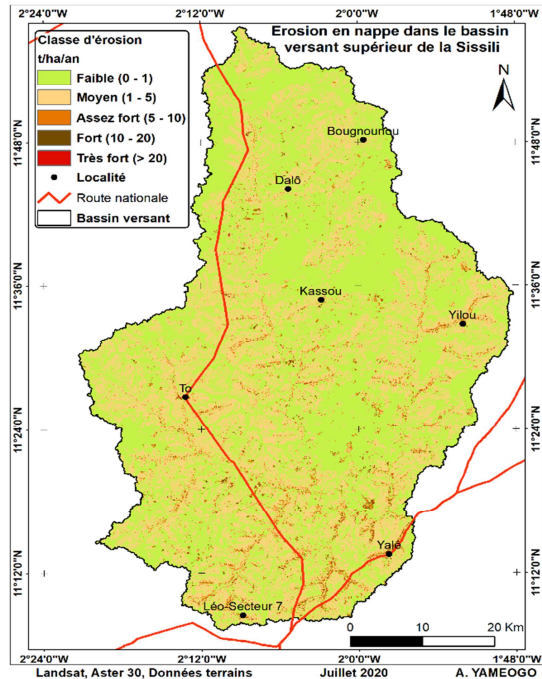


Figure 9.- Érosion des sols en 2018.

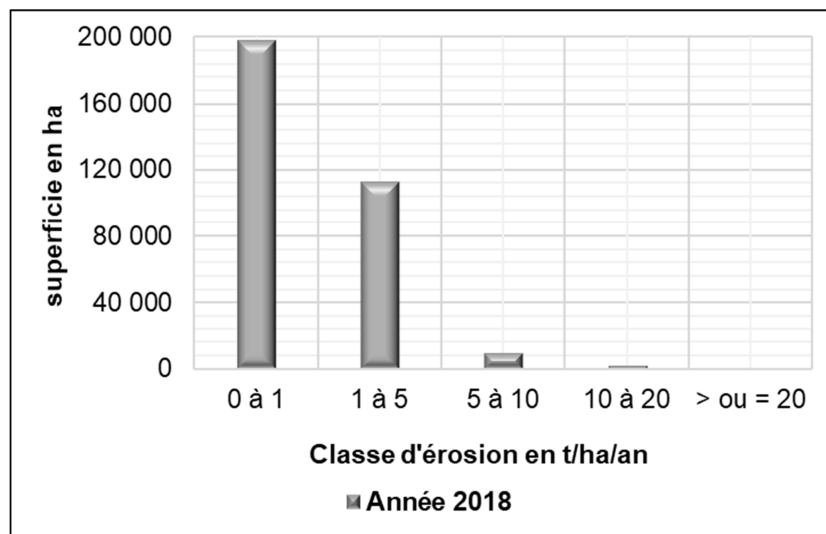


Figure 10.- Répartition des classes d'érosion en fonction de la superficie.

DISCUSSION

Il n'y a pas d'érosion en nappe sans ruissellement pour déplacer les particules de terre touchées par la pluie (ROOSE, 1981). Le climat joue un rôle primordial dans la dynamique de l'érosion hydrique des sols, par le biais des précipitations (fréquence, durée et intensité) (FILS et al., 2014). Les résultats de l'érosivité des pluies de la zone étudiée (363 à $493 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{an}^{-1}$) cadrent avec ceux de ROOSE et al. (1974) qui indiquent que la valeur de R varie entre 200 et $650 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{an}^{-1}$ (Haute-Volta, actuel Burkina Faso).

L'érodibilité des sols évolue au cours des années avec l'utilisation des terres en fonction de la minéralisation des matières organiques et des remontées d'éléments provenant du sous-sol, plus riche en argile, en R_2O_3 ou en cailloux (ROOSE & SARRAILH, 1989). Pour ces auteurs (p. 27), « la variabilité de la sensibilité à l'érosion des sols tropicaux est importante ($K = 0,01$ à $0,3$) ». L'érodibilité des sols K du bassin versant supérieur de la Sissili variant entre $0,13$ à $0,21 \text{ t.h.ha/ha.MJ.mm}$ concorde avec les résultats de ROOSE & SARRAILH (1989) mesurés en Afrique de l'Ouest.

Les effets de la longueur et de l'inclinaison de pente (LS) sur l'érosion varient de 0 à 5 et peut atteindre jusqu'à 20 en région de montagnes (ROOSE, 1994). Dans l'espace d'étude, les valeurs de LS sont comprises entre 0 et 3,12 avec une moyenne de 0,092. Ainsi, 99,49 % de la zone d'étude est comprise entre 0 et 0,5. Ce qui montre que la pente et sa longueur ont une faible influence sur l'érosion hydrique dans le bassin versant. C'est aussi le cas à Gampèla, dans la région du centre du Burkina Faso, où la valeur de LS est de 0,112 (ROOSE, 1972). Cependant, ces résultats sont largement inférieurs à ceux obtenus par OUEDRAOGO et al. (2019) dans l'ouest du pays dont la valeur de LS dépasse 17.

Pour ROOSE (1975), l'intensité de l'érosion dépend de la couverture végétale quels que soient l'agressivité climatique, la pente et le sol. Selon PAYET (2015), l'homme transforme rapidement les milieux et contribue à amplifier le processus d'érosion. C'est le cas du bassin versant supérieur de la Sissili dont plus de 57 % de la superficie a été transformée en champs aux dépens des formations végétales (Figure 11).



Figure 11.- Un champ exposé à l'érosion hydrique.
© Augustin YAMEOGO (Juillet 2019)

Les actions anthropiques à travers les pratiques agricoles telles que les défriches, l'utilisation des herbicides et l'accroissement rapide de la population (taux d'accroissement 3,49 %) augmentent le risque d'érosion de la zone d'étude. «L'augmentation des besoins vitaux et sociaux a entraîné l'extension des défrichements pour les cultures et l'intensification du pâturage qui, à leur tour, ont déclenché « l'érosion accélérée» (E = 10 à 700 t/ha/an) » (ROOSE, 2004). Environ 0,75 % du bassin versant avec un taux d'érosion supérieur à 10 t/ha/an. Elle couvre une surface de 2.433,41 ha.

Le couvert végétal est le facteur conditionnel le plus important dans le processus de l'érosion hydrique (E. PAYET, 2015). L'érosion sur les terres cultivées est 10 fois supérieure à celle qui se produit sur les pâturages et 100 fois supérieure au niveau de la forêt. Une diminution de 30 % de la forêt multiplie l'érosion par 5 (BAHARI IBRAHIM, 2013 ; BATTY & DEPRAETERE, 2007). Les actions des gouttes de pluie et du ruissellement sur le sol sont fonctions de la topographie, de la nature du sol, du couvert végétal et des techniques culturales (DRISS & BRAHIM, 2018; THOMAS et al., 2018; ZERIHUN et al., 2018; JAZOULI et al., 2019; OUEDRAOGO et al., 2019; NEHAÏ & GUETTOUCHE, 2020). L'action anthropique est donc responsable de l'érosion accélérée du bassin versant supérieur de la Sissili.

CONCLUSION

Cette étude a eu pour objet d'estimer l'érosion par ruissellement en nappe en appliquant l'approche SIG/RUSLE dans le bassin versant supérieur de la Sissili. Ce qui a permis de cartographier les différents facteurs de l'érosion hydrique tels que l'érosivité des pluies, l'érodibilité des sols, le facteur topographique LS, l'indice

du couvert végétal C et les pratiques agricoles P. La superposition de ces facteurs fait ressortir un taux moyen d'érosion de 1,22 t/ha/an et une perte totale de 392.379,82 t/an de terres. La carte d'érosion hydrique du bassin versant supérieur de la Sissili est un outil d'aide à la prise de décisions pour de bonnes pratiques de conservation des eaux et des sols.

BIBLIOGRAPHIE

- BAHARI IBRAHIM M. (2013). *Dynamique hydrogéomorphologique actuelle du kori Mountséka Centre-sud, Niger*. Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni, Niamey, République du Niger, 228 p.
- BATTY A. & DEPRAETERE C. (2007). *Panorama des méthodes d'analyse de l'érosion dans un contexte insulaire*. CRISP (Coral Reef InitiativeS for the Pacific), 28 p.
- DA D.E.C. (2007). La lutte anti-érosive en pays lobi sous climat tropical sud-soudanien. *Rev. Environ. Univ. Lomé*, **3**: 5-15.
- DRISS E.H. & BRAHIM A. (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). *European Scientific Journal*, **14**(5): 1857-7881. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n5p373>
- FILS S.C.N., ETOUNA J. & HAKDAOUI M. (2014). Apport de l'OT et du SIG à la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans le bassin versant productif de Sanguéré, Nord-Cameroun , Afrique Centrale [Contribution of EO and GIS to the mapping of water-erosion risk areas in the productive]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, **9**(1): 449-479.
- FREEMANN T.G. (1991). Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. *Computer and Geoscience*, **17**(3): 413–422. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0098-3004\(91\)90048-I](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0098-3004(91)90048-I)
- GOMGNIMBOU P.K.A., SAVADOGO W.P., NIANOGO J.A. & MILLOGO-RASOLOUDIMBY J. (2010). Pratiques agricoles et perceptions paysannes des impacts environnementaux de la cotonculture dans la province de la KOMPIENGA (Burkina Faso). *Sciences & Nature*, **7**(2): 165–175.
- JAZOULI A.EL, BARAKAT A., KHELLOUK R., RAIS J. & BAGHDADI M.EL. (2019). Remote Sensing Applications : Society and Environment Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, **13**: 361–374. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.12.004>
- MAAMAR-KOUADRI K., KOURI L. & CHEBOUTI Y. (2016). Utilisation de l'Indice d'Arnoldus pour cartographier les risques d'érosivité des pluies dans le Tell oranais (Algérie). *Geo-Eco-Trop*, **40**(4): 287–296.
- MARHIK A., LAFTOUHI N.-E., SOULAIMANI A. & FNIGUIRE F. (2015). Quantification et evaluation de l'érosion hydrique en utilisant le modèle Rusle et Déposition Intégrés dans un Sig. Application dans le bassin versant N'Fis dans le Haut Atlas de Marrakech (Maroc). *European Scientific Journal*, **11**(29): 340–356.
- MELIHO M., KHATTABI A., MHAMMDI N. & HONGMING Z. (2016). Cartographie des risques de l'érosion hydrique par l'équation universelle révisée des pertes en sols, la télédétection et les Sig dans le bassin versant de l'Ourika (Haut Atlas, Maroc). *European Scientific Journal*, **26**(32): 69–79. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n32p277>
- MOSTEPHAOUI T., MERDAS S., SAKAA B. & HANAFI M.T. (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 (Boussaâda). *Journal Algérien des Régions Arides*, **11**: N° spécial 2013, 17 p.
- NEHAÏ S.A. & GUETTOUCHE M.S. (2020). Soil loss estimation using the revised universal soil loss equation and a GIS-based model : a case study of Jijel Wilaya , Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, **13**(152): 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12517-020-5160-z>
- 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.
- OUÉDRAOGO B., KABORÉ O. & KABORÉ M. (2019). Cartographie quantitative de l'érosion des sols par approche SIG/RUSLE dans la Commune de Karangasso vigué (Burkina Faso). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **13**(3): 1638–1653.
- PAYET É. (2015). *Etude des dynamiques de dégradation des sols, à l'échelle des bassins versants côtiers de l'océan Indien*. Thèse de Doctorat, Géographie, Université de la Réunion, 315 p.
- PAYET É., DUMAS P. & PENNOBER G. (2011). 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*, **11**(3): 25. <http://journals.openedition.org/vertigo/12591>
- ROOSE E.J. (1972). Comparaison des causes de l'érosion et de principes de lutte antiérosive en Région tropicale humide, tropicale sèche et Méditerranéenne. *Projet de Communication aux Journées d'Etude de la 1^{ère} Section de la Commission Internationale du Génie Rural*, 32.

- ROOSE E.J. (1975). Application de l'équation de prévision de l'érosion de Wischmeier et Smith en Afrique de l'Ouest. *Communication au Colloque sur la Conservation et l'Aménagement du sol dans les Tropiques Humides, Adiopodoumé*, 27. <https://doi.org/1005963107> [pii]r10.1073/pnas.1005963107
- ROOSE E. (1977). *Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest, vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales*. Travaux et Documents de l'O.R.S.T.O.M., No. 78, 108 p
- ROOSE E. (1981). *Dynamique actuelle de sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale*. Travaux et Documents de l'O.R.S.T.O.M., N° 130, Paris (France), 580 p.
- ROOSE E. (1994). *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols* (GCES), ROME, FAO (70), 438 p.
- ROOSE E. (2004). Evolution historique des stratégies de lutte antiérosive. Vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols, GCES. *Sécheresse*, **15**(1): 9–18. .
- ROOSE E.J., ARRIVETS J. & POULAIN J.F. (1974). *Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur deux sols ferrugineux de la région Centre Haute-Volta. Bilan de trois années d'observation à la Station de Saria*. Abidjan, 136 p.
- ROOSE E. & SARRAILH J.M. (1989). Erodibilité de quelques sols tropicaux. Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. *Cahiers - ORSTOM, Série Pédologie*, **25**(1–2): 7–30.
- SADIKI A. (2005). *Estimation de l'état de dégradation des sols dans le bassin versant de l'oued Boussouab, Maroc nord oriental : Application du modèle empirique (USLE), de la technique du radio-isotope 137Cs et de la susceptibilité magnétique*. Université Mohammed Premier, 289 p. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3420.6246>
- TAHIRI M., TABYAOUI H., ELHAMMACHI F., ACHAB M., TAHIRI A. & ELHADI H. (2017). Quantification de l'érosion hydrique et de la sédimentation à partir de modèles empiriques dans le bassin versant de Tahaddart (Rif nord occidental, Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de La Terre*, **39**: 87–101.
- TAVARES J.D.P. (2010). *Erosion des sols du Cap Vert : processus et quantification à l'échelle de trois Bassins Versants de l'île de Santiago*. Université de Bourgogne, Sciences de la Terre, 228 p..
- THOMAS J., JOSEPH S. & THRIVIKRAMJI K.P. (2018). Estimation of soil erosion in a rain shadow river basin in the southern Western Ghats, India using RUSLE and transport limited sediment delivery function. *International Soil and Water Conservation Research*, **6**(2): 111–122. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.12.001>
- WALL G.J., COOTE D.R., PRINGLE E.A. & SHELTON I.J. (2002), (Eds.) *RUSLE-CAN — Équation universelle révisée des pertes de sol pour application au Canada. Manuel pour l'évaluation des pertes de sol causées par l'érosion hydrique au Canada*. Direction générale de la Recherche, Agriculture et Agroalimentaire, Canada, Numéro de contribution AAC2244F, 117 p..
- WISCHMEIER W.H., JOHNSON C.B. & CROSS B.V. (1971). A soil erodibility Nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*, **26**(5): 189–192.
- WISCHMEIER W.H. & SMITH D.D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion losses - a guide to conservation planning*. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, N° 537, 58 p.
- ZERIHUN M., MOHAMMED S.M., SEWNET D., ADEM A.A. & LAKEW M. (2018). Assessment of soil erosion using RUSLE, GIS and remote sensing in NW Ethiopia. *Geoderma Regional*, **12**: 83-90.