

Application Du Modèle empirique USPED À L'étude De L'érosion hydrique Dans Le Bassin De La Yéwa Au Bénin

Oluwatoyin Pierre Toundoh¹, Eric Alain Mahugnon Tchibozo¹, Expédit Wilfrid Vissin²

¹(Laboratoire des Applications Géomatiques et Gestion de l'Environnement (LA2GE) / CU-Adjara/ FASHS, Université d'Abomey-Calavi, République du Bénin)

²(Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE), Université d'Abomey-Calavi, République du Bénin)

Corresponding Author: Oluwatoyin Pierre Toundoh

Abstract : In the aim of highlighting the ongoing erosion processes in the Yewa River basin, a study based on soil water erosion modelling is proposed in this paper. The USPED model was chosen to quantify and spatialize erosion and deposition processes at the watershed scale. The USPED model takes into account five determining factors, namely: precipitation aggressiveness, soil erodibility, slope inclination and length, vegetation cover and various means of controlling soil erosion. The results show that 7.51% (66.32 km²) of the basin area shows a low to moderate sensitivity to erosion for 0.34% of severe sensitivity (3.02 km²). As for deposition, 8.36% (73.80 km²) of the basin area reveals low to moderate deposition for 0.68% (6 km²) of high and very high deposition with a positive balance of about 1700.98 t/ha/yr. This study could be the starting point for the implementation of a coordinated management of actions to combat soil erosion and help to understand the current dynamics of the watershed.

Keywords -Benin, water erosion, GIS, USPED, Yéwa.

Date of Submission: 20-01-2020

Date of Acceptance: 05-02-2020

I. Introduction

Chaque année l'érosion rend improductifs près de 20 millions d'hectares dans le monde et est devenue une question pertinente au niveau Mondial [1]; [2]. En Afrique, la dégradation persistante des sols, ainsi que le déclin de leur fertilité hypothèquent la sécurité alimentaire et aggrave la pauvreté. Cette dégradation a des retombées socio-économiques à l'échelle locale, régionale et nationale [3]; [4].

Au Bénin, l'érosion des sols touche plusieurs régions et plus particulièrement les parcelles agricoles. L'expansion rapide des espaces agricoles d'une part, et une augmentation des événements pluviométriques extrêmes dus au changement climatique qui se traduit par des conditions climatiques incertaines d'autre part, accélèrent l'érosion du sol par l'eau [5]; [6]. La dynamique de l'érosion est fonction des rapports entre la capacité érosive de la pluie, du ruissellement, de la susceptibilité du sol à être érodé et des activités humaines [7]; [8]; [9]; [10]; [11]. Parmi les conséquences néfastes de l'érosion sur l'environnement, on peut citer: la baisse de fertilité des sols, la sédimentation des cours d'eau, des barrages et des digues, la dégradation des zones de frayère (principalement celles des mangroves) de la faune aquatique, l'accentuation de la précarité socio-économique de la population à forte majorité rurale et l'exode rural [12]; [13]. On aboutit inéluctablement à la perturbation des écosystèmes qui appellent donc à la recherche d'un mode de gestion rationnelle des ressources naturelles. De plus au Bénin, les cours d'eau sont particulièrement attractifs pour les populations du fait de la diversité des activités économiques qu'ils permettent. Le bassin de la Yéwa n'échappe pas à cette réalité. Il présente une économie essentiellement rurale avec plus de 80% de la population qui pratique l'agriculture [14]. Avec l'expansion agricole et les pratiques culturales, couplé à la perte du couvert végétal et à l'agressivité climatique et la pente, le bassin est susceptible au processus d'ablation et d'accumulation de sédiment. Ce bassin est confronté aux risques de ruissellement et d'érosion dus au comportement hydrologique du sol et en particulier à la capacité d'infiltration qui dépend des états de surface et des types de sols [15]. L'érosion est le type le plus répandu de dégradation des sols dans le bassin et a été reconnue comme étant un important problème. Le processus de dégradation des sols comprend la perte de la couche arable par l'action de l'eau, la détérioration chimique, la dégradation physique, la détérioration biologique des ressources naturelles, y compris la réduction de la biodiversité du sol [16]; [17]; [18]; [19].

C'est à partir de ce constat que la nécessité de prédire l'érosion est urgente. La quantification de l'érosion s'est faite par une méthode de prédiction. Cet article vise à étudier l'érosion hydrique à l'aide du modèle USPED dans le bassin de la Yéwa au Bénin. Les problèmes environnementaux que pose l'érosion autant

Application du modèle empirique USPED à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin de la Yéwa au Bénin

pour l'agriculture et que pour l'habitat exigent une quantification des masses de terre déplacées et déposées et des actions d'aménagement pour limiter le ravinement et permettre une bonne infiltration des eaux pluviales [11].

II. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de la rivière transfrontalière, la Yéwa, est à cheval sur le Bénin et le Nigéria. La partie Sud-ouest du bassin est un sous-bassin de la rivière Yéwa qui couvre la plus grande partie de la plaine inondable et la dépression d'adjarran. Cette partie du bassin fera uniquement l'objet de notre étude. Il se présente sous une forme allongée avec une orientation NNW-SSE et est situé entre 6°26' et 6°57' Nord et entre 2°31' et 2°47' Est (fig.1). Il couvre une superficie de 882,60km².

Sur le plan administratif, ce sous-bassin s'étend sur deux départements du Bénin à savoir l'Ouémé et le Plateau. Du Nord au Sud, les communes situées dans son emprise sont : Adja-Ouère, Sakété, Adjohoun, Ifangni, Akpro-Misséré, Avrankou, Adjarra et Dangbo.

Le bassin est caractérisé par un climat subéquatorial constitué de deux saisons pluvieuses (avril à juillet et octobre à novembre) qui alternent avec deux saisons sèches (août à Septembre et décembre à mars). La géologie du bassin s'étend sur deux (02) formations: le bassin sédimentaire côtier et le socle cristallin. L'altération de ces différentes formations et leur évolution ont donné plusieurs types de sols: les sols ferrallitiques et les sols hydromorphes.

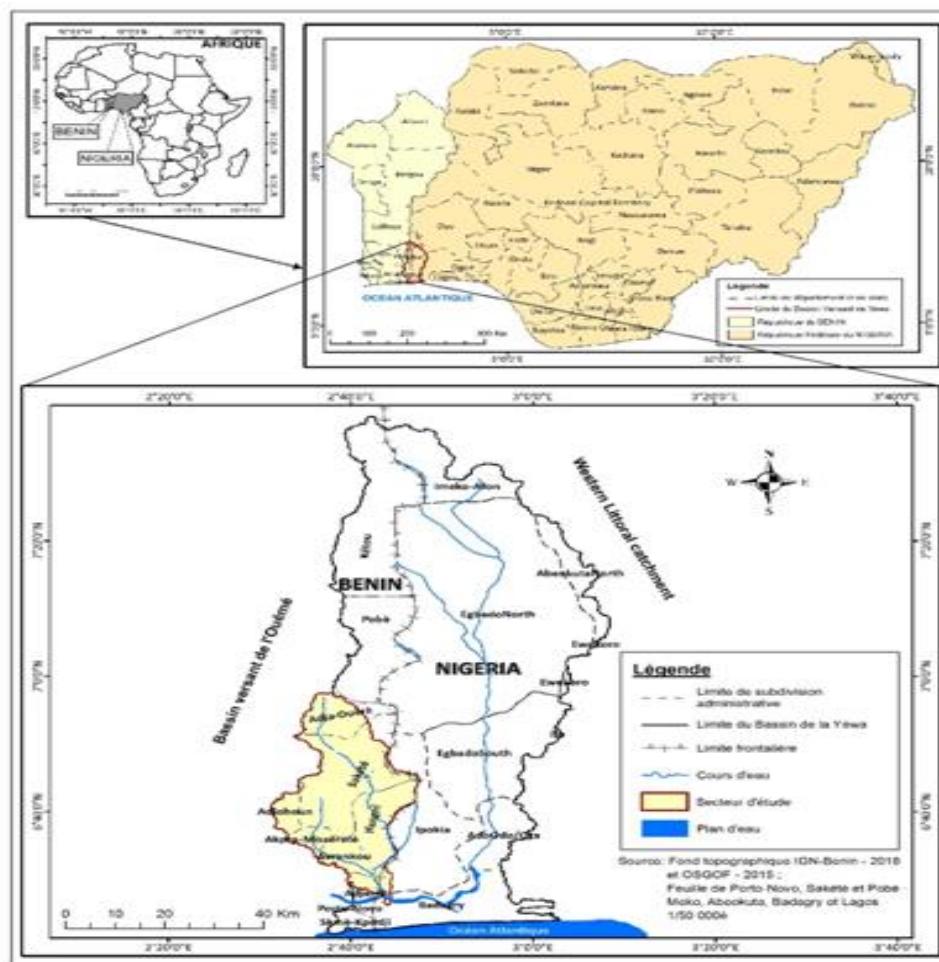


Fig.1 : Localisation du secteur d'étude

III. Matériel Et Methodes

III.1. Matériel

Le matériel est composé d'un GPS, des logiciels de SIG (ENVI, QGIS, SIG GRASS et libre office) et des données qui proviennent de la télédétection, de la cartographie, de levés terrain, et des travaux publiés antérieurement sur la zone d'étude. Les caractéristiques de ces données sont présentées comme suit:

Application du modèle empirique USPED à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin de la Yéwa au Bénin

- Les cartes topographiques de l'Afrique de l'Ouest, feuilles de Porto-Novo NB-31-XV et de Zagnanado NB-31-XXI au 1/200000 l'IGN-Bénin de 1992.
- Les données administratives sur la zone d'étude sont au format vecteur(.shapefile). Elles sont obtenues sur le géoportail de l'IGN-Bénin (<https://www.geobenin.bj/fr/>).
- Les fichiers vecteurs portant des informations pédologiques et géologiques ont été obtenus au Centre National d'Agro-Pédologie (CENAP) et à l'Office Béninois des Mines (OBEMINES).
- Les images satellites sont constituées des scènes de Sentinel-2B (Scène T31NDH) et de l'image SRTM DEM. Sentinel-2B, en opération depuis Mars 2017, a permis de fournir des images à 10, 20 et 60 mètres de résolution de Janvier 2019. Pour la classification, seules les bandes 2, 3, 4 et 8 de 10 mètres de résolution ont été utilisées. Ces bandes du visible et du proche infrarouge ont permis d'identifier les classes d'occupation du sol (forêt dense humide, forêt claire, savane arbustive, agglomération, sols nus, cultures et jachères ainsi que les plans d'eau et cours d'eau). L'image satellite de 2019 a permis de réaliser la carte d'occupation des sols pour le calcul des facteurs impliquants la couverture végétale au niveau du modèle USPED.
- Le modèle Numérique de Terrain (MNT SRTM) de format (.tif), obtenu sur le site (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) de la NASA, a permis de délimiter le bassin versant et d'effectuer le calcul des facteurs topographiques du modèle USPED.
- Les coordonnées GPS ont aidé à la validation de la classification de 2019 et à la localisation des échantillons des mesures sur le terrain.
- Les données climatiques utilisées ici ont été les hauteurs de pluie pour la modélisation de l'érosion hydrique. Les séries pluviométriques journalières et mensuelles de 1970 à 2015 sont recueillies à l'Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA) de Cotonou et au Nigerian Meteorological Agency (NIMET) de Lagos. Au total, huit (08) stations de mesure sont identifiées (Pobè, Porto-Novo, Sakété, Adjohoun, Cotonou-Port, Bonou, Sèmè) dont une située au Nigéria (Badagry).

III.2. Méthodes

Le modèle empirique USPED est un modèle simple qui prédit la distribution spatiale des taux d'érosion et de dépôt pour un ruissellement à l'état stable avec des conditions de précipitation excédentaire uniforme [20]. Le modèle USPED s'exécute en deux étapes.

➤ La première étape consiste à simuler le transport des sédiments par le calcul du flux de sédiment T par la formule (1) :

$$T = R.K.C.P.U^m(\sin b)^n ; (t.ha^{-1}.an^{-1}) \quad (1)$$

La seconde étape concerne l'estimation de l'érosion et de la sédimentation à partir de la divergence de T obtenue par une équation différentielle donnée par la formule (2) :

$$\nabla T = \frac{d(T \cos a)}{dx} + \frac{d(T \sin a)}{dy} ; (t.ha^{-1}.an^{-1}) \quad (2)$$

$$\nabla T = \frac{d(CU_T \cdot \cos CUF_azimut)}{dx} + \frac{d(CUF_T \cdot \sin CUF_azimut)}{dy}$$

∇T est le bilan du flux de sédiments en tonnes par hectare par année ($t.ha^{-1}.an^{-1}$).

Soit X = d (T * cos(a)) /dx

r.mapcalc X = T * cos(a), r.slope.aspect X dx=dx

(Equation 1)

Soit Y = d (T * sin(a)) /dy

r.mapcalc Y=T * sin(a), r.slope.aspect Y dy=dy

(Equation 2)

Après le calcul de l'azimut, nous avons calculé directement chacune des deux équations (1^{ère} Équation) et le (2^{ème} équation) en deux étapes avant de les additionner. Cette formule permet d'identifier les milieux où les valeurs de T augmentent (ce qui correspond à une érosion), ceux où ces valeurs diminuent (dépôt) et enfin ceux où T est constante (stabilité). Chaque facteur est considéré comme une couche thématique dans le SIG (fig.2).

À l'aide du module r.univar, la perte totale en terre du bassin-versant a pu être calculer. Les différents paramètres et les résultats des deux Equations précédentes (1) et (2) ont été spatialisés à l'aide des cartes. Enfin, pour la proportion et la surface représentée par chaque classe, on a utilisé le module r.report du SIG GRASS. Ensuite, les résultats obtenus ont été traités avec le tableur Excel.

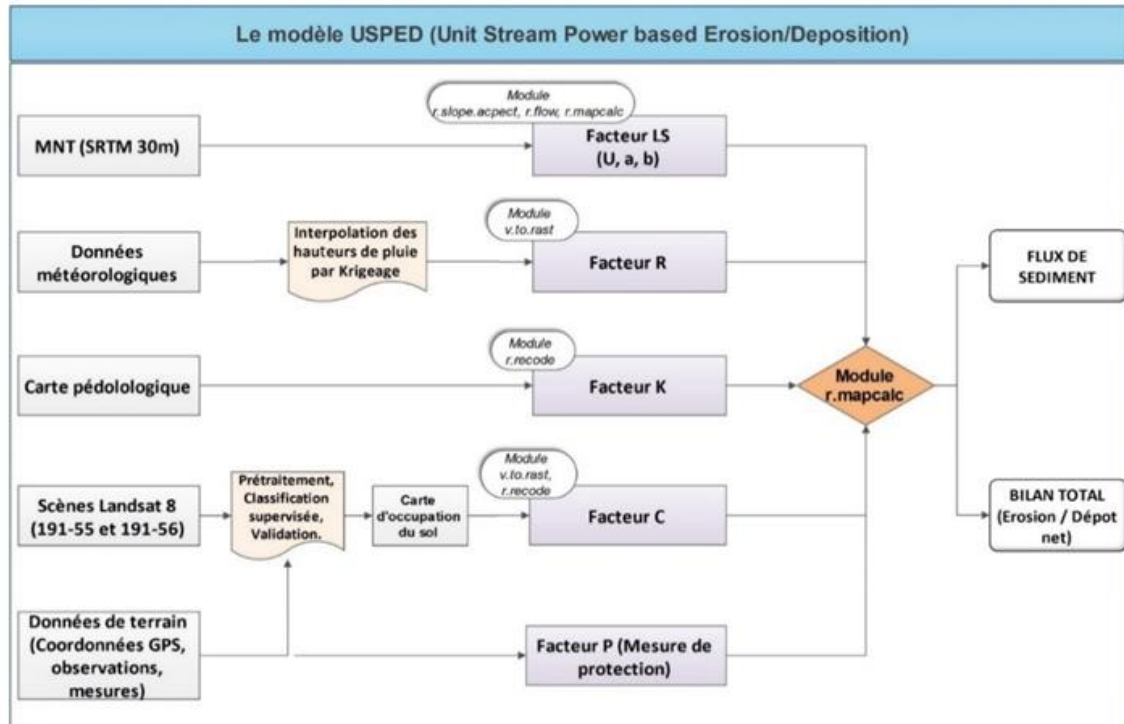


Fig.2 : Processus de modélisation de l'érosion hydrique au moyen de USPED

III.2.1. Calcul de R (érosivité des pluies) : L'estimation du facteur R est obtenue à partir des données de pluviométrie portant sur 30 ans. En Afrique de l'Ouest, Roose a montré que la valeur de R annuel moyen sur 10 ans = pluie annuelle moyenne * a.

a = 0,5 dans la majorité des cas ± 0,05 ; 0,6 à proximité de la mer (< 40 km) ; 0,3 à 0,2 en montagne tropicale et 0,1 en montagne méditerranéenne.

Dans cette étude, à chaque valeur de hauteur annuelle moyenne de pluie sur 30 ans, la valeur 0,5 de « a » a été utilisée pour obtenir une valeur de R donnée. Ainsi grâce au module *v.to.rast* du SIG Grass, les valeurs de R ont été attribuées à la nouvelle couche des hauteurs de pluie rasterisées.

III.2.2. Calcul de K (érodibilité du sol) : Le facteur K est fonction de la texture des sols, de la teneur en matières organiques, de la structure du profil et de la capacité d'infiltration. C'est le coefficient de la capacité de détachement (l'érodibilité K) : l'érodibilité des sols au Bénin avait déjà fait l'objet d'une étude conduite par [21]. Donc les valeurs du coefficient par type de sol du Bénin sont extraites des travaux d'Azontondé (Tableau I). Le tableau IV montre les différentes valeurs de K telles que calculées par l'auteur. En se basant sur les caractéristiques des sols, les valeurs de K ont été utilisées pour la cartographie de l'érodibilité des sols. Pour la conversion en unité Système Internationale (SI), il faut multiplier K par 0,1317. Le module utilisé pour réaliser l'érodibilité des sols du bassin de la Yéwa est le *r.recode* dans le logiciel SIG GRASS.

Tableau I : Valeurs de K en fonction du type de sol du bassin de la Yéwa

Types de Sol	Sols ferrallitiques	Sols alluviaux hydromorphes et Vertisols
Valeur de K	0,07	0,1

(Source : [21])

III.2.3. Calcul de C (occupation du sol)

L'occupation du sol est également l'un des principaux paramètres à considérer pour décrire les zones d'érosions. Pour obtenir les valeurs de C, la carte d'occupation du sol du bassin versant de la Yéwa a été utilisée. Elle est réalisée à l'aide de l'image Sentinel-2B qui a été classifiée en utilisant l'algorithme Maximum Likelihood ([22]). Pour obtenir une classification avec moins de confusion, il est recommandé de prendre un maximum d'aires d'entraînement par classe ([23]). Les différentes unités d'occupation ont été recodées en utilisant les valeurs proposées par [24] (Tableau II).

Tableau II : Valeurs du facteur C

Type d'occupation du sol	Facteur C
Sol nu, Agglomération	1
Forêt claire	0,01
Savane arbustive	0,1
Mosaïque de cultures, Plantation	0,5
Forêt dense humide	0,001
Plan d'eau	0

(Source :adapté de [24])

La couche "vecteur" de la carte d'occupation du sol a été transformée en couche "raster", les valeurs correspondantes par occupation du sol ont été recodées par les valeurs de Roose. Les modules suivants: • v.to.rast et • r.recode du logiciel SIG GRASS ont été utilisés pour les calculs de C.

III.2.4. Calcul de P (Pratique anti-érosives)

Ce paramètre est calculé à partir des observations de terrain. Dans ce contexte, la valeur $P = 1$ a été attribuée à toute la superficie du bassin. Les rares installations anti-érosions relevées sont pratiquées à l'échelle des maisons et rarement dans la zone d'étude.

III.2.5. Calcul de U, b et a (l'angle et la surface des bassins versants)

Le modèle Numérique de Terrain (MNT SRTM) de 30 m de résolution a été utilisé. Importé dans le SIG GRASS, il a permis d'extraire les paramètres topographiques comme la pente, l'aspect et le cumul de l'écoulement grâce aux différents modules d'analyse et de modélisation hydrologique. La carte de la surface du bassin versant U est donnée par le calcul de l'accumulation des flux de sédiment par le module r.mapcalc. Ce module r.slope.aspect a permis d'avoir la carte de la pente (b) et l'azimut (a).

IV. Resultats

Le modèle USPED s'exécute en deux étapes. En plus du calcul de la perte de sol, s'ajoute une analyse des dépôts en terres pour calculer les flux de sédiments (T).

IV.1 Calcul des différents facteurs

IV.1.1. Calcul de R (érosivité des pluies)

L'exploitation des données climatiques dans le calcul du facteur d'érosivité des pluies R a permis d'aboutir à une évaluation globale de l'agressivité des pluies du bassin versant de la Yéwa. Les données issues de l'interpolation de données climatiques permettent d'intégrer le rôle des précipitations dans la prédiction de l'érosion hydrique des sols. Suivant la distribution des précipitations en fonction de l'altitude, la carte du facteur R (fig.3) montre les différentes zones qui subissent à des degrés divers l'effet de l'intensité des pluies. L'érosivité des pluies augmente d'aval en amont dans le bassin de la Yéwa. Les valeurs de R sur l'ensemble du bassin montrent une agressivité moyennement élevée. La pluie annuelle moyenne de la zone est de 1180 et $R = 1180 * 0,5$, Donc $R = 590$ MJ.mm/ha.h.an.

De l'analyse de la figure 20 il ressort que, les valeurs de R varient entre 420 et 720 MJ. mm/ha.h.an avec une Moyenne établie à 590 MJ.mm/ha.h.an. Pour plus de 40% de la surface du bassin de la Yéwa, les valeurs de R sont supérieures à la moyenne. Les valeurs de R les plus faibles (420 à 570 MJ.mm/ha.h.an) s'établissent sur les régions du plateau où sont situées dans les communes comme Adja-ouère, Sakété, Adjohoun, Dangbo et Akpro-misséré, alors que les valeurs fortes (570 à 720 MJ. mm/ha.h.an) sont attribuées aux communes de Ifangni, Avankou et Adjara situées dans les régions de plaines du sud-bénin. En conclusion, étant fonction de la pluviométrie, le facteur R est plus accentué au niveau des espaces plus arrosés.

IV.1.2. Calcul de K (érodibilité du sol)

Le facteur K est fonction de la texture des sols, de la teneur en matières organiques, de la structure du profil et de la capacité d'infiltration. La correspondance entre la texture des sols et l'érodibilité des sols a permis de mettre en évidence les sols les plus érodibles de bassin de la Yéwa grâce aux travaux de [21]. Le facteur K varie entre 0,07 à 0,1 t.ha.h/ha.MJ.mm pour les sols de notre zone d'étude. La distribution spatiale du facteur K (fig.4) montre que les valeurs de K sont globalement fortes dans le bassin de la Yéwa. Le bassin est constitué des sols hydromorphes et ferralitiques. Les sols hydromorphes qui occupent environ 20% du bassin de la Yéwa, sont les sols les plus érodibles. Ensuite viennent les sols ferralitiques qui occupent une proportion d'environ 80% du bassin de la Yéwa.

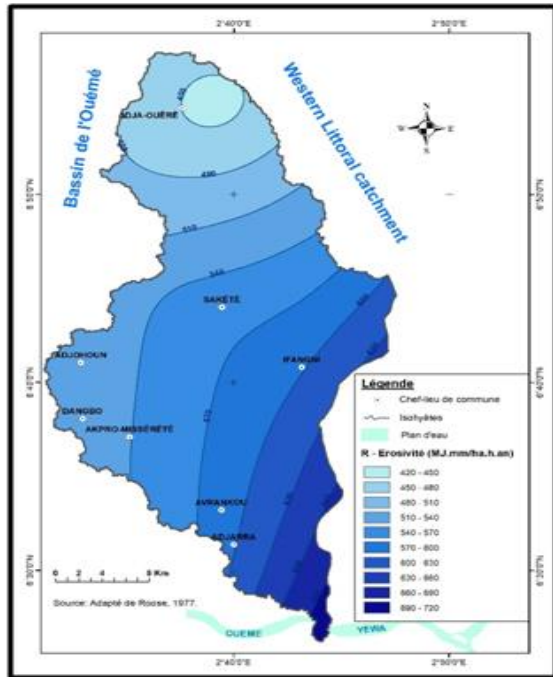


Fig.3 : Indice d'agressivité érosive des pluies

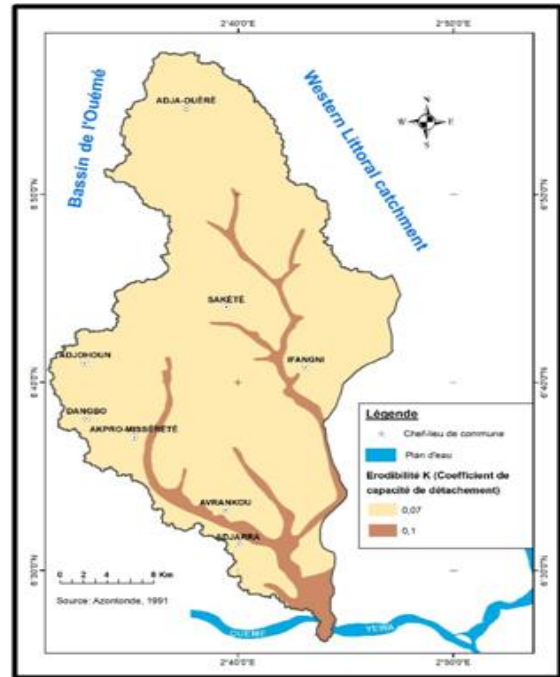


Fig.4 : Erodibilité des sols

IV.1.3. Calcul de C (occupation du sol)

Le calcul du facteur d'occupation du sol C propose une estimation globale de la sensibilité de la couverture des sols sur le bassin versant de la Yéwa. La carte de répartition du facteur C (fig. 6) montre la sensibilité et leur contribution des différents types d'occupation du sol vis-à-vis des processus érosifs. Le facteur C varie entre 0 et 1. D'après la fig. 5, on peut distinguer six (08) types d'occupations majeures (Sol nu et Agglomération, Forêt claire, Savane arbustive, Mosaïque de cultures et plantation, forêt dense humide et plan d'eau) qui occupent le territoire du bassin. Les zones les plus vulnérables à l'érosion sont attribuées aux types d'occupation du sol tels que les sols nus et les agglomérations. Les valeurs les plus faibles sont attribuées aux types d'occupation du sol tels que les plans d'eau, les forêts denses humides, les forêts claires et les savanes arbustives. Les fortes sensibilités à l'érosion sont associées à la présence étendue de formations végétales secondaire de type savane arbustive dégradée et aux zones de cultures. Les sols nus correspondent au type d'occupation du sol le plus vulnérable à l'érosion. Cette classe est cependant sous-représentée sur l'ensemble du bassin de la Yéwa.

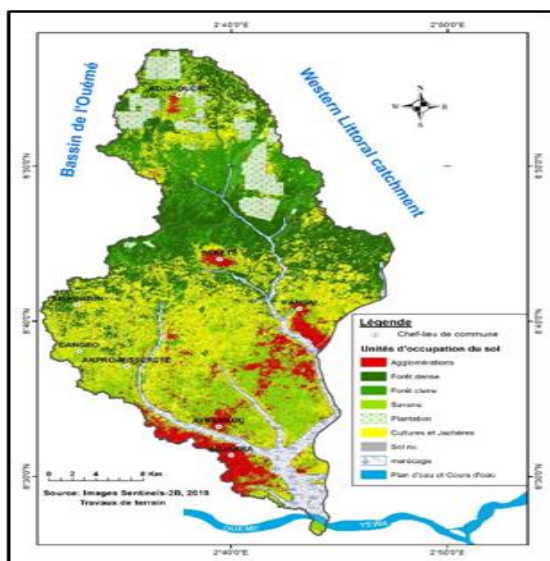


Fig.5 : Occupation du sol du bassin de la Yéwa

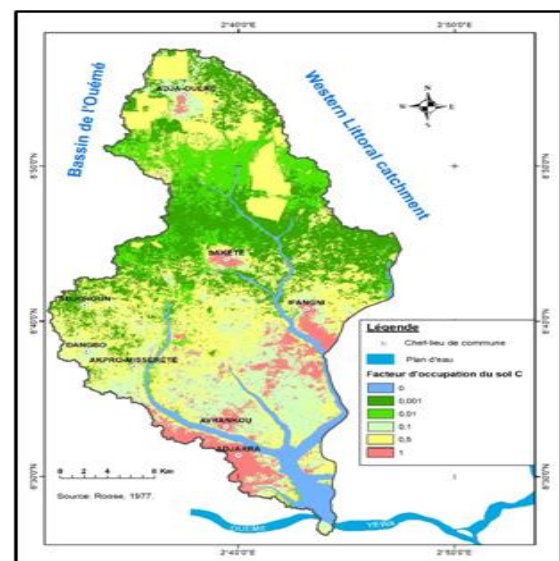


Fig.6 : Facteur C du bassin de la Yéwa

IV.1.4. Calcul de P (Pratiquantiérosives)

La valeur 1 a été attribuée au paramètres P. Il est important de noter qu'au cours des travaux de terrain, il a été relevé de rares installations anti-érosions à l'échelle des maisons et aux hameaux.

IV.1.5. Calcul de U, b et a (l'angle et la surface des bassins versants)

U peut être approximée par l'accumulation de flux de sédiment à partir du MNT. La fig.7 montre l'accumulation des flux de sédiments dans le bassin. L'accumulation de flux de sédiment varie entre 0 et 1023 kg/m/s. Les plus faibles valeurs couvrent plus de 50% du bassin et répartie sur presque toute la surface. Les plus fortes valeurs de l'accumulation de flux de sédiment dans le bassin se situent à l'intérieur et autour des vallées. Ce flux représente le nombre de cellules contribuant à l'écoulement dans le bassin en fonction du temps. La carte de la surface du bassin versant (fig. 8) est calculée à partir de la carte de l'accumulation des flux de sédiment et présente les mêmes représentations physiques que l'accumulation de flux de sédiment dans le bassin

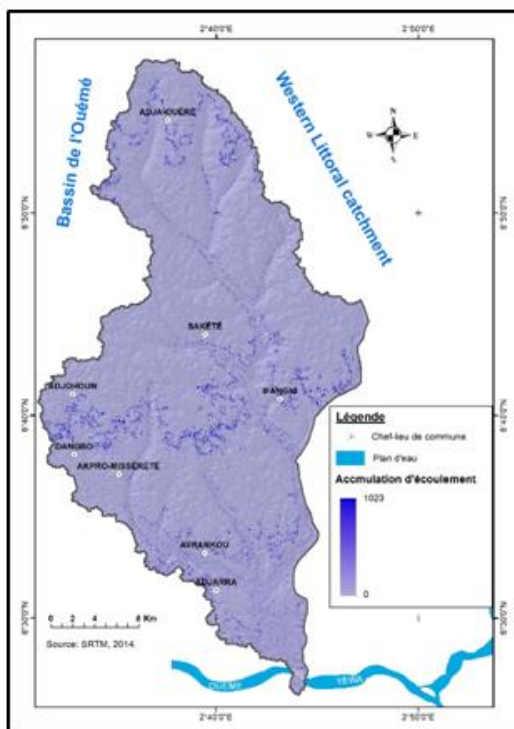


Fig.7 : Cumul des écoulements dans le bassin de la Yéwa

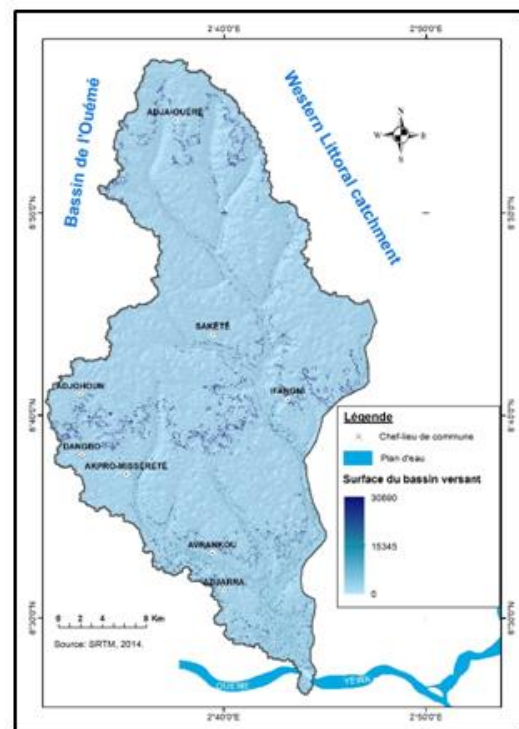


Fig.8 : la surface du bassin de la Yéwa

IV.2 Calcul du flux de sédiments (T)

La fig.9 ci-dessous présente la dynamique de l'érosion c'est-à-dire le flux de sédiments. Les flux de sédiments vont de 0 à 388,126 Kg/m/s. les plus fortes valeurs sont observées le long des vallées et dépressions. Dans le cadre de cette étude, le bilan de ce flux est particulièrement important parcequ'il permet d'évaluer et de situer les pertes nettes et les gains de terre sur toute l'étendue du bassin.

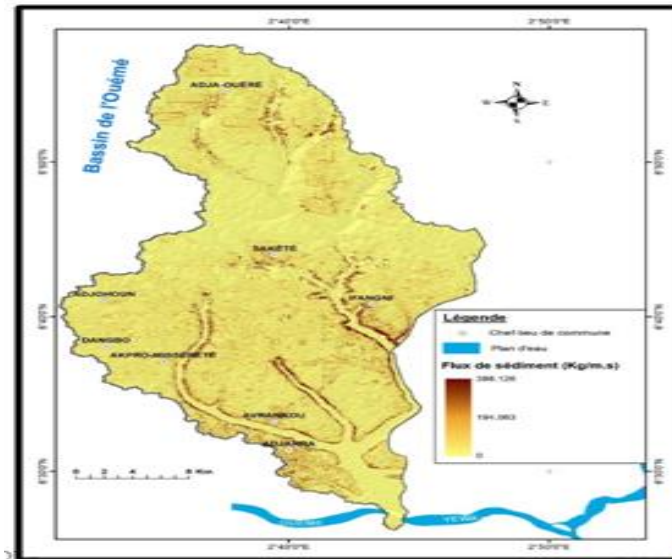


Fig. 9 : Flux de sédiments du bassin de la Yéwa

IV.3 Bilan total (pertes nette et gain de terre)

Les différents paramètres ayant été calculés et spatialisés à la même résolution, les résultats obtenus sont superposables afin d'obtenir la carte du flux de sédiments et le bilan total. La fig. 10 ci-dessous montre la carte du bilan total où on peut distinguer les pertes nettes et les dépôts de sédiments en t/ha/an dans le bassin de la Yéwa au Bénin. On peut observer les pertes et les dépôts de sédiments maximaux soit respectivement -31,194 t/ha/an où le signe négatif signifie érosion et 70,601 t/ha/an de dépôt. A partir des variables du milieu permettant d'apprécier l'érosion hydrique des sols et le classement des risques et dépôts définis par l'USDA, Les quatre classes d'érosion et de dépôt sont décrites de la manière suivante:

Il est important de noter que la classe de l'érosion très sévère n'a pas été observée tandis que la classe de dépôts très élevés est présente et varie généralement entre 50 à 70,601 t/ha/an,

Les érosions sévères ou élevées sont caractérisées par un dépôt variant respectivement entre 50 à -5 t/ha/an et 5 à 50 t/ha/an,

Les modérées sont caractérisées par une érosion et/ou dépôt variant respectivement entre -5 à -1 t/ha/an et 1 à 5 t/ha/an

Les faibles sont caractérisés par une érosion et/ou dépôt variant respectivement entre -1 à -0.1 t/ha/an et le stable est celle don't l'érosion et/ou dépôt varie entre -0.1 à 0.1 t/ha/an (fig. 10).

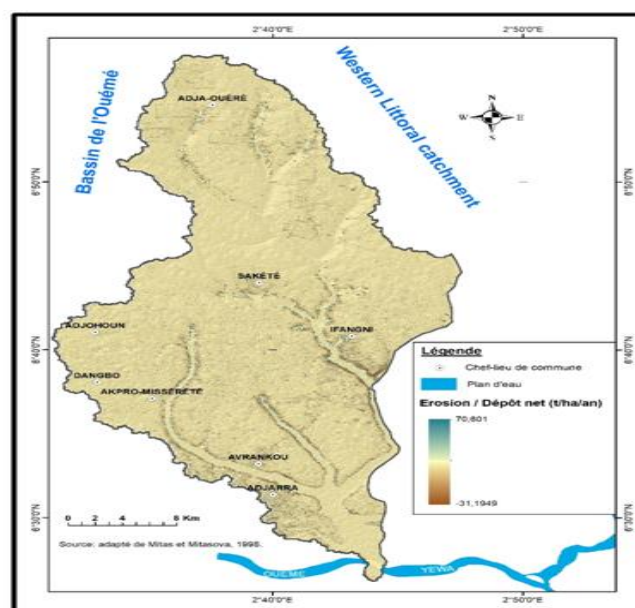


Fig. 10 : Erosion / Dépôt net dans le bassin de la Yéwa

Application du modèle empirique USPED à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin de la Yéwa au Bénin

Le budget sédimentaire enregistré dans le bassin a permis de conclure s'il y a plus de dépôts que de perte en terre dans le bassin de Yéwa au Bénin. Le résultat du calcul montre que le bassin de la Yéwa au Bénin enregistre un bilan positif avec un apport d'environ 1700,98 t/ha/an. La Fig.11 ci-dessous montre que la zone d'étude n'est pas exposée à une érosion très sévère, 83,10% de la superficie soit 733,40 km² de la zone d'étude reste stable et ne subit presque pas ou très peu de phénomène d'érosion ou de dépôt. La distribution statistique montre que 7,51% (66,32 km²) de la superficie du bassin révèle une sensibilité du faible à modérée à l'érosion pour 0,34 % de sensibilité sévère (3,02 km²). Quant au dépôt, 8,36% (73,80 km²) de la superficie du bassin révèle un dépôt faible à modéré pour 0,68 % (6 km²) de dépôt élevé et très élevé (fig.12). L'érosion faible à l'érosion modérée peut s'accroître très rapidement si la couverture végétale disparaît. Il en ressort l'importance de la protection et du maintien de cette couverture, d'autant que les zones les plus touchées sont les formations végétales et les cultures (érosion faible à modérée) et suivis des sols nus et les agglomérations (sévère et très sévère). Le couvert végétal est encore important dans la zone d'étude et ainsi s'oppose au ruissellement réduisant le phénomène d'érosion. La quantité de dépôts étant supérieure aux pertes des terres nous pouvons émettre l'hypothèse que les particules et débris enlevés entraînés ne vont pas en majorité se déposer dans les cours d'eau ou en dehors du bassin, mais sont retenus par le couvert végétal. Cet état de fait pourrait être également lié à la topographie de la zone d'étude. Ces résultats du modèle montrent aussi que la vulnérabilité à l'érosion dans la région d'étude est essentiellement contrôlée par la densité du couvert végétal et à la topographie.

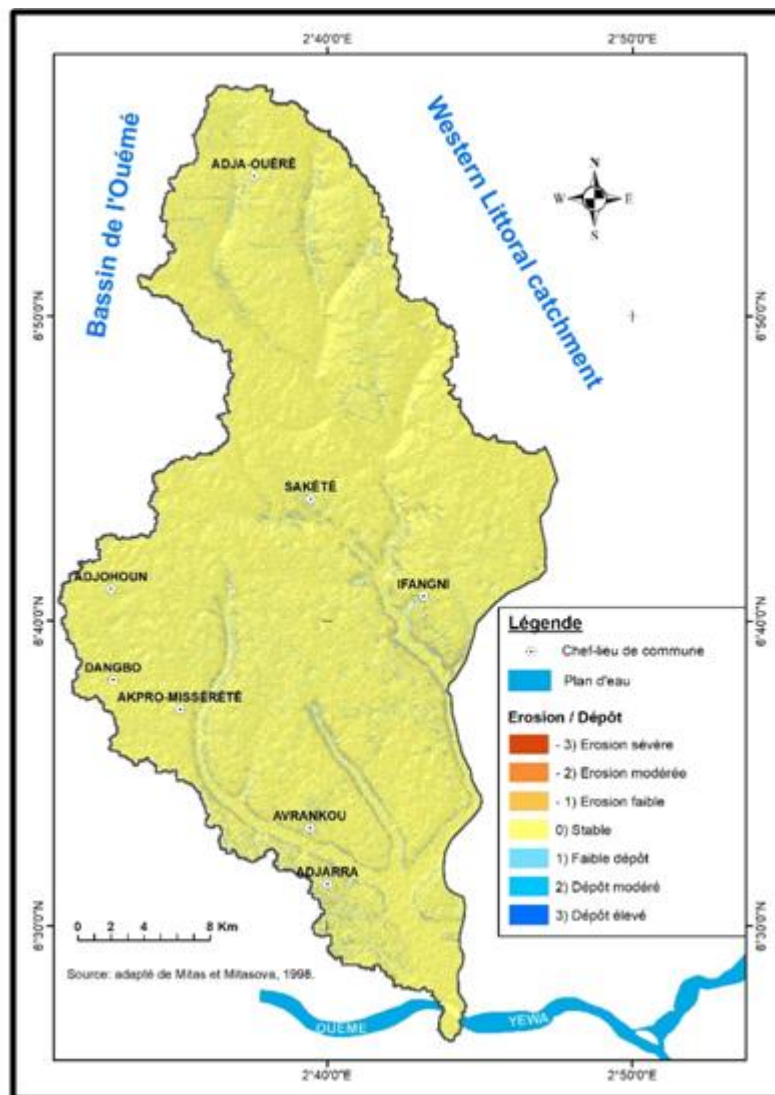


Fig. 11 : Risques d'érosion et de dépôt dans le bassin de la Yéwa

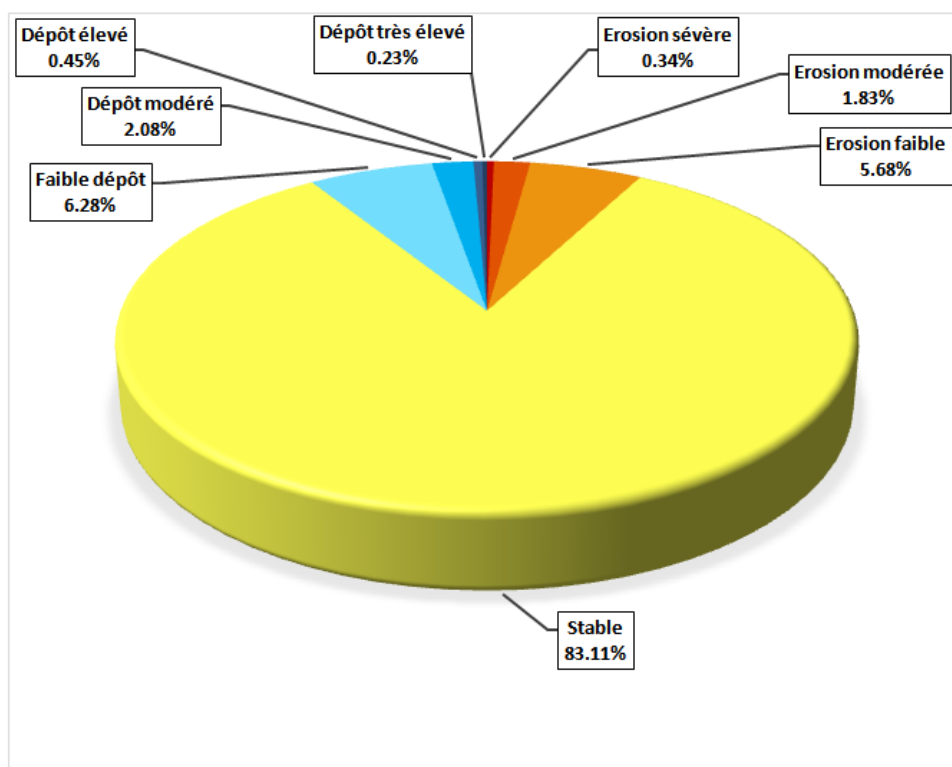


Fig. 12 : Proportion des risques d'érosion et de dépôt

V. Discussion

Les résultats obtenus corroborent de façon générale les nombreuses études menées en Afrique et dans le monde. C'est notamment celles réalisées par: [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [8], [32], [33], [7], [34], qui ont donné des résultats relativement similaires à ceux obtenus dans le bassin versant de la Yéwa au Bénin.

Dans la présente étude, les méthodes et techniques géospatiales ont permis de modéliser l'érosion hydrique et d'avoir une idée du rythme d'érosivité dans le bassin de la Yéwa au Bénin. La mise en œuvre du modèle empirique USPED apporte une information intéressante sur les processus (ruissellement, Érosion et dépôt de sédiment) encourus sur le bassin. Certains auteurs l'ont utilisé et sont parvenus à des résultats concluants. Notamment: [32] qui a quantifié, analysé et cartographié les zones à risque d'érosion à l'aide du modèle USPED pour la modélisation des principaux facteurs impliqués dans les phénomènes érosifs du bassin versant de la basse vallée du Mono. Une approche de modélisation de l'érosion des sols basée sur un SIG avec la détection des changements d'utilisation des terres a été combinée pour quantifier l'influence de l'évolution de l'utilisation des terres sur le risque d'érosion.

[35] ont utilisé le modèle USPED pour la modélisation de l'érosion du sol et une meilleure gestion des pratiques de conservation du sol dans le bassin de la rivière Romagna (Italy). La méthode a été mise en œuvre dans un environnement SIG et utilisée pour cartographier les sols d'érosion et les contraintes d'utilisation des terres en vue de la conservation des sols. À la suite de la modélisation, une carte de recommandations pour la conservation des sols a été publiée pour une utilisation dans la gestion pratique des terres. La mise en œuvre du modèle USPED a permis de prévoir avec précision relative l'érosion des sols et les dépôts de sédiments, aussi bien spatialement que volumétriques à l'échelle du bassin versant. Les résultats pourraient être améliorés en couplant la méthode prédictive avec la technique de mesure directe sur parcelle expérimentale. Les perspectives de la recherche devront inclure cela. Il s'agit là donc d'une piste pour poursuivre la recherche afin de comparer l'érosion et dépôt estimés à celle effectivement observée sur le terrain.

VI. Conclusion

L'un des défis des acteurs de l'eau est de mieux appréhender le fonctionnement des bassins versants afin de mieux les aménager et de les protéger. L'étude de l'érosion et du transport de sédiments dans le bassin de la Yéwa au Bénin exige des expérimentations et de murir la réflexion sur la conception d'un modèle intégrant des données contextuelles. L'évaluation de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique dans le bassin de la Yéwa a été effectuée par méthode de prédiction à l'aide du modèle USPED. Le résultat du calcul du modèle USPED a montré que le bassin de la Yéwa au Bénin enregistre un bilan positif. De façon générale, les pertes de sols moins importantes sont associées au couvert dense telles que les forêts denses de la partie sud du bassin et à

l'inverse les valeurs plus élevées sont associées aux sols nus ou aux sous couverts dégradés. Il ressort de cela que l'érosion dans la région d'étude est essentiellement contrôlée par la densité du couvert végétal et la topographie. USPED reste un modèle de transport limité. Les difficultés apparues concernent essentiellement l'acquisition de données nécessaires pour alimenter les modèles, en particulier, la détermination de l'agressivité des précipitations. Les résultats pourraient être améliorés en comparant les résultats aux estimations sur le terrain.

La mise en œuvre du modèle USPED a permis de mieux comprendre le processus de l'érosion dans le bassin de la Yéwa au Bénin. La cartographie de ces phénomènes est nécessaire pour réfléchir aux moyens de lutte adaptés et pour les futurs projets d'aménagement du territoire. Le modèle USPED apporte une aide importante aux décideurs et aux aménageurs pour simuler des scénarios d'évolution du bassin et planifier les interventions de lutte contre l'érosion, surtout dans les zones où l'érosion en nappe est prédominante sur l'érosion linéaire suivie d'une importante perte de sédiment. Elle permet aussi de suivre l'impact de l'utilisation des sols et des aménagements. Pour régler le problème de l'érosion, des solutions simples, économiques et faciles à mettre en place n'existe que rarement. Les mesures de lutte contre l'érosion hydrique concernent la gestion agricole et la maîtrise de l'eau. En ce qui concerne la gestion agricole, on retient le développement par les populations agriculteurs des cultures et billonnages en courbe de niveau, des cultures intermédiaires et surtout une préservation du couvert végétal dense. Le billonnage augmente l'infiltration de l'eau et participe à la diminution de la vitesse du ruissellement grâce à la rugosité apportée par ces éléments. Pour ce qui est de la maîtrise de l'eau, on retient la mise en place d'un système de gestion du ruissellement par une approche de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE). Ce qui représente un processus de promotion du développement et de la gestion coordonnée de l'eau, des terres et des ressources associées.

Pour finir, les résultats obtenus ici sur le bassin de la Yéwa sont d'autant plus importants que les études et mesures de l'érosion hydrique dans cette zone étaient très rares, voire inexistantes. En perspective, il serait intéressant de voir l'impact de ce risque d'érosion hydrique sur les populations vivantes dans le bassin avec une prévision vers le futur; ou encore l'application du modèle sur d'autres bassins où des travaux de cartographie de l'état de l'érosion par les méthodes conventionnelles sont disponibles afin de comparer les résultats obtenus.

References

- [1]. Grouzis M., Dégénération des écosystèmes: l'eau au cœur de la science, IRD Editions, 2012, 162p
- [2]. ELD Initiative & UNEP. L'économie de la dégradation des terres en Afrique: les bénéfices de l'action l'emportent sur ses frais; disponible sur www.eld-initiative.org, 2015, 40p.
- [3]. Moukchane, M. Différentes méthodes d'estimation de l'érosion dans le bassin versant de Nakhla (Rif occidental, Maroc); Bulletin du Réseau Érosion 21: 2002, 255-265pp.
- [4]. Khali Issa L., Ben Hamman Lech-Hab K., Raissouni A., El Arrim A. Cartographie Quantitative du Risque d'Érosion des Sols par Approche SIG/USLE au Niveau du Bassin Versant Kalaya (Maroc Nord Occidental). *J. Mater. Environ. Sci.* 7 (8) (2016) 2778-2795.
- [5]. FAO. Déclaration d'Abuja sur les engrais au cadre de gestion durable des sols pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle en Afrique à l'horizon 2030: Stimuler les sols africains, Partenariat Mondial Sur Les Sols. 2016, Rome. 16p
- [6]. Agoïnon N., Esquissomorphodynamique d'un bassin versant du cours moyen de l'Ouémé: cas du bassin versant de Tèwi. Mémoire de DEA endynamique des Ecosystèmes et Aménagement du Territoire. FLASH / UAC, 2006, 69 p.
- [7]. Eténé C. G., Érosion ravinante dans l'Arrondissement de Togba au Bénin, Climat et Développement, Laboratoire Pierre PAGNEY: Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE), de l'Université d'Abomey-Calavi (Bénin). ISSN: 1840-5452, ISBN-10: 99919-58-64-9. 2017, pp. 41 à 56.
- [8]. Agoïnon N., Etude morphodynamique du bassin versant du Zou à l'exutoire de Domè (Bénin), Thèse de doctorat unique, de l'université d'Abomey-Calavi, Bénin, 2012, 239p.
- [9]. Amoussou E., Variabilité pluviométrique et dynamique hydro-sédimentaire du bassin versant du complexe fluvio-lagunaire Mono-Ahémé-Couffo (Afrique de l'Ouest). Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 2010, 315p.
- [10]. FAO. Special event on impact of climate change, pests and diseases on food security and poverty reduction. 31st Session of the Committee on World Food Security. Rome, 2005, 10p.
- [11]. Domingo E., Pression agricole et risques d'érosion dans le bassin versant du Lomon, affluent du Mono (département du Mono-Bénin) Université Nationale du Bénin, 1996, pp181-194.
- [12]. Fondation DARA International., indice de réduction des risques (RRI) en Afrique de l'ouest Analyse des conditions et des capacités pour la réduction des risques de catastrophe, 2013, 234p.
- [13]. Délusca K. Estimation de l'érosion hydrique des sols à l'aide de l'Equation Universelle de Perte de Sol, assistée d'un Système d'Information Géographique : Le cas du bassin versant de la ravine Balan, Haïti. Thèse de maîtrise, Moncton, 1998, 110p.
- [14]. Adeaga O., Modelling Rainfall-Runoff Relationship in Ungauged Basins: A Case Study of Yewa Basin. In: Theses presented in AMMA since 2002, Newsletter Internationale AMMA n°. 10, 2005, 239p.
- [15]. Toundoh O. P., Susceptibilité des sols à l'érosion hydrique dans le bassin versant transfrontalier de la Yéwa (Bénin - Nigéria). Projet de recherche de fin de formation pour l'obtention du diplôme de Master of Sciences (M.Sc), Centre Régional de Formation aux Techniques des Levés Aérospatiaux (RECTAS), 2015, 144p.
- [16]. Junge B., Abaidoo R. C., Chikoye D., et Stahr K., Soil Conservation in Nigeria : Past and present on-station and on-farm initiatives, Soil and Water Conservation Society Ankeny, Iowa, 2008, 34p.
- [17]. Lal, R. Soil Degradation by Erosion. *Land Degradation and Development* 12: 2001, pp 519-539.
- [18]. Ologe, K.O., Soil erosion characteristics, processes and extent in the Nigerian savanna. In Proceedings of the Conference on Ecological Disasters in Nigeria: Soil Erosion. Owerri, September 1986, Lagos: Federal Ministry of Science and Technology, 1988, pp26-47.
- [19]. Stamp, L. D. Land utilization and soil erosion in Nigeria. *Geographical Review* 28: 1938, pp32-45.

- [20]. Mitas L. & Mitasova H., Distributed soil erosion simulation for effective erosion/deposition modeling and enhanced dynamic visualization. *Water Resources Research* 34: 1998, pp505 - 516.
- [21]. Azontonde H. A., Propriétés physiques et hydrauliques des sols au Bénin, Soil Water Balance in the SudanoSahelian Zone (Proceedings of the Niamey Workshop, February 1991). IAHS Publ. no. 199, 1991, 10p.
- [22]. Wolff E., Télédétection. Notes de Cours, DESS en Gestion des Ressources Naturelles. AGE-FSA/UAC. Abomey-Calavi, Bénin. 2006, 182p.
- [23]. Toko M. I., Facteurs déterminants de la fragmentation des écosystèmes forestiers : cas des flots de forêts densessèches de la forêt classée des Monts Kouffé et de sa périphérie au Bénin Thèse de Doctorat Unique. FLASH. Université d'Abomey-Calavi. Bénin. 2014, 235p.
- [24]. Roose E., Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en petites parcelles. Édité. ORSTOM, Paris, série Travaux et Documents, n°78, 1977, 108 p.
- [25]. Collinet J., Étude expérimentale de l'érosion hydrique de sols représentatifs de l'Afrique de l'Ouest, Cahier ORSTOM, série pédologie, vol. XXIV, no 3, 1988, pp235-254.
- [26]. Mitasova H., Thaxton C., Hofierka J., McLaughlin R., Moore A., Mitas L., Path sampling method for modeling overland water flow, sediment transport, and short-term terrain evolution in Open Source GIS, University North Carolina, 1999, 12p.
- [27]. Mitasova H., Barton M., Ullah I., Hofierka J., and Harmon R. S. GIS--Based Soil Erosion Modeling. In: John F. Shroder (ed.) *Treatise on Geomorphology*, Volume 3, San Diego: Academic Press. 2013, pp. 228 - 258.
- [28]. Sadiki A., Bouhlassa S., Auajlar J., Faleh A. et Macaire JJ., 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, 2004, n°26, 2004, pp 69-79.
- [29]. Chen, J., A.D. Del Genio, B.E. Carlson, and M.G. Bosilovich, The spatiotemporal structure of twentieth-century climate variations in observations and reanalyses. Part I: Long-term trend. *J. Climate*, 21, 2008, pp2611-2633, doi:10.1175/2007JCLI2011.1.
- [30]. Boko G. J., Cartographie du risque érosif utilisant l'USLE et les SIG: cas du bassin béninois du Niger, Mémoire de DEA, EDP/FLASH, UAC, 2009, 96p.
- [31]. Payet E., Dumas P., Pennober G., 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 [En ligne]*, Volume 11 Numéro 3, 2011, 25p.
- [32]. Yadjemi H. O., Modélisation du Processus d'Érosion dans la Basse Vallée du Mono, Bénin. Projet de recherche de fin de formation pour l'obtention du diplôme de Master of Sciences (M.Sc), Centre Régional de Formation aux Techniques des Levés Aérospatiaux (RECTAS), 2016, 135p.
- [33]. Maman Issa S., R. Ogouwale, C. G. Etene, E. W. Vissin, et F. Gnimassou. Variation spatiale des pluies et érosion hydrique dans le bassin versant de Hla.: *Revue de Géographie de Lomé du Laboratoire de Recherche sur la Dynamique des Milieux et Sociétés (LARDYMES) de l'Université de Lomé (Togo)*, 2017, pp. 156-166
- [34]. El Hafid D. et Akdim B. 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*, 2018, 14 (5), ISSN: 1857 - 7881, 2018, pp. 83-94.
- [35]. Pistocchi A., Cassani G., Zani O. Use of the USPED model for mapping soil erosion and managing best land conservation practices. *Regione Emilia Romagna, Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli Piazza G.B. Morgagni 2, 47100 Forlì, Italy*. 2000, pp163-168

Oluwatoyin Pierre Toundoh "Application Du Modèle empirique USPED À L'étude De L'érosion hydrique Dans Le Bassin De La Yéwa Au Bénin " *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, Vol. 09(01), 2020, PP0 67-78