

Quantification de la perte en sol par usage du modèle RUSLE dans un SIG: Cas du bassin versant d’Affon-Donga

[Quantification of soil loss by using the RUSLE model in a GIS: Case of the Affon-Donga watershed]

*Fousséni Gbadamassi¹, Maman-Sani Issa², Imorou F. Ouorou Barre³, Luc Adetona¹, Amrouche Alhaji⁴, Yahiri Léto Christian⁴,
and Jean Bosco Vodounou¹*

¹Laboratoire des Géosciences de l’Environnement et de Cartographie (LaGECa), Université de Parakou (UP), Benin

²Centre InterFacultaire pour la Recherche en Environnement et Développement Durable, Institut de Géographie, Aménagement du Territoire et Environnement (CIFRED, IGATE), Benin

³Laboratoire d’Hydrologie et de Modélisation Environnementale (HydroModE-Lab), Université de Parakou (UP), Benin

⁴Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Université de Parakou (UP), Benin

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The upstream side of the large watersheds of Benin is undergoing accelerated degradation phenomena, due to human pressure. The objective of this study is to quantify the loss of cultivable soil in the Affon-Donga watershed. The methodological approach adopted was to use the RUSLE model to quantify soil loss. Raster data such as SoilGrids images from ISRIC, elevation images from ASTER GDEM, Landsat OLI images, WoldClim data as well as terrain data were used to prepare the five factors of the model. The results obtained show that the soil loss varies between 0 and 21,598.63 t / ha / year in the Affon-Donga watershed. The loss values of between 10 and 500 t / ha / year occupy 40.54% of the basin. The colossal losses which exceed 500 t / ha / year and go up to 21,598.62 t / ha / year are dispersed over 3.95% of the basin. The average soil loss is 1443.81 t / ha / year and the rate of erosion or the amount of soil moved generally from upstream to downstream is 633,562,753.72 t / year. As the long-term result of such an ecosystem dynamic, cultivable spaces will become scarce while the processes of filling and meandering of downstream rivers will be amplified.

KEYWORDS: Erosion rate, RUSLE model, loss of cultivable land, Affon-Donga, Benin.

RESUME: L’amont des grands bassins versants du Bénin subit des phénomènes de dégradation accélérée, en raison des pressions humaines. L’objectif de cette étude est de quantifier la perte en sol cultivables dans le bassin versant d’Affon-Donga. L’approche méthodologique adoptée a consisté à l’utilisation du modèle RUSLE pour quantifier la perte en sol. Les données matricielles telles que les images de SoilGrids d’ISRIC, les images d’élévation d’ASTER GDEM, les images de Landsat OLI, les données de WoldClim ainsi que les données de terrain ont permis de préparer les cinq facteurs du modèle. Les résultats obtenus montrent que la perte en sol varie entre 0 et 21598,63 t/ha/an dans le bassin versant d’Affon-Donga. Les valeurs des pertes comprises entre 10 et 500 t/ha/an occupent 40,54 % du bassin. Les pertes colossales qui dépassent 500 t/ha/an allant jusqu’à 21598,62 t/ha/an sont dispersées sur 3,95 % du bassin. La perte moyenne en sol est de 1443,81 t/ha/an et le taux d’érosion ou la quantité de sol déplacée généralement de l’amont vers l’aval est de 633 562 753,72 t/an. Comme résultante à long terme d’une telle dynamique écosystémique, les espaces cultivables se raréfieront tandis que les processus de comblement et de méandrisation des cours d’eau en aval s’amplifieraient.

MOTS-CLEFS: Taux d’érosion, modèle RUSLE, perte d’espaces cultivables, Affon-Donga, Bénin.

1 INTRODUCTION

Les terres agricoles de la planète de vie sont en danger d’érosion. L’humanité dispose actuellement d’environ 30 millions de km² de terres arables pour se nourrir dans les conditions économiques du début de ce 21^{ème} siècle [1]. Les changements de structures, de techniques et de modes d’utilisation des sols provoquent une spectaculaire dégradation physique, chimique et biologique des terres agricoles. Au Canada, les pertes attribuées à la dégradation des sols dépassent 15 à 26 milliards de dollars canadiens par hectare de terre arable par année et représentent en moyenne 38 % du revenu agricole net du Canada [2]. Dans la zone sahélienne, la dégradation des terres est due essentiellement à de mauvais modes de gestion, à l’insuffisance de terre, leur surexploitation, au non restitution des éléments du sol et aux sécheresses [3]. La destruction des agrégats du sol causée par le labour, dépend du type de l’outil de travail utilisé et de la profondeur de la couche du sol [4]. La perte des terres dans un bassin versant par exemple, est due à l’extension des sols peu évolués de grande érodibilité, aux fortes pentes et à l’absence du couvert végétal dense [5]. Les formations végétales comme les forêts galeries, les forêts claires et les savanes arborées sont devenues des formations végétales rares et s’observent le plus souvent au niveau des terres marginales inaptées à l’agriculture [6]. Ainsi, une étude faite au Burkina Faso révèle que les systèmes de productions agricoles inadaptés donnent lieu à une augmentation de l’érosion hydrique et à une perte de terre estimée à 8,42 à 36,35 t/ha/an [7]. L’érosion hydrique des sols dans le bassin versant de Ben Ahmed au Maroc Central montre que les taux d’érosion varient entre 4,3 t/ha et 12,3 t/ha pour une séquence de pluie de 60 mm/h sur 30 minutes [8]. Chaque pays au monde est sujet à l’érosion des terres [9]. C’est aussi le cas du Bénin, dont les amonts des grands bassins versants en souffrent énormément. C’est pourquoi, la présente étude s’intéresse au bassin versant d’Affon-Donga pour quantifier la perte en sol par usage du modèle RUSLE dans un SIG..

2 MATÉRIELS ET MÉTHODE

2.1 SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le milieu d’étude est la partie Nord-Ouest de la haute vallée de l’Ouémé comportant la source de l’Ouémé dans les monts Tanekas [10]. Il s’agit du bassin versant d’Affon-Donga (Fig. 1.).

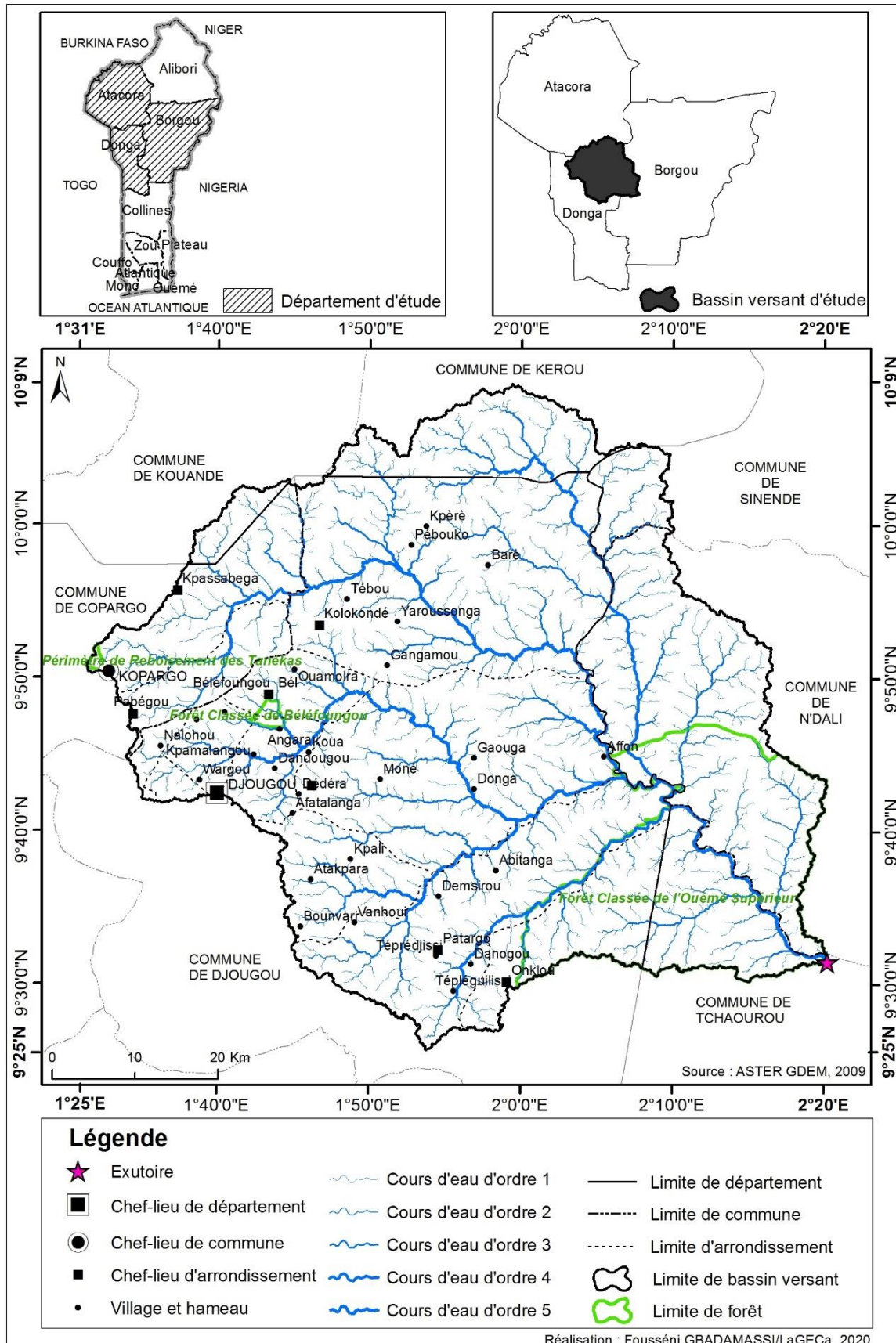


Fig. 1. Situation géographique du bassin versant d'Affon-Donga

D’après la figure 1, le bassin versant d’Affon-Donga est localisé entre 01°31’ et 02°20’ longitudes est puis entre 09°25’ et 10°9’ latitudes nord. Il couvre une superficie de 4388,14 km² avec un périmètre de 286,33 km. Il a une forme presque circulaire (K_G = 1,2) avec une longueur du rectangle équivalent de 96,45 Km et une largeur de 45,49 Km. La ramification du réseau hydrographique est ordonnée selon la classification de Strahler. Les cours d’eau d’ordre 1 de ce réseau hydrographique sont les cours d’eau d’entre leurs sources et leurs premières confluences. La confluence de deux cours d’eau d’ordre 1 génère un cours d’eau d’ordre 2. La confluence de deux cours d’eau de même ordre débouche sur un cours d’eau de cet ordre plus 1. Mais, la confluence de deux cours d’eau d’ordre n-1 et d’ordre n donne un cours d’eau d’ordre n. L’ordre supérieur de cours d’eau est l’ordre 5. Cela signifie que le réseau hydrographique a une ramification bien développée avec un espacement régulier des confluences (R_c = 2,24). Le relief du bassin est fort et très érosif.

2.2 MÉTHODOLOGIE

La formule empirique de W. H. Wischmeier et D. D. Smith permet d’estimer le taux de perte en sol (USLE) [11]. Elle est le modèle mathématique combiné avec les techniques de SIG, utilisé par plusieurs auteurs scientifiques pour quantifier les pertes en sol. Elle se base sur 5 facteurs explicatifs de l’érosion hydrique dont l’équation est la suivante:

$$A_{(t/ha/an)} = R * K * LS * C * P$$

- A_(t/ha/an): Perte en sol par unité de surface et par an,
- R: Indice de pluie caractérisant l'agressivité climatique,
- K: Facteur d'érodabilité du sol,
- LS: indice combinant l'effet de la longueur L de parcelle et de la pente S,
- C: Indice des pratiques culturales,
- P: Indice d'aménagement antiérosif.

Le schéma conceptuel du modèle RUSLE se présente sur la figure 7.

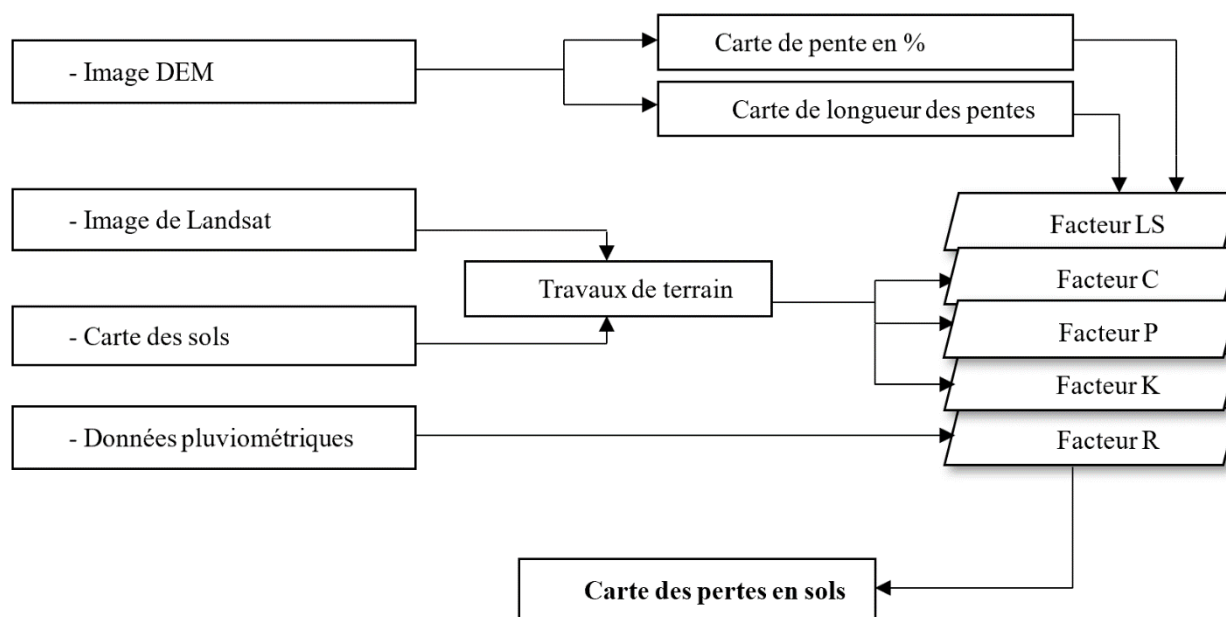


Fig. 2. Modèle conceptuelle d’évaluation des pertes en sol

D’après la figure 2, les cinq facteurs du modèle RUSLE sont élaborés à partir des images d’élévation, des images de Landsat, la carte des sols (appuyé par les travaux de terrain) et les données pluviométriques.

• **AGRESSIVITE DES PRECIPITATIONS (R)**

Le R est un indice d’agressivité des sols par rapport à la pluie. Il caractérise le pouvoir érosif par l’intensité de la pluie; plus la pluie est intense et plus elle dure longtemps, plus elle endommage le sol. Le facteur R s’exprime comme suit:

$$R = 0,264 \times F^{1,5}$$

F est l'indice de Fournier qui s'exprime comme suit:

$$F = \sum_{i=1}^{12} \frac{r_i}{P}$$

r_i : les précipitations mensuelles au carré;
 P: les précipitations annuelles en mm.

• **ERODABILITE DES SOLS (K)**

L'érodabilité du sol K détermine la résistance des différents types de sols d'une région à l'érosion. Certains sols sont plus sensibles à l'érosion hydrique que d'autres. En utilisant les proportions de sable fin, de limon et d'argile des sols des points d'observation, on réalise le diagramme ternaire et on procède à l'identification de la texture du sol de chaque point de prélèvement par rapport au diagramme de référence [12] de la figure 3.

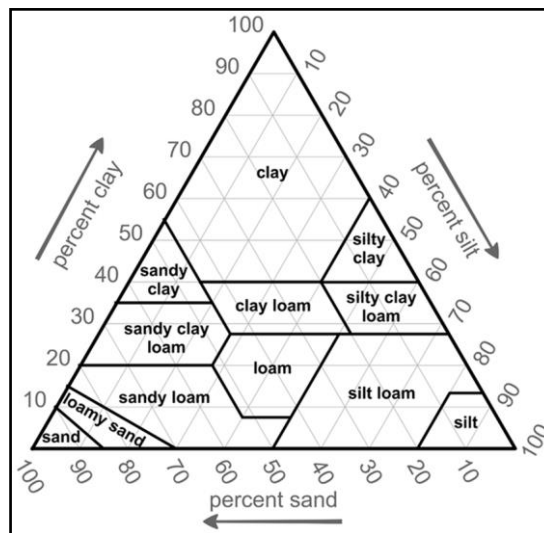


Fig. 3. Triangle de texture du sol

Après l'identification de la texture du sol, on identifie la valeur de K correspondant selon le tableau 1.

Tableau 1. Valeurs de K

Textural Class	K Factor tonnes/hectare (tons/acre)		
	Average OMC*	Less than 2 % OMC	More than 2 % OMC
Clay	0.49 (0.22)	0.54 (0.24)	0.47 (0.21)
Clay loam	0.67 (0.30)	0.74 (0.33)	0.63 (0.28)
Coarse sandy loam	0.16 (0.07)	–	0.16 (0.07)
Fine sand	0.18 (0.08)	0.20 (0.09)	0.13 (0.06)
Fine sandy loam	0.40 (0.18)	0.49 (0.22)	0.38 (0.17)
Heavy clay	0.38 (0.17)	0.43 (0.19)	0.34 (0.15)
Loam	0.67 (0.30)	0.76 (0.34)	0.58 (0.26)
Loamy fine sand	0.25 (0.11)	0.34 (0.15)	0.20 (0.09)
Loamy sand	0.09 (0.04)	0.11 (0.05)	0.09 (0.04)
Loamy very fine sand	0.87 (0.39)	0.99 (0.44)	0.56 (0.25)
Sand	0.04 (0.02)	0.07 (0.03)	0.02 (0.01)
Sandy clay loam	0.45 (0.20)	–	0.45 (0.20)
Sandy loam	0.29 (0.13)	0.31 (0.14)	0.27 (0.12)
Silt loam	0.85 (0.38)	0.92 (0.41)	0.83 (0.37)
Silty clay	0.58 (0.26)	0.61 (0.27)	0.58 (0.26)
Silty clay loam	0.72 (0.32)	0.79 (0.35)	0.67 (0.30)
Very fine sand	0.96 (0.43)	1.03 (0.46)	0.83 (0.37)
Very fine sandy loam	0.79 (0.35)	0.92 (0.41)	0.74 (0.33)

Source: FACTSHEET, 2012

• **FACTEUR TOPOGRAPHIQUE (LS)**

Le facteur LS est un indice topographique qui représente la morphologie du terrain. Il est calculé à partir du Modèle Numérique du Terrain (MNT) par superposition des cartes des longueurs des pentes et les gradients de pentes. La pente a une influence importante sur le processus de l'érosion hydrique. Elle aggrave l'effet du ruissellement des eaux de pluie.

$$LS = [0.065 + 0.0456 (\text{slope}) + 0.006541 (\text{slope})^2] (\text{slope length} \div \text{constant})^{NN}$$

La valeur de NN correspondant à la pente est consignée dans le tableau 2.

Tableau 2. Valeur de NN

S	< 1	1 ≤ Slope < 3	3 ≤ Slope < 5	≥ 5
NN	0,2	0,3	0,4	0,5

Source: FACTSHEET, 2012

La syntaxe écrite dans Raster Calculator sur ArcGIS est la suivante:

$$LS = (((("FlowAcc" * 30,76997121) / 22,1) ^ 0,5) * (0,065 + 0,045 * "Slope_%" + 0,0065 * ("Slope_%" * "Slope_%")))$$

• **OCCUPATION DES SOLS (C)**

Le facteur C est utilisé pour déterminer la densité du couvert végétal, l'efficacité relative à des principaux systèmes cultureux et la gestion des sols [11]. Les valeurs de C en fonction de l'occupation du sol sont inscrites dans le tableau 3.

Tableau 3. Valeau de C en fonction de l'occupation du sol

Land Use	C Indix
Dense forest	0.05
Open forest	0.10
Plantation	0.13
Matorral	0.20
Pasture	0.30
Agriculture	0.60
Bad Lands	1.00

Source: H. Lahlaoui et al, 2015, p. 133

• PRATIQUES ANTI-EROSIVES (P)

Le facteur P représente la protection du sol et les pratiques antiérosives réduisant la vitesse de ruissellement et diminuant ainsi le risque de l'érosion hydrique. Il varie en fonction des aménagements effectués [13]. Les valeurs du facteur P vont de 0 à 1; la valeur la plus élevée est attribuée aux zones sans conservation; les valeurs minimales correspondent aux zones bâties et aux plantations avec cultures en bandes dans le sens des courbes de niveau [14].

3 RESULTATS

Le modèle RUSLE permet d'évaluer la perte en sol dans le bassin. Pour compiler les facteurs qui entrent en jeu, il faut d'abord les distingués. Il s'agit de l'indice de pluie caractérisant l'agressivité climatique, du facteur d'érodabilité du sol, de l'indice combinant l'effet de la longueur L de parcelle et de la pente S, de l'indice des pratiques culturales et de l'indice d'aménagement antiérosif.

3.1 FACTEURS DU MODELE RUSLE

3.1.1 INDICE DE PLUIE CARACTERISANT L'AGRESSIVITE CLIMATIQUE (R)

La figure 4 suivante présente la répartition de l'agressivité pluviométrique du bassin.

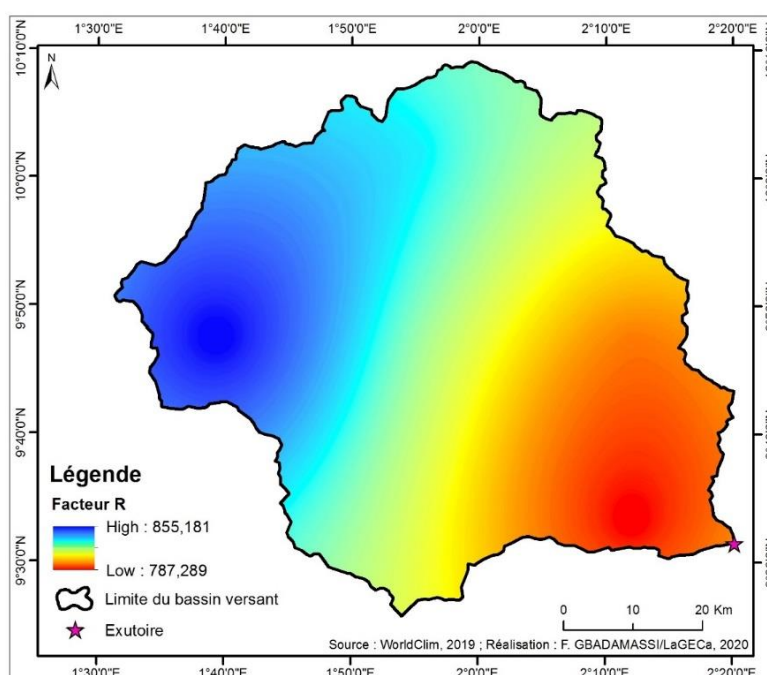


Fig. 4. Agressivité climatique dans le bassin

D’après la figure 4 l’agressivité pluviométrique est plus accentuée en amont ($R = 855,18$) du bassin qu’en aval ($R = 787,28$). Cette agressivité climatique signale l’intensification de l’érosion hydrique là où elle est forte en fonction de la résistance des types de sol présents dans le milieu.

3.1.2 FACTEUR D’ERODABILITE DU SOL (K)

La figure 5 montre l’érodabilité du sol.

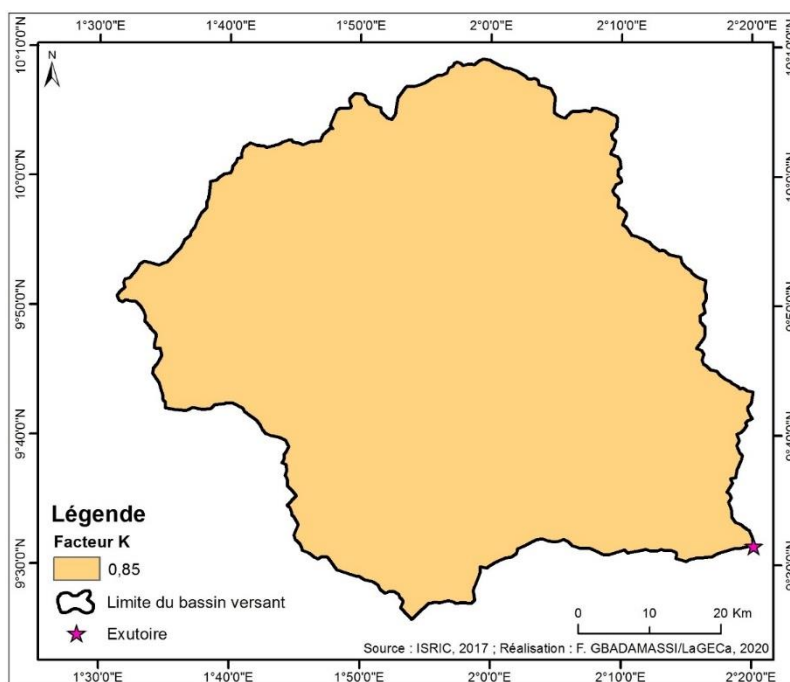


Fig. 5. Erodabilité du sol dans le bassin

La figure 5 montre que, l’érodabilité du sol est uniforme dans le bassin. Cette uniformité s’explique par la correspondance à la classe « Silt loam » (ou limon limoneux) (Figure a, Figure 6) des sites d’observation projetés sur le triangle de texture du sol (Figure b, Figure 6) qui s’accordent à la valeur 0,85 t/ha du tableau des valeurs K.

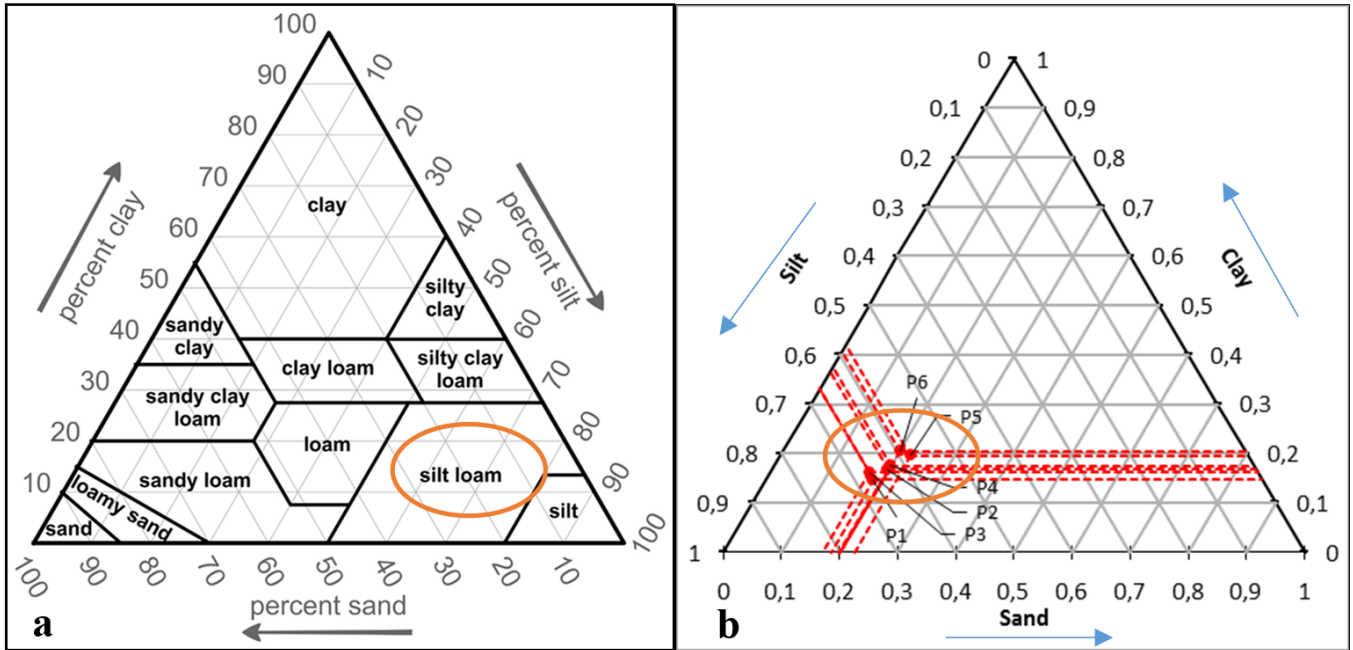


Fig. 6. Position des sites dans le triangle de texture

L'érodabilité des types de sol dépend aussi des longueurs de pente du milieu.

3.1.3 INDICE COMBINANT L'EFFET DE LA LONGUEUR L DE PARCELLE ET DE LA PENTE S

La figure 7 suivante présente les longueurs de pente du bassin.

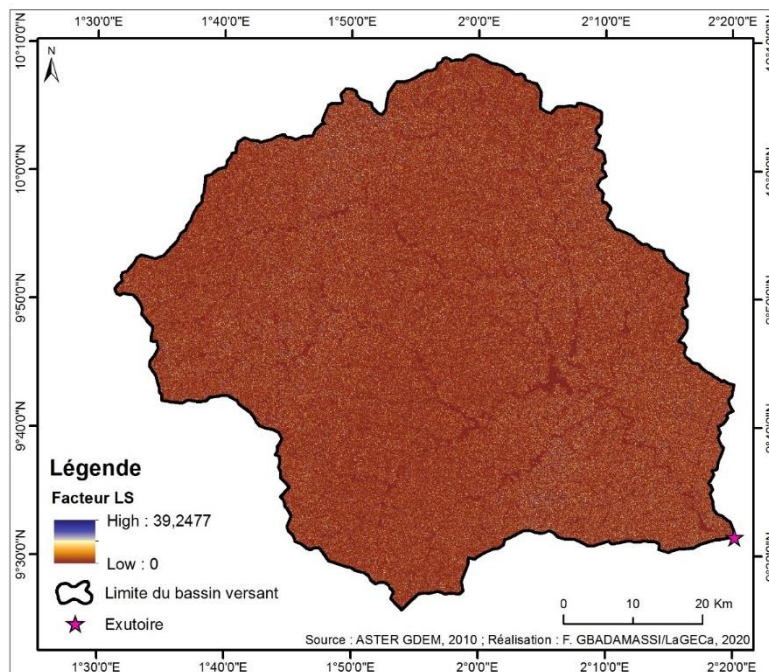


Fig. 7. Longueur de pente du milieu

La figure 7 présente les valeurs des longueurs de pente qui varient entre 0 et 39,25. Les basses valeurs se localisent au niveau des zones basses autour des cours d’eau. Les valeurs situées entre 5 et 10 sont les plus répandues dans le bassin. Les fortes valeurs se retrouvent sur les sommets de façon dispersée. Ainsi, la pente accélère l’érosion hydrique des sols. Cependant, la couverture végétale arrive à l’atténuer autant que faire se peut.

3.1.4 INDICE DES PRATIQUES CULTURALES (C)

La figure 8 présente l’indice des pratiques culturales selon la protection du sol.

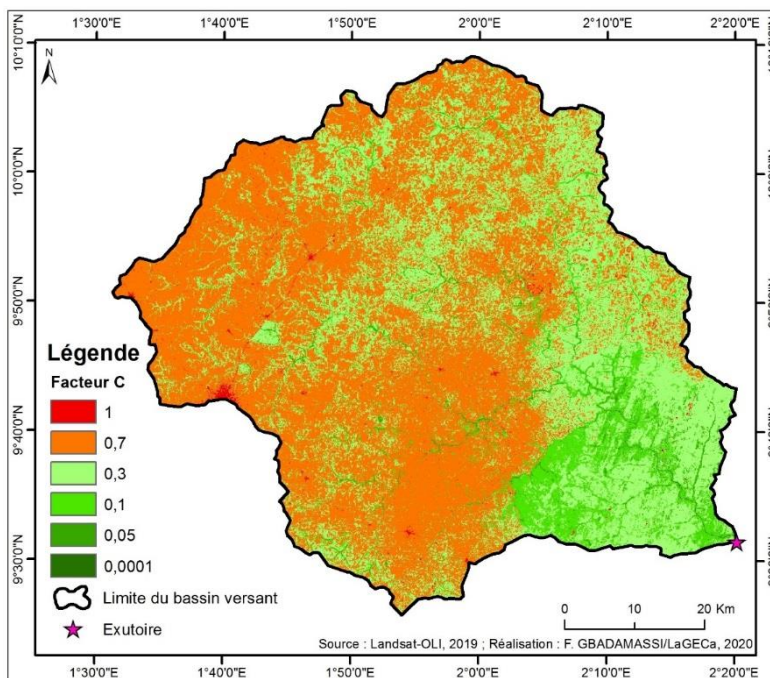


Fig. 8. Pratiques culturales dans le bassin

La figure 8 montre que, les valeurs du facteur C varient entre 0,0001 et 1. Les valeurs plus faibles se retrouvent dans les zones couvertes par la végétation. Les valeurs 0,7 traduisent les zones de culture et la valeur 1 représente les agglomérations et les affleurements rocheux. Les zones de cultures sont les zones exposées à l’érosion si les aménagements antiérosifs n’y sont pas installés.

3.1.5 INDICE D’AMENAGEMENT ANTIEROSIF (P)

La figure 9 présent la répartition des indices d’aménagement antiérosif des sols dans le bassin.

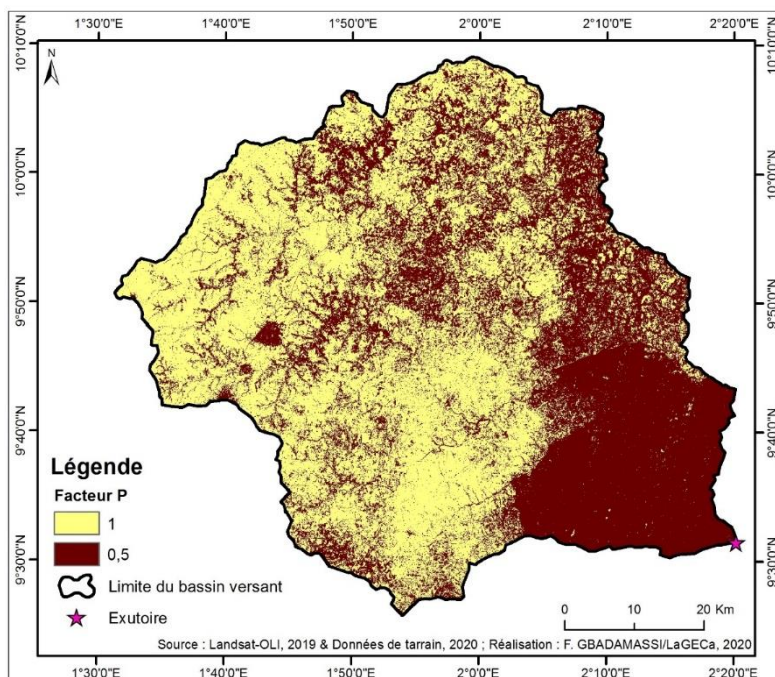


Fig. 9. Antiérosivité du bassin

La figure 9 indique les zones antiérosives de valeur faible ($P = 0,5$) du milieu sont d'ordre naturel tel que les forêts et d'ordre anthropique tel que les agglomérations. La zone de forte valeur ($P = 1$) est dans les zones de culture. Car, généralement les zones de culture sont sans protection dans le bassin versant d'Affon-Donga.

3.2 COMBINAISON DES FACTEURS

La combinaison des cinq facteurs du modèle RUSLE permet d'évaluer la perte en sol dans le bassin versant (figure 10).

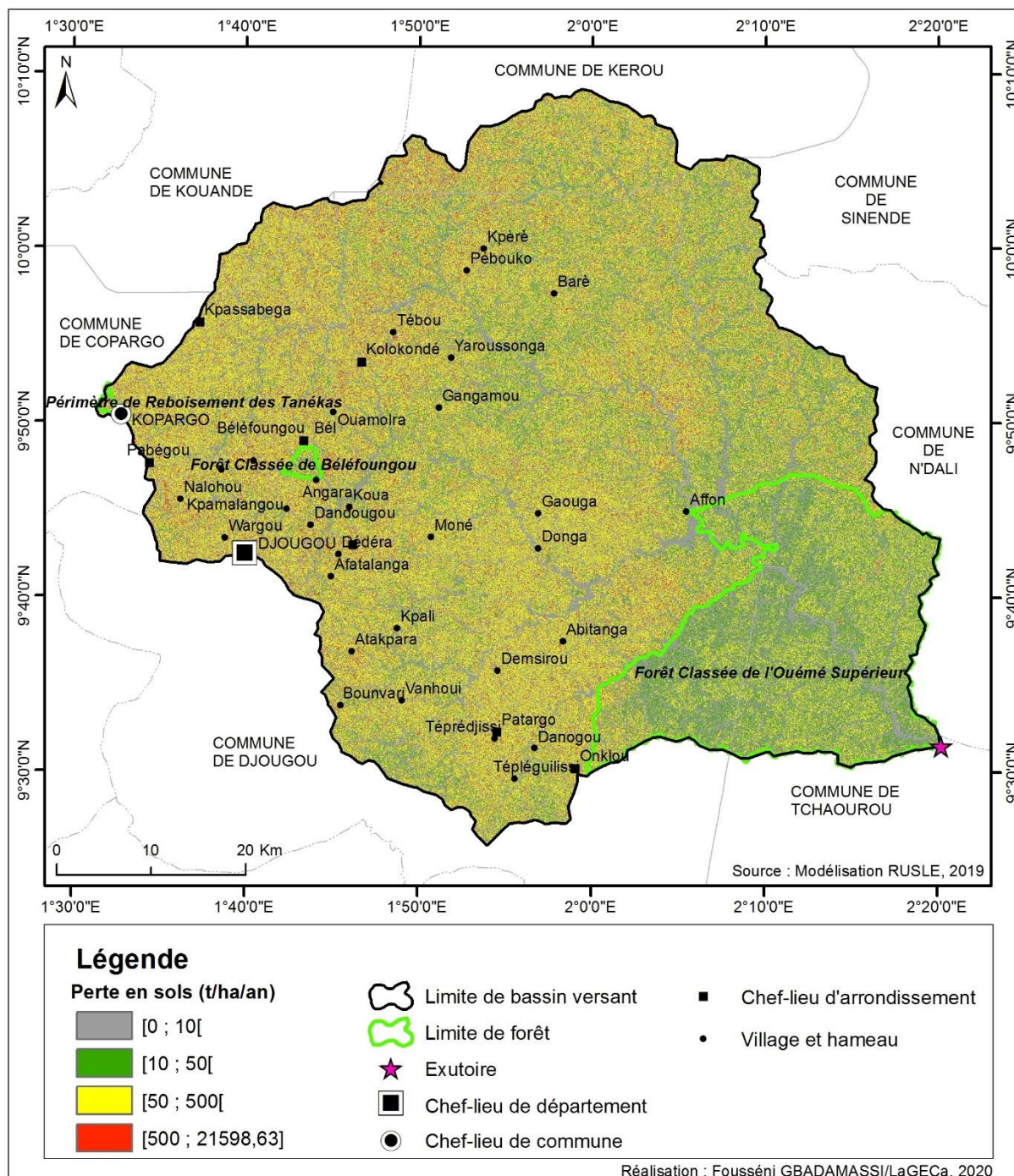


Fig. 10. Perte en sol dans le bassin versant d’Affon-Donga

La figure 10 présente la perte en sol dans le bassin évaluée en unité de tonne par hectare par an (t/ha/an). La perte en sol varie entre 0 et 21598,63 t/ha/an catégorisées en quatre classes. La première classe en couleur grise représente les pertes minimales en sol inférieures à 10 t/ha/an et se retrouve dans les dépressions principalement autour des cours d’eau et s’élargissent en aval du bassin. La deuxième classe en vert correspond aux pertes comprises entre 10 et 50 t/ha/an répartie vers les secteurs couverts par la végétation. La troisième classe en jaune constitue les pertes d’entre 50 et 500 t/ha/an répartie sur les versants non protégés. La dernière classe en rouge équivaut aux pertes maximales supérieures à 500 t/ha/an distribuée sur les sommets des collines.

D’après l’analyse spatiale effectuée, le seuil de tolérance des pertes en sol compris entre 0 et 10 t/ha/an occupe environ 55,5 % de la superficie du bassin (figure 11).

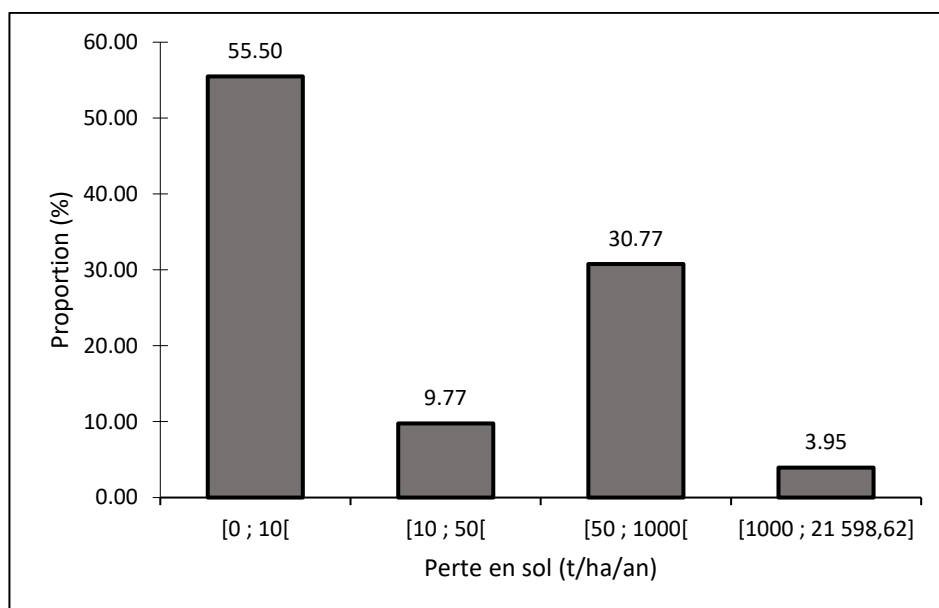


Fig. 11. Proportions des pertes en sol dans le bassin

La figure 11 montre que, les valeurs des pertes comprises entre 10 et 500 t/ha/an occupent 40,54 %. Les pertes colossales qui dépassent 500 t/ha/an allant jusqu'à 21598,62 t/ha/an sont dispersées sur 3,95 % du bassin. Ces zones sont principalement en amont du bassin et échouent progressivement en aval vers la Forêt Classée de l'Ouémé supérieur. Les localités de Kolokondé, de Kpassabéga, de Béléfoungou, de Djakpingou et de Copargo en souffrent réellement dans le bassin versant par leur exposition à l'érosion.

Globalement, la perte moyenne en sol est de 1443,81 t/ha/an. Le bassin versant d'Affon-Donga subit une perte en sol (soit le taux d'érosion ou la quantité de sol déplacée généralement de l'amont vers l'aval) de 633 562 753,72 t/an.

4 DISCUSSION

Dans le présent travail l'observation directe sur le terrain et le modèle RUSLE ont été utilisés pour présenter la conséquence fâcheuse de l'érosion à travers la quantification de la perte en sol dans le bassin versant d'Affon-Donga. Cette méthode adoptée diffère de la méthode de R. Alzouma Sanda *et al.*, qui se sont basés sur une cartographie diachronique de l'occupation du sol pour déterminer l'état de dégradation du bassin versant de Boubon au Niger par la dynamique des ravinements [15]. Cette différence de méthode utilisée s'explique par le fait que le modèle RUSLE s'intéresse beaucoup plus à l'érosion en nappe [16] que le ravinement. D'ailleurs, l'agressivité pluviométrique dans le bassin est très élevée et plus accentuée en amont ($R = 855,18$) qu'en aval ($R = 787,28$). Ces valeurs élevées de R sont des causes potentielles [17] de la perte en sol causée à travers l'érosion en nappe. De même, la perte moyenne en sol est de 1443,81 t/ha/an dans le bassin versant d'Affon-Donga. De même, elle est très faible de l'ordre de 5,4 t/ha/an dans le bassin versant de la Medjerda en Tunisie où l'agressivité pluviométrique ne dépasse guère 120 [18]. Il faut signaler qu'en dehors de l'agressivité il y a aussi l'érodabilité des sols qui favorise la perte en sol. Elle est de 0,84 t/ha dans le bassin versant d'Affon-Donga tandis qu'elle est faible, inférieure ou égale à: 0,36 t/ha dans le bassin de Medjerda [18]; 0,46 t/ha dans le bassin de Oued R'dom au Maroc, favorisant une perte modérée en sol de 11,19 t/ha/an [19].

Les valeurs extrêmement élevées de perte en sol occupent 3,95 % distribuées au niveau des sommets de versant. Ce résultat concorde avec la faible proportion de 4 % obtenue dans bassin versant d'El Gouazine en Tunisie [20] et 0,19 % dans la commune de Karangasso au Burkina Faso [7]. L'infériorité de proportion à Karangasso, s'explique par le fait qu'une commune ne saurait avoir les mêmes comportements géomorphologiques que tout un bassin versant. Le bassin versant d'Affon-Donga subit une perte totale en sol de 633 562 753,72 t/an. Ce résultat est extrêmement supérieur au résultat de M. Boufala *et al.*, qui est de 1 552 785,42 t/an dans le bassin versant de M'dez au Maroc de superficie 3350 Km² qui est proche de la superficie du bassin versant d'Affon-Donga [21].

5 CONCLUSION

Le modèle RUSLE est utilisé dans le présent travail pour quantifier la perte en sol dans le bassin versant d'Affon-Donga. La perte moyenne en sol est de 1443,81 t/ha/an dans le bassin dont la perte total est estimée à 633 562 753,72 t/an. Cette perte colossale est

occasionnée par la forte pluviosité du milieu, l'érodabilité élevée du sol et les grandes longueurs de pente. Pour réduire cette perte, il faut reprendre les types de labour antiérosif dans le bassin et interdire les labours dans les zones très érosives.

REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements à l'endroit de Monsieur YAGA Essowè pour nous avoir aidé à collecter les données et également à l'endroit de Monsieur AKPO Abakounouré pour nous avoir accordé un crédit pour exécuter les travaux de terrain.

REFERENCES

- [1] Brabant, P., Une méthode d'évaluation et de cartographie de la dégradation des terres, Proposition de directives normalisées. Les dossiers thématiques du CSFD. N°8. CSFD/Agropolis International, Montpellier, France, 2010.
- [2] P. S. Wicherek and R. M. Laverdiere, Les terres agricoles du Canada: dégradation et conservation, Cahiers Agricultures, 2, pp. 245-255, 1993.
- [3] O. M. Savadogo, K. Ouattara, J. Barron, I. Ouedraogo, L. Gordon, E. Enfors and P.Zombre Nabsanna, Etats des écosystèmes sahéliens: reverdissement, perte de la diversité et qualité des sols, Afrique SCIENCE, 11 (5), pp. 433 – 446, 2015.
- [4] R. Chibani, H. Bahri, M. Annabi and H. Cheikh M'hamed, L'agriculture de conservation comme alternative pour améliorer la résistance des sols à l'érosion hydrique dans le Nord de la Tunisie, Annales de l'INRAT, volume 91, ISSN: 0365-4761, pp. 86-97, 2018.
- [5] A. Ouallali, H. Aassoumi and M. Moukhchane, "Cartographie et évaluation de l'érosion hydrique à l'aide d'un SIG dans le bassin versant Arbaa Ayacha, Rif Occidental. Maroc", Acte de colloque CIJC, pp. 170-172, 2017.
- [6] H. B. Goma Boumba and M. J. Samba-Kimbata, "Analyse de l'impact des déterminants de dégradation du couvert végétal sur les composantes environnementales de la réserve de chasse de la Lefini (Congo)", Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement, n°1, pp. 75-89, 2019.
- [7] B. Ouedraogo, O. Kabore And M. Kabore, "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), pp. 1638-1653, 2019.
- [8] N. Aserar, R. Moussadek and A. Douira, "Etude quantitative de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de Ben ahmed (Maroc Central)", Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. 7 (2), pp. 385-389, 2019.
- [9] Croitoru L., Miranda J. J. and Sarraf M., Le coût de la dégradation de la zone côtière en Afrique de l'Ouest: Bénin, Côte d'Ivoire, Sénégal et Togo, WACA, Banque Mondiale, 2019.
- [10] MONIOD F., Régime hydrologique de l'Ouémé (Dahomey), Bureau Central Hydrologique, Cah. O.R.S.T.O.M., sbr. Hydrol., vol. du, n° 2, Paris, 1973.
- [11] Wischmeier H. W. and Smith D. D., Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning, N° 537, Departement of Agriculture, Science and Education Administration, 1978.
- [12] D. Groenendyk, T. Ferré, K. Thorp and A. Rice, Hydrologic-Process-Based Soil Texture Classifications for Improved Visualization of Landscape Function, PloS one. 10. e0131299. 10.1371/journal.pone.0131299, pp. 1-17, 2015.
- [13] D. El Hafid and B. Akdim, "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 Ori-ental)", European Scientific Journal, 14 (5), pp. 373-385, 2018.
- [14] Lahlaoui H., Rhinane H., Hilali A., Lahssini S. and Khalile L., "Potential Erosion Risk Calculation Using Remote Sensing and GIS in Oued El Maleh Watershed, Morocco", Journal of Geographic Information System, 7, pp. 128-139, 2015.
- [15] R. Alzouma Sanda, I. Mamadou and K. Souley Yero, "Impacts des aménagements antiérosifs sur les ravinements issus de deux plateaux du bassin versant de Boubon au Niger", Rev. Ivoir. Sci. Technol., 34, pp. 421 – 436, 2019.
- [16] M. Meliho, A. Khattabi, N. Mhammdi and Z. Hongming, "Cartographie Des Risques De L'érosion Hydrique Par L'equation Universelle Revisee Des Pertes En Sols, La Teledetection Et Les Sig Dans Le Bassin Versant De L'ourika (Haut Atlas, Maroc)", European Scientific Journal, vol.12, No.32 pp. 277-297, 2016.
- [17] F. Choukri, M. Chikhaoui, M. Naimi, D. Raclot, Y. Pepin and K. Lafia, "Impact du changement climatique sur l'évolution de l'érosivité des pluies dans le Rif Occidental (Nord du Maroc) ". European Scientific Journal, 12 (32), p.79-93, 2016.
- [18] T.Hermassi, W. Ben Khelifa and H. Hamadi, "Evaluation des risques érosifs au niveau du bassin versant de la Medjerda", Journées scientifiques de la Medjerda, pp. 101-104, 2016.
- [19] Ez-Zejjari I., Estimation de l'érosion hydrique dans le bassin versant Oued R'dom par la méthode révisée de Wischmeier, Mémoire de Master, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, 2017.
- [20] O. Hajji, S. Abidi, I. Mekni and T. Hermassi, "Quantification de l'érosion hydrique en contexte semi-aride méditerranéen (cas du bassin versant d'El Gouazine - Tunisie)", Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement (JISTEE): Volume IV – N° 1, pp. 233-242, 2019.
- [21] M. Boufala, A. El Hmaidi, O. Habiba, A. Essahaloui, K. Chadli, A. El Ouali And A. Lahjouj, Evaluation du risque d'érosion des sols par la méthode RUSLE dans le bassin versant de M'dez, Moyen Atlas, Maroc, Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement: Volume IV - Numéro 1, pp. 252-340, 2019.