

INSTITUT DE GEOGRAPHIE ET AMENAGEMENT DU TERRITOIRE
Laboratoire Pierre PAGNEY
Climat, Eau, Ecosystème et Développement
(LACEEDE)



CLIMAT ET DEVELOPPEMENT

Numéro 32

JUIN 2022



Laboratoire Pierre PAGNEY –Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE)
B.P. : 526 Cotonou, Tél. (229) : 21 36 00 74 Poste 148 (République du Bénin)

CLIMAT ET DEVELOPPEMENT

Revue scientifique semestrielle éditée par

Laboratoire Pierre PAGNEY Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE)

Directeur de Publication

Pr. Constant HOUNDENOU

Rédacteur en Chef

Pr. Placide G. CLEDJO

Conseiller Scientifique

Pr. Euloge OGOUWALE

Comité de Rédaction

Pr. Expédit W. VISSIN
Pr. Léocadie ODOULAMI
Pr. Ibouaraïma YABI
Pr. Ernest AMOUSSOU
Pr. Henri S. TOTIN VODOUNON
Dr (MC) Cyr Gervais ETENE
Dr (MA) Patrice M. BOKO

Comité scientifique

Pr. Michel BOKO (Bénin)
Pr. Christophe S. HOUSSOU (Bénin)
Pr. Joseph SAMBA KIMBATA
(Congo Brazzaville)
Pr. Pierre CAMBERLIN (France)
Pr. Tiou TCHAMIE (Togo)
Pr. Michel MAKOUTODE (Bénin)
Pr. Fulgence AFOUDA (Bénin)
Pr. Brice SINSIN (Bénin)
Pr. Yves RICHARD (France)
Pr. Téléphore BROU (France)
Pr. Adoté Blim BLIVI (Togo)
Pr. Akpovi AKOEGNINOU (Bénin)
Pr. Abel AFOUDA (Bénin)
Pr. Patrick A. EDORH (Bénin)
Pr. Odile DOSSOU-GUEDEGBE (Bénin)
Pr. Brice TENTE (Bénin)

Editeur: LACEEDE

ISSN: 1840-5452

ISBN-10: 99919-58-64-9

**B.P.: 526 Cotonou,
Tél. (229): 21 36 00 74 Poste 148
(République du Bénin)
Portable (229) 97 84 66 45**

SOMMAIRE / CONTENTS

5. Analyse de la valorisation touristique des forêts sacrées pour le développement en pays Wémé

(Analysis of the tourism development of sacred forests for development in Wémé country)

(SENOU L. P.; MAHAMAN K.; TCHINHOUN E. ; BOKO N. P. M.)

16. Analyse multicritère de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant du Kou, Burkina Faso

(Multi-criteria analysis of soil vulnerability to water erosion in the Kou watershed, Burkina Faso)

(KAGAMBEGA P. Z. & DIPAMA J.-M.)

29. Tendances actuelles des ressources phylogénétiques face aux risques climatiques dans la région de Maradi au Niger

(Current trends in plant genetic resources in the face of climate risks in the Maradi region of Niger)

(MAHAMAN K. ; SENOU L. P.; ADAM T.)

41. Catastrophes hydroclimatiques : différenciation et stratégies d'adaptation dans la basse vallée de L'Ouémé au Bénin

(Hydroclimatic disasters: differentiation and adaptation strategies in the lower Ouémé valley in Benin)

(ABASSI A. S. ; KODJA D. J.; AKOGNONGBE H. S. A. S. J.; T. K. HOUNGNIBO; TOTIN VODOUNON H. S.; AMOUSSOU E.)

56. Stratégies d'adaptation des pêcheurs face aux changements climatiques dans la commune de Tchaourou

(Adaptation strategies of fishermen in the face of climate change in the commune of Tchaourou)

(SIDI OROU MASSARA Z., TCHANTIPO S. S., IMOROU TOKO I. ET BOKONON-GANTA E. B.)

65. Connaissances, attitudes et pratiques d'hygiène et assainissement dans la commune de Ouidah

(Knowledge, attitudes and practices of hygiene and sanitation in the commune of Ouidah)

(BLALOGOE P. C.)

74. Vulnérabilité des productions vivrières à la variabilité climatique sur le plateau de Zagnanado au Sud Est du Bénin

(Vulnerability of food production to climate variability on the Zagnanado plateau in southeastern Benin)

(WOKOU G. C.)

90. Evaluation des connaissances, attitudes et pratiques en matière de gestion de l'eau de boisson dans la commune de Ouidah

(Assessment of knowledge, attitudes and practices regarding drinking water management in the commune of Ouidah)

(YETONGNON J. E. G., GBENOU V. V., KOUMASSI D. H.)

105. Dynamique des paramètres agroclimatiques dans la commune de Boromo (Burkina Faso)

(Dynamics of agroclimatic parameters in the municipality of Boromo (Burkina Faso)

(LOMPO M.)

ANALYSE MULTICRITERE DE LA VULNERABILITE DES SOLS A L'EROSION HYDRIQUE DANS LE BASSIN VERSANT DU KOU (BURKINA FASO)

KAGAMBEGA PATINDSAONGO ZEPHIRIN ; DIPAMA JEAN-MARIE

Institut des Sciences des Sociétés (INSS), kagambegazephirin@gmail.com ; Université Joseph KI-ZERBO, jmdipama@yahoo.fr

Résumé : L'érosion hydrique est aujourd'hui une réalité dévastatrice dans le bassin versant du Kou. Elle s'observe à toutes les échelles et ses manifestations vont en s'aggravant. En plus des agressivités pluviométriques de ces dernières années, les conditions biophysiques, les modes d'exploitation des ressources naturelles exposent d'avantage le bassin versant du Kou à la dégradation. Les dépôts sédimentaires dans le bassin contribueraient à réduire la capacité de stockage en eau de son cours d'eau principal. La présente étude a pour objectif l'analyse de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant du Kou. La méthodologie s'appuie sur l'analyse multicritère des différents facteurs de l'érosion hydrique dans un système d'information géographique. Ces facteurs sont : l'érosivité des pluies, l'érodibilité des sols, l'inclinaison et la longueur de la pente et l'occupation du sol.

De ce travail, il ressort que 24,69 % des sols dans le bassin ont un fort niveau de vulnérabilité à l'érosion hydrique, 55,49 % avec un niveau de vulnérabilité moyenne à l'érosion hydrique et 19,51 % détenant un faible niveau de vulnérabilité à l'érosion hydrique

Mots clés : Bassin versant, analyse multicritère, SIG, érosion hydrique.

Abstract: Multi-criteria analysis of soil vulnerability to water erosion in the Kou watershed, (Burkina Faso). Water erosion is today a devastating reality in the Kou watershed. It is observed at all scales and its manifestations are getting worse. In addition to the aggressive rainfall of recent years, the biophysical conditions, the modes of exploitation of natural resources further expose the Kou watershed to degradation. Sediment deposits in the basin would contribute to reducing the water storage capacity of its main river. This study aims to analyze the vulnerability of soils to water erosion in the Kou watershed. The methodology is based on the multi-criteria analysis of the different factors of water erosion in a geographic information system. These factors are: the erosivity of the rains, the erodibility of the soil, the inclination and the length of the slope and the land use.

From this work, it appears that 24.69% of the soils in the basin have a high level of vulnerability to water erosion, 55.49% with a level of medium vulnerability to water erosion and 19.51% holding a low level of vulnerability to water erosion.

Keywords: Watershed, multi-criteria analysis, GIS, water erosion.

Introduction

A l'instar de tout le Sahel, le Burkina Faso connaît de graves problèmes de dégradation des terres résultant de la combinaison des facteurs anthropiques (J. Collinet, C. Valentin, 1979; G. Serpentié, et al., 1992) et climatiques (J. Albergel, 1987; P. Carbonnel, P. Hubert, 1992). L'érosion hydrique est la forme de dégradation la plus répandue dans le pays. Il va de l'érosion aréolaire et du décapage localisé jusqu'au ravinement. La faible épaisseur des sols et la précarité du recouvrement végétal, conjuguées au caractère torrentiel des pluies sont à l'origine de cette dégradation. Environ 50% du territoire burkinabé sont soumis à une érosion hydrique élevée à très élevée. Cependant, 30% des superficies sont peu concernées par ce phénomène (SP/CONNED 2010).

L'érosion hydrique, phénomène majeur à l'origine de la dégradation des sols et de la baisse de productivité des terres cultivables (E. Roose, 1984), résulte de l'action de la pluie, aussi bien en milieu naturel que sous influence humaine. En conséquence, la problématique de l'érosion hydrique nécessite la recherche de solutions susceptibles d'assurer la conservation des sols. Le classement des terres en fonction de leur vulnérabilité à l'érosion, de même que la mise au point de modèles d'érosion régionale (R. Bou Kheir, et al., 2001), font partie des stratégies définies à cet effet. Dans le cas des deux dernières études citées, le caractère spatial de l'érosion hydrique

est mis en évidence à partir de l'intégration de données multi-sources dans un système d'information géographique (SIG). La présente étude a pour objectif l'analyse de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant du Kou à travers une analyse multicritère sous SIG.

1. Localisation de la zone d'étude

Le bassin versant du Kou (Figure 1) est situé à l'Ouest du Burkina Faso dans la région des Hauts Bassins.

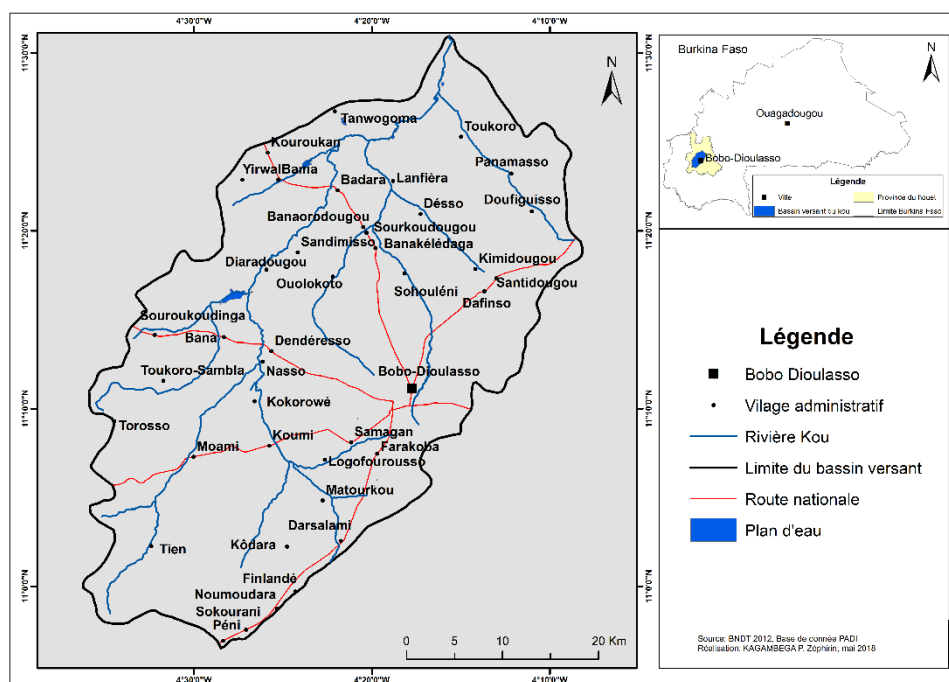


Figure 1 : Bassin versant du Kou

Il est à cheval sur trois communes à savoir les communes de Bama, Bobo-Dioulasso et de Pèni. Ce bassin est l'espace géographique qui draine la rivière Kou et abrite l'agglomération urbaine de Bobo Dioulasso. D'une superficie de 1823 km², il est situé entre les longitudes 4° 08' W et 4° 36' W et les latitudes 10° 52' N et 11° 32' N.

2. Méthodologie

L'approche adoptée dans le cadre de cette recherche est une combinaison d'approches quantitatives, qualitatives et systémique.

2.2. Collecte et traitement des données

Les matériels utilisés pour ce travail sont composées des images Landsat 8 OLI-TIRS du 10 novembre 2017 avec une résolution de 30m téléchargées sur le site web de United States Geological Survey (USGS) (<http://glovis.usgs.gov/>), d'une image ASTER (modèle numérique de terrain) de résolution 30m (<http://www.gdem.aster.jp>), de la cartographie des sols du Bureau National des Sols (BUNASOLS) du Burkina et des données climatiques de l'Agence Nationale de la Météorologie (ANAM). En termes d'outil, un GPS a été utilisé pour la prise des coordonnées sur le terrain. Au niveau logiciel, ArcGIS10.4 a été utilisé comme logiciel de système d'information géographique et ENVI 5 comme logiciel de télédétection. La télédétection a été utilisée pour la cartographie de l'occupation des terres.

2.3. Evaluation des facteurs de l'érosion hydrique

L'étude de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant du Kou est basée sur l'analyse des différents facteurs. Quatre facteurs principaux (W.H. Wischmeier et D.D. Smith, 1978) ont été considérés : l'érosivité des pluies ou agressivité des gouttes de pluies ; l'érodibilité des sols ; l'occupation du sol ; la pente topographique. Ce choix est fait en s'appuyant sur des études relatives à l'érosion des sols (E. Roose *et al.*, 1996; O. Talbi *et al.*, 2002 ; M. Mazour 2004; B. Morsli *et al.*, 2004 ; M. Boughalem *et al.*, 2013 ; B. Ouédraogo *et al.*, 2019). Ces mêmes auteurs s'accordent pour considérer ces facteurs déclenchant de l'érosion, comme étant les plus pertinents et les plus discriminants.

2.3.1. Erosivité de la pluie

La pluie est un agent essentiel de l'érosion hydrique. L'érosivité de la pluie peut être définie comme son aptitude à provoquer l'érosion. Elle dépend surtout de l'intensité de pluie ou de l'énergie cinétique qui en résulte directement (P. Stengel et S. Gelin 1998).

L'estimation du facteur R nécessite des enregistrements de précipitations à des résolutions élevées et aux pas de temps réduits. À défaut de disponibilité de données nécessaires pour le calcul du facteur R par la méthode directe, d'autres auteurs ont développé plusieurs protocoles statistiques qui se focalisent sur les précipitations journalières, mensuelles et annuelles pour déterminer le facteur R. c'est le cas de la formule de G. Renard et R. Freimund R. (1994) utilisée dans le cadre de cette étude pour l'estimation de l'érosivité de la pluie dans le bassin versant. Le choix de cette équation se justifie par la disponibilité des données pluviométriques annuelles sur l'ensemble des stations météorologiques du bassin. Ainsi R se traduit par l'équation :

$$P < 850 \text{ mm alors, } R = 0,0483P^{1,610}$$

$$P > 850 \text{ mm alors, } R = 587,8 - 1,219P + 0,004105P^2$$

Avec P, la précipitation annuelle en mm

2.3.2. Erodibilité des sols

L'érodibilité d'un sol est une estimation, fondée sur les caractéristiques physiques du sol, de la vulnérabilité de ce sol à l'érosion. Elle est fonction de la résistance inhérente au détachement et au transport des particules par l'eau (E. Roose et J-M. Sarrailh 1990). L'érodibilité est surtout influencée par la texture du sol, mais elle l'est également par sa structure, sa teneur en matière organique et sa perméabilité. En générale, les sols qui affichent une plus grande résistance à l'érosion sont ceux dans lesquels l'eau s'infiltrerait plus rapidement, ceux qui sont riches en matière organique et ceux dont la structure est améliorée. Dans le cadre de cette étude le calcul de l'érodibilité K a été effectué à partir de G. Renard *et al.*, (1997)

$$K = 2.8 \times 10^{-7} \times M^{1.14} (12.Mo) + 4.3 \times 10.3 (b-2) + 3.3 \times 10^{-3} (c-3).$$

Avec, Mo = Matières organiques

B = indice de structure du sol

C = perméabilité du sol

M = (% limons + % sables) (100 - % argiles).

2.3.3. Facteur topographique LS

Le critère de pente est utilisé pour mettre en évidence la capacité du ruissellement à détacher et transporter des particules de sol : plus la pente est importante, plus le ruissellement érodera le sol. Plus la pente est forte et plus elle est longue, plus l'érosion est plus intense.

Le facteur LS est évalué à partir de deux critères : l'inclinaison de la pente et sa longueur, qui sont calculés à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT). Dans le cadre de cette étude l'équation de A. Bizuwerk *et al.* (2008) a été utilisée avec le logiciel Arc gis. En effet, la longueur de la pente et l'inclinaison de la pente peuvent être utilisés dans un index unique, pour exprimer le rapport entre la perte de sol tel que défini par Wischmeier et Smith (1978). Comme indiqué ci-dessous :

$$LS = (x/22.1)^m(0.065+0.045S+0.005S^2)$$

Avec:

X = longueur de la pente (m) ;

S = Gradient de la pente (%).

Pour calculer la valeur X, l'accumulation de débit a été dérivée à partir du MNT après avoir mené des processus de direction et de remplissage de débit dans Arc gis.

$$X = (\text{accumulation de débit} \times \text{résolutions})$$

En substituant la valeur X, l'équation LS sera :

$$LS = (\text{accumulation de débit} \times \text{résolution}/22.1)^m (0.065+0.045S+0.005S^2)$$

Le gradient de la pente (%) est extrait du MNT en utilisant le logiciel Arc gis. Et la valeur de (m) a été obtenue du tableau suivant :

Tableau 1: Valeur de m pour le facteur LS

Valeur de m	Pente %
0.5	>5
0.4	3-5
0.3	1-3
0.2	<1

Source : Wischmeier et Smith (1978)

2.3.4. Occupation des sols (C)

Le risque d'érosion augmente lorsque le sol n'est pas suffisamment protégé par le couvert végétal et/ou une couche de résidus de culture. Les résidus et la végétation protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie et des éclaboussures d'eau. Ils ont aussi tendance à réduire la vitesse d'écoulement de l'eau et à favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol (E. Payet *et al.*, 2011). Le facteur C est défini comme le rapport entre les pertes en sols nus sous des conditions spécifiques et les pertes en sols correspondants aux sols sous système d'exploitation (H. Wischmeier et D. Smith 1978 ; A. El Garouani *et al.*, 2008). On confond dans le même facteur C, à la fois le couvert végétal, son niveau de production et les techniques culturales. 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 (E. Payet *et al.*, 2011).

2.3.5. Combinaison des facteurs : Cartographie de la vulnérabilité à l'érosion

La méthodologie utilisée est le croisement de paramètres sous forme de combinaison logique (Bou Kheir *et al.*, 2001 ; B.E. N'Dri *et al.*, 2008) dans un Système d'Information Géographique (SIG). Pour cette cartographie, des facteurs ont été considérés comme étant de même importance, en l'occurrence de l'érosion, afin d'aboutir à la carte de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique des sols du bassin versant (Tableau II).

Tableau II: Classification des facteurs de vulnérabilité des terres à l'érosion hydrique dans le bassin versant du kou

Facteur d'érosion	Vulnérabilité à l'érosion hydrique	Code
Erodibilité des sols K	Faible	1000
	Moyen	2000
	Forte	3000
Longueur et inclinaison de la pente LS	Faible	100
	Moyen	200
	Forte	300
Occupation des sols C	Faible	10
	Moyen	20
	Forte	30
Erosivité R	Faible	1
	Moyen	2
	Forte	3

Source : Adapté de Y. LE Bissonnais *et al.*, 2002

À ce stade de réalisation de la carte de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique, les facteurs : érodibilité des sols, pente des terres, occupation des sols et l'érosivité des pluies ont été combinés. Pour réussir cette opération, des codes ont été assignés aux différents facteurs par classes (tableau 2) en se référant à la classification de G.E. Aké *et al.*, (2012). Par ordre de vulnérabilité croissante à l'érosion suivant chaque facteur par classification, ils sont de 1000, 2000 et 3000 pour le cas de l'érodibilité du sol, de 100, 200 et 300 pour l'inclinaison de la pente, de 10, 20 et 30 dans le cas de l'occupation du sol et de 1, 2 et 3 pour l'agressivité des pluies. Après combinaison, la distinction est ainsi facilitée, car la saisie s'est effectuée aisément, telle que la classe "3123", par exemple, provient du croisement des classes "3000", "100", "20" et "3". Ce qui a permis d'obtenir des classes de combinaison (tableau III).

Tableau III : Classification des combinaisons possibles par indices de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique dans le bassin versant du Kou.

	Combinaison des codes des facteurs	Vulnérabilité à l'érosion hydrique	Indice
Vulnérabilité multifactorielle	1111 ; 1112 ; 1122 ; 1221 ; 1211 ; 1212 ; 2211 ; 2111 ; 2112	Faible	4 à 6
	2222 ; 2223 ; 1222 ; 2322 ; 3222 ; 2221 ; 3223 ; 3311 ; 2122 ; 3123	Moyenne	7 à 9
	2233 ; 3333 ; 3233 ; 3323 ; 3322 ; 3332 ; 2333 ; 2332	Forte	10 à 12

Source : Adapté de Y. LE Bissonnais *et al.*, 2002.

.Les quatre facteurs considérés n'étant pas hiérarchisés, la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion du bassin versant du kou a été évaluée en sommant les quatre chiffres constitutifs du code représentatif. Ainsi, pour la classe "3123", l'indice est de 9 (3+1+2+3). Au total, trois classes de vulnérabilité sont déterminées : faible (indices 4 à 6), moyenne (indices 7 à 10) et forte (indices 11 à 12).

3.. Résultats

3.1. Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle aux risques d'érosion

La notion de vulnérabilité n'a pas de conceptualisation unique qui pourrait s'adapter à tous les contextes et à des fins d'évaluation. Dans le cadre de cette étude, la vulnérabilité des sols peut se définir comme leur fragilité face aux agressions extérieures telle que le climat et les actions anthropiques. Elle dépend donc de facteurs intrinsèques et extrinsèques. Elle peut être hiérarchisée en fonction du degré d'exposition aux risques (M. Boughalem et al. 2013). La cartographie du niveau de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant du Kou se traduit par la superposition de plusieurs cartes thématiques qui ont été préalablement établies (topographie, pédologie, occupation du sol et précipitation).

3.1.1. Facteur topographique (LS)

Le facteur topographique représente l'inclinaison S en % et la longueur de pente L en m. En utilisant la formule mathématique de Wischmeier, le facteur topographique (LS) a été calculé à l'échelle du bassin versant à partir de la carte de l'inclinaison des pentes et de leur longueur obtenue à partir de traitements sous SIG du MNT de la zone d'étude. La Carte montre la distribution du facteur topographique LS. Elle permet d'identifier sur l'ensemble du bassin versant de Kou trois diversités de pente. De l'analyse de la carte 67,99 % des pentes dans le bassin ont une faible vulnérabilité à l'érosion, 25,82 % ont une vulnérabilité moyenne et 6,18 % des pentes ont une vulnérabilité forte.

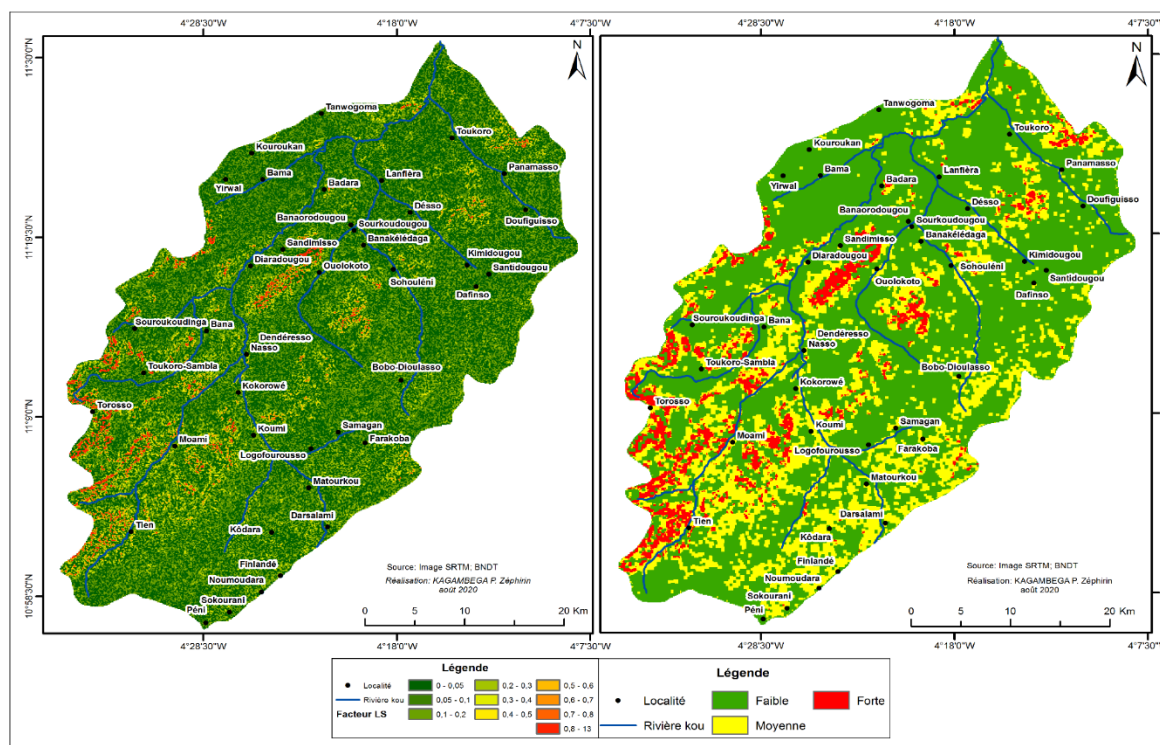


Figure 2 : Distribution du facteur topographique LS dans le bassin versant du Kou

3.1.2. Erodibilité des sols (K)

La figure 3 représente le facteur d'érodibilité K des sols dans le bassin versant du Kou. Trois classes du facteur K ont été réalisées pour exprimer l'étendue de la variabilité de l'érodibilité des sols. La valeur moyenne du facteur d'érodibilité K atteint $0,11 \text{ t h ha MJ}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ sur l'ensemble du bassin versant. Les zones accusant une très faible érodibilité ($K < 0,05 \text{ t h ha MJ}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) sont représentées par les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés peu profond, indurés moyennement profond et les sols peu évolués d'érosion lithique.

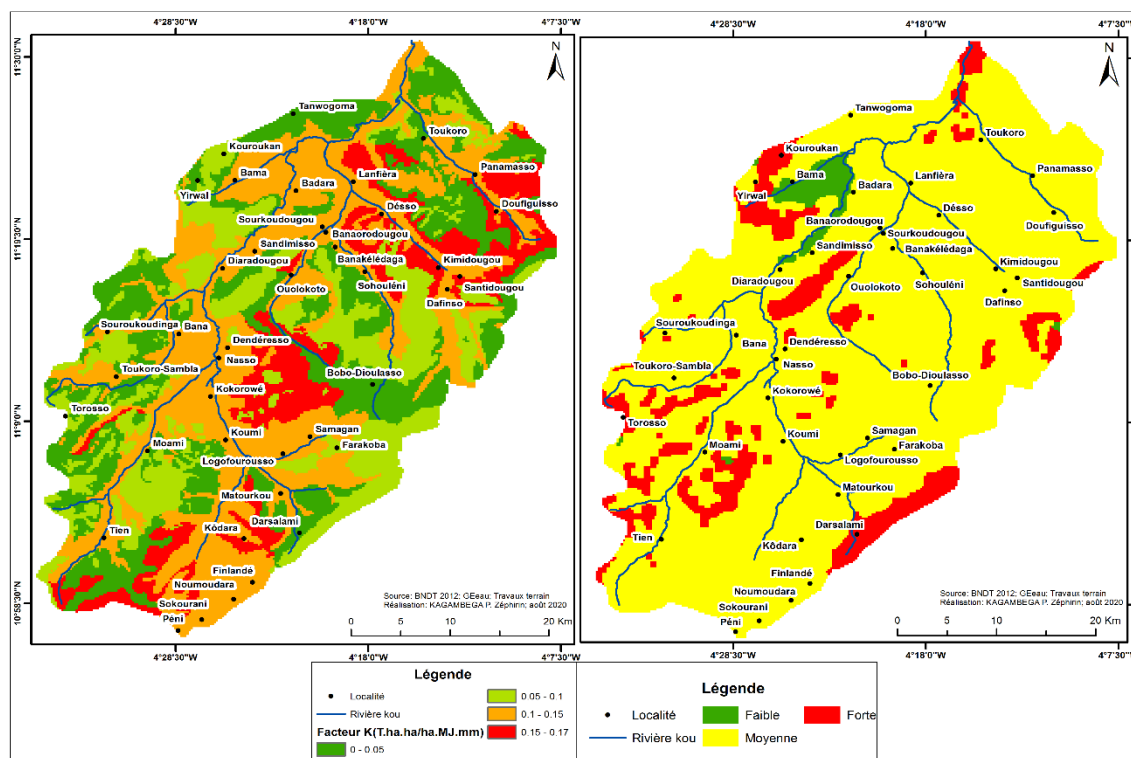


Figure 3 : Distribution de l'indice de l'érodibilité des sols (K)

Ces sols se trouvent sur butte cuirassée, sur glaciais à haut pente et à pente moyenne. Cette classe occupe 2,02 % de la superficie totale du bassin versant. La zone à érodibilité moyenne ($0,1$ à $0,15 \text{ t/h/ha/MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) est représentée par les sols minéraux bruts d'érosion, les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés superficiels et les sols peu évolués d'apport fluvial hydromorphe. Cette classe est la plus représentative du bassin versant avec 86,63 % de sa superficie. La zone à érodibilité très élevée ($> 0,15 \text{ t/h/ha/MJ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) est représentée par les sols ferralitiques faiblement désaturés remaniés indurés sur butte rocheuse et glaciais à pente moyenne. Elle occupe 11,34 % de la superficie du bassin versant. En général, les sols qui affichent une plus grande résistance à l'érosion sont ceux dans lesquels l'eau s'infiltrerait plus rapidement, ceux qui sont riches en matière organique et ceux dont la structure est améliorée. Les sables ont tendance à être moins vulnérables à l'érosion que les limons, les sables très fins et certains sols argileux.

3.1.3. Facteur d'occupation des sols (C).

Le couvert végétal assure la protection des sols et l'amortissement des gouttes de pluie, le ralentissement du ruissellement et de l'infiltration. Le processus d'érosion est étroitement lié au mode d'occupation du sol, qui contribue largement à son aggravation ou à son atténuation. C'est donc l'occupation du sol qui détermine le degré de protection des sols. La carte d'occupation des sols résultante du traitement de l'image Landsat8 OLI-TIRS de 2017 a permis

de faire une analyse de l'état de couverture végétale du sol. Dix unités d'occupation des sols ont été identifiées et représentées à savoir : la forêt galerie, la forêt claire et savane boisée, la savane arborée, la savane arbustive, les champs, les cultures irriguées, les sols nus, les plantations forestières, les plans d'eau et l'agglomération. Afin d'estimer les valeurs du facteur C dans la le bassin versant, nous avons utilisé la valeur attribuée au couvert végétal par M. Tahiri et *al.*, (2017). Selon lui, la valeur attribuée au couvert végétal (tableau IV) varie de 0,001 pour les sols bien couverts jusqu'à 1 comme valeur maximale pour les sols complètement dénudés.

Tableau IV : Coefficient d'occupation du sol C en fonction du type d'occupation

Type d'occupation du sol	Facteur C
Sol nu	1
Forêt dégradée	0,7
Savane arborée et arbustive	0,3
Savane herbeuse dégradé	0,6
Mosaïque de culture	0,5
Mangrove	0,28
Surface bâtie	0,2
Zone reboisée	0,18
Rizière	0,15
Forêt dense	0,001
Plan d'eau	0

Source : H. Hage Hassan H. et al, (2015)

L'analyse des informations du tableau IV permet d'identifier dans le bassin trois zones avec trois différents couverts végétaux allant des zones à forte exposition à l'effet érosif aux zones faiblement érosive. Il se dégage de la carte 18 que 13,12 % de la superficie du bassin versant du KOU est couverte par des valeurs de couverture végétale comprise entre 0,001 à 0,2. Ces zones ont une couverture végétale très dense et sont moins vulnérables à l'érosion hydrique. La classe à valeur de couverture végétale comprise entre 0,2 à 0,3 occupe 15,21 % du bassin. Elle est moyennement vulnérable à l'érosion. La zone a couverture végétale très faible et e plus exposée à l'érosion occupe 71,66 % du bassin En effet, le risque d'érosion hydrique est plus élevé lorsque les sols sont occupés par des cultures peu couvrantes. Cependant, le risque est minimal lorsqu'il s'agit des forêts denses. Il faut noter aussi que le travail du sol influence la sensibilité du sol à l'érosion. Généralement, les cultures nécessitent un affinement de la couche superficielle du sol, ce qui peut entraîner la formation d'une croûte de battance qui en cas de forte pluie, réduit l'infiltration et accélère par conséquent le ruissellement.

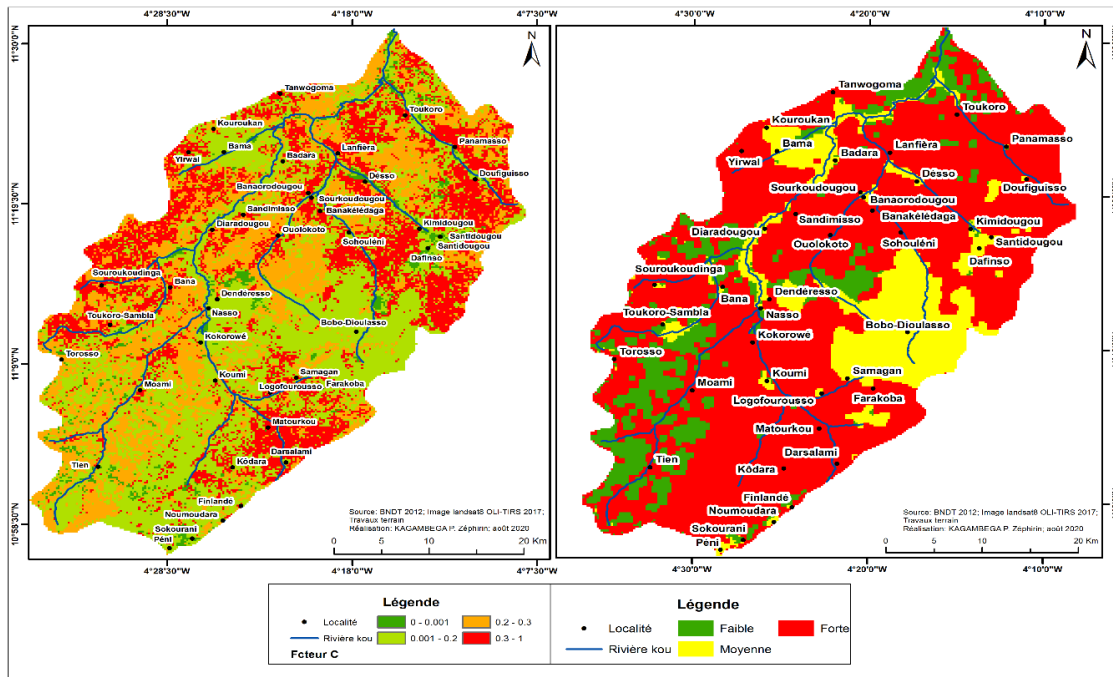


Figure 4 : Distribution spatiale du facteur C dans le bassin versant du Kou

3.1.4. Erosivité de la pluie (R)

La spatialisaiton des valeurs de l'érosivité des sols à la pluie dans le bassin a permis d'obtenir la figure 5. De l'analyse de la carte de l'érosivité, il découle que la valeur R varie de 62 à 75 MJ.mm/ha.h.an. 29,76 % des terres sont exposées à une forte érosivité, 46,64 % sont moyennement exposées et 27,59 % sont faiblement exposé

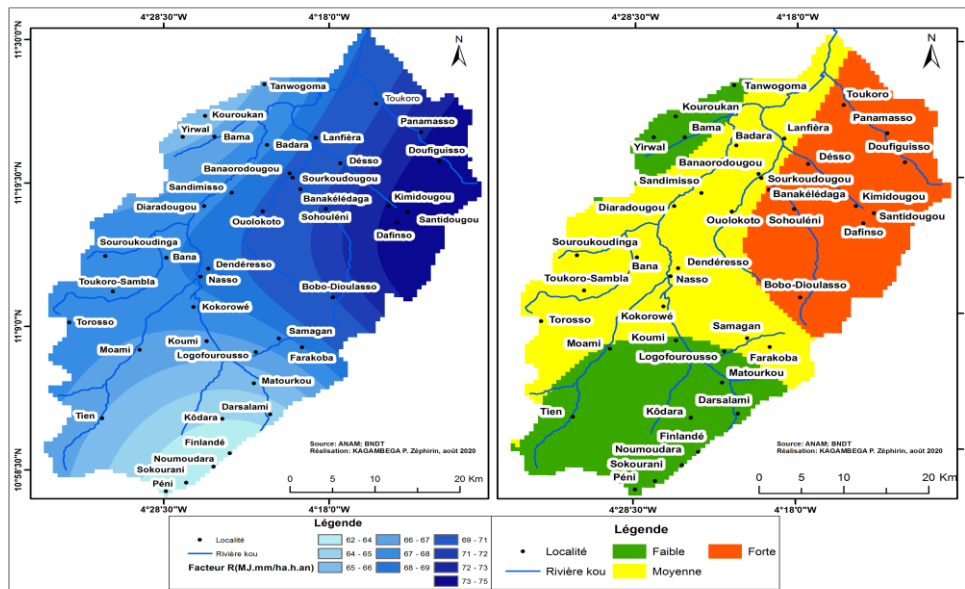


Figure 5 : Distribution de l'indice d'érosivité de la pluie (R)

3.1.5. Vulnérabilité multifactorielle à l'érosion

La figure 6 présente la carte de vulnérabilité à l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant du Kou.

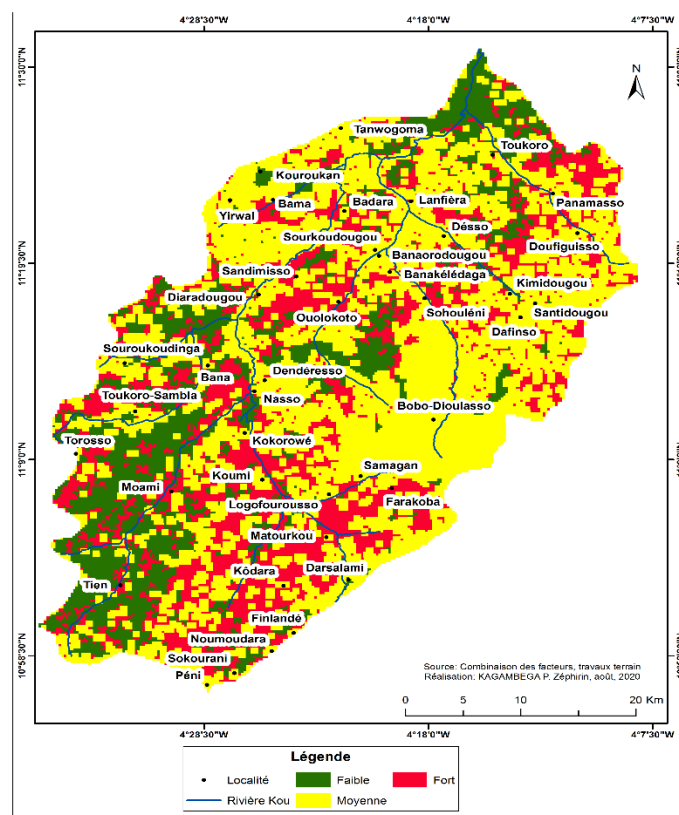


Figure 6 : Vulnérabilité des sols à l'érosion du bassin versant du Kou

La carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant du kou est obtenue à partir de la combinaison et le traitement sous SIG des différentes cartes factorielles, notamment l'agressivité climatique R (ou érosivité des précipitations), l'érodibilité des sols K, l'effet combiné du degré et de la longueur de la pente (LS) et la couverture végétale C.

La carte fournit des informations sur les zones critiques et la répartition spatiale vis-à-vis de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique. 24,69 % des sols dans le bassin ont un fort niveau de vulnérabilité à l'érosion hydrique, 55,49 % avec un niveau de vulnérabilité moyenne à l'érosion hydrique et 19,51 % détenant un faible niveau de vulnérabilité à l'érosion hydrique. Le bassin versant du Kou a donc un niveau de vulnérabilité moyenne à forte. Cette vulnérabilité est due, pour l'essentiel, à une forte pression anthropique, à caractère agricole, qui provoque la réduction du couvert forestier au profit des cultures.

3.2. Discussion

Cependant, tous les critères permettant de caractériser la vulnérabilité des sols à l'érosion n'ont pas pu être exploités. Certains facteurs tels que les pratiques antiérosives et plus généralement les différences d'itinéraires techniques n'ont pas été intégrés au modèle par manque de données, tout comme l'imperméabilité, l'épaisseur du sol pour lesquels nous ne possédons pas de références scientifiques permettant d'évaluer leur influence. Une meilleure connaissance de l'impact de ces paramètres pourra améliorer la qualité des résultats. Concernant les propriétés intrinsèques du sol considérées comme relativement stables, des mesures de terrain sont indispensables, mais elles sont lourdes à mettre en œuvre. Une vingtaine d'années a été nécessaires à E. Roose et Sarrailh (1990) pour tirer des analyses approfondies

sur l'érodibilité de quelques sols tropicaux. Concernant les facteurs évolutifs tels que ceux concernant l'occupation du sol, des investigations exhaustives de terrain ne peuvent être envisagées. En revanche, leur suivi et leur étude à l'aide des images satellite s'avèrent fort utiles. Ainsi la cartographie des grands types d'occupation du sol sur le bassin versant du Kou a été réalisée à l'aide des images landsat de 30 mètres de résolution spatiale. Ces limites doivent être considérées et adaptées en intégrant les SIG qui permettent d'une part, de quantifier les pertes annuelles en sols et d'autre part, de cartographier les zones à vulnérabilité érosif.

Plusieurs auteurs ont abordé le phénomène de l'érosion hydrique des sols par analyse des images satellites, ils ont décelé différents facteurs de l'érosion hydrique et calculé la superficie de terre dénudée. Il s'agit des auteurs A. Sadiki et *al.*, (2004), A. El Garouani et *al.*, (2007), E. Payet et *al.*, (2011), G.E. Ake et *al.*, (2012), H. Mesrar et *al.*, (2015), B. Ouédraogo et *al.*, (2019) et A. Yameogo et *al.*, (2021) qui en plus de l'utilisation des SIG pour le diagnostic des facteurs déterminants de l'érosion hydrique des sols, ont procédé à une modélisation du risque érosif. Les résultats obtenus dans cette étude sont en concordance avec les bases théoriques qui sous-tendent le choix des facteurs influençant la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique. Les résultats montrent également qu'il est possible d'utiliser les données spatiales suivant un modèle de référence comme l'équation universelle des pertes en terre (USLE) pour la zone soudanienne du Burkina Faso. Malgré les critiques adressées sur l'utilisation abusive de l'USLE dans des conditions autres que celles où elle a été élaborée, il a été montré qu'en pratique, l'approche de modélisation par l'emploi des facteurs de RUSLE demeure une stratégie acceptable pour évaluer l'érosion hydrique des sols (G.J. Wall et *al.*, 2002 ; D. El Hafid et *al.*, 2018). Cette étude constitue une contribution dans la connaissance des facteurs qui alimentent l'érosion dans le bassin versant du kou. Le recours à la géomatique est nécessaire pour l'évaluation des pertes en terre, car la spatialisation des paramètres permet d'élargir les zones d'intérêt qui peuvent dépasser le champ expérimental et considérer des régions ou bassins versants. La carte de vulnérabilité à l'érosion hydrique obtenue à l'issue de ce travail, pourrait constituer un document d'orientation en vue d'une utilisation rationnelle des sols dans le bassin.

Conclusion

Trois classes de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique se distinguent dans le bassin versant du Kou. Les zones à faible vulnérabilité couvrent 19,1 % du secteur d'étude, les zones à moyenne vulnérabilité 55,49 % et celles à forte vulnérabilité 24,69 %. Ainsi les classes moyennes et fortes intéressent-elles 80,18 % du bassin versant. Leur vulnérabilité est due, pour l'essentiel à l'évolution des extrêmes pluviométriques et à une forte pression anthropique qui provoque la réduction du couvert forestier au profit des cultures.

Bibliographie

Ake GE, Kouadio BH, Adja MG, Ettien JB, Effebi KR, Biémi J. (2012) : « Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique des sols de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire) ». *Physio-Géo*, **6**: 23-42pp.

Albergel, J., (1987): « Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface. Application aux petits bassins du Burkina Faso ». *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources* (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987). IAHS Publ. 168p

Bizuwerk, A. Taddese, G., and Getahun, Y.(2008): « Application of GIS for Modelling Soil Loss Rate in Awash Basin, Ethiopia », *International Livestock Research Institute (ILRI)* **2**: 61-82

Boughalem M., Mazour M., Grecu F., Abdellaoui A., Hamimed A., (2013) : « Evaluation par analyse multicritères de la vulnérabilité des sols à l'érosion : cas du bassin versant de l'isser – tlemcen – Algérie », *in* *Analele University Bucuresti Geografie/Annals of the University of Bucharest – Geography Series*. 23p

- Bou R., Girard M.C., Shaban A., Khawle M., Faour G., Darwish T., (2001) :** « Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban. Télédétection », vol. 2, n° 2, pp. 79-90
- Carbonnel J. P., Hubert P., (1992) :** « Pluviométrie en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. Remise en cause de la stationnarité des séries ». In: *L'aridité, une contrainte au développement, caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés* (ed. par M. G. E. Le Floch, A. Cornet et J.-C. Bille), 37-51. ORSTOM, Collection Didactiques, Paris, France.
- Collinet J., Valentin C., (1979) :** « Analyse des différents facteurs intervenant sur l'hydrodynamique superficielle: Nouvelles perspectives: applications agronomiques ». Cah. ORSTOM, série Pédologie XVII(4), 283-328.
- El Garouani A., Chen H., Lewis L., Triback A., Abahrour M., (2008) :** « Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du SIG IDRISI au Nord-Est du Maroc », *Télédétection*, vol. 8, n° 3, p. 193-201
- Elhafid D, Akdim B. (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). p373.
- Le Bissonais Y., Montier C., Jamagne M., Daroussin J., King, D., (2002):** « Mapping erosion risk for cultivated soil in France». *Catena* 46 (2002) pp. 207-220.
- Mazour M., (2004):** *Etude des facteurs de risque du ruissellement et de l'érosion en nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser – Tlemcen*, Thèse de Doctorat D'Etat, Université de Tlemcen, 184, 131 pp.
- Mesrar H, Sadiki A, Navas A, Faleh A, Quijano L, Jamal C. (2015) :** « Modélisation de l'érosion hydrique et des facteurs causaux, Cas de l'oued Sahla, Rif Central, Maroc ». *Annales de Geomorphologie*, 59(4) : 495 – 514.
- Morsli B., Mazour M., Mededjel N., Roose E., (2004) :** « Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et de l'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie », *Sécheresse*, vol. 15, no 1, 96-104.
- N'Dri B.E., N'Go Y.A., Kadio H.N., Ouattara A., Touré B. et Biémi J. (2008) :** « Effect of soil slope and cover on runoff and rate soil loss from experimental plots in area of Attécoubé » *European Journal of Scientific Research*, vol. 21, n° 3, p. 459-470.
- Ouedraogo B., Kabore O., Kabore M., (2019) :** « Cartographie quantitative de l'érosion par approche SIGUE/RULSE dans la commune de Karangasso vigué (Burkina Faso) » *int. J. Biol. Chem. Sci* 13 (3): 1638 – 1653, June 2019 ISSN 1997 – 342X (online) ISSN 1991 – 8631 (print) 16p.
- Payet E., Dumas P., Gwenaëlle P., (2011):** « Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar », Volume11 Numéro 3 pp.77-98
- Renard K.G., Freimund J.R., (1994):** « Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R factor in the Revised USLE». *Journal of Hydrology*, 157, 287-306.
- Renard K.G., (1997):** « Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) ». *USDA agricultural research service*, Agriculture handbook number 703, 384 p.
- Roose E., (1984):** « Causes et facteurs de l'érosion hydrique sous climat tropical : conséquences pour les méthodes antiérosives ». *Machinisme et Agriculture Tropicale*, vol. 87, p. 4-18.
- ROOSE E., SARRAILH J.-M., (1990) :** « Erodibilité de quelques sols tropicaux Vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles » *Cah. ORSTOM*, sér. Pedol, vol. XXV, no I-2, 1989-90: 7-30
- Stengel P., Gelin S., (1998):** «Sol: interface fragile, Mieux comprendre ». Institut National de la Recherche, ISSN 1144-7605, Editions Quae, 1998, 213p
- Tahiri M., Tabyaoui H., Elhammichi 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.
- Talbi O., Mendas A., Bensaid A., Trache., (2002) :** « Mise en place d'un système d'information géographique pour le suivi et la quantification de l'érosion hydrique: application au bassin versant de l'Isser (Tlemcen) », *Sécheresse*, vol. 13, no 3, 175-179.

Sadiki A, Bouhlassa S, Auajjar J, Faleh A, Macaire JJ. (2004) : « Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Équation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussoua ». *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Terre, **26**: 69–79

Serpentié G., Tezenas Du Montcel L., Valentin C., (1992) : « La dynamique des états de surface d'un territoire agropastoral soudano-sahélien, conséquences et propositions ». In: *L'aridité, une contrainte au développement, caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés* (ed. par M. G. E. Le Floc'h, A. Cornet ; J.-C. Bille), 419-447. ORSTOM, Collection Didatiques, Paris, France.

Wall GJ, Coote DR, Pringle EA, Shelton IJ. (2002) : 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, N° de la contribution AAC2244F, 117 p.

Wischmeier W.H., Smith D.D., (1978): « Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning». Édit. USDA, vol. 537, 58 p.

Yaméogo A., SOMÉ Y. S. C., Palé S., Sirima B.A., Da D.E.C., (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) ». *Geo-Eco-Trop.*, 2021, 45, **2**: pp 299-31.