

## Modélisation de l'érosion hydrique des sols cultivés ou non du plateau de Thiès (Sénégal)

### [ Water erosion modelling of cropped and uncropped soils on the Thies tray (Senegal) ]

*Abdoulaye Diédhiou<sup>1-2</sup>, Mamadou Lamine Lo<sup>1</sup>, Pape Babacar Diop Thioune<sup>1-3</sup>, Mahécor Diouf<sup>1</sup>, Mamadou Salif Diallo<sup>1</sup>, and El Hadji Bamba DIAW<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LaSTEE), Ecole Polytechnique de Thiès BPA 10 Thiès, Sénégal

<sup>2</sup>Ecole Supérieure Polytechnique, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, corniche Ouest BP 5085 Dakar-Fann, Sénégal

<sup>3</sup>Université de Thiès, Institut Supérieur Formation Agricole et Rural (ISFAR) BP 54, Bambey, Sénégal

Copyright © 2018 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 objective of the present work is to contribute to the study and the numerical modelling of the hydric erosion in the plateau of Thiès: through an application to the watershed of Kissane, according to the USLE (Universal Soil Loss Equation) model. The establishment of the USLE model requires data on the topography, the land use, the climatology and the pedology. One of the major difficulties in the elaboration of the model was the collection of relevant data. Indeed, the rural commune of Noto more exactly the village of Kissane is relatively little informed by the scientific bibliography. The geographical reference data on the topography, the precipitation, the land use either non-existent, or incomplete or obsolete on a small scale and the geo-referenced digital data are even rarer. The study, the combination of the data and in the modelling were operated in a Geographical Information System (GIS). Every factor is a digital estimation of a precise component that affects the gravity of the soil erosion in a given place. The realization of the land use map from the visual interpretation assisted by GIS, from the satellite imaging Landsat that covers the watershed of Kissane facilitated the extraction of the vegetation cover map, what allowed defining with more precision the most sensitive areas with erosion risk.

**KEYWORDS:** Kissane, water, soil, erosion, modelling.

**RÉSUMÉ:** Le présent travail a pour objectif de contribuer à l'étude et à la modélisation de l'érosion hydrique dans le plateau de Thiès : à travers une application au bassin versant de Kissane, selon le modèle USLE (Universal Soil Loss Equation). La mise en place du modèle USLE nécessite des données sur la topographie, l'occupation du sol, la climatologie et la pédologie. L'une des difficultés majeures à l'élaboration du modèle a été la collecte de données pertinentes. En effet, la commune rurale de Noto plus précisément le village de Kissane est relativement peu renseigné par la bibliographie scientifique. Les données géographiques de références sur, la topographie, les précipitations, l'occupation du sol sont inexistantes ou incomplètes à petite échelle et des données numériques géo référencées sont encore plus rares. L'analyse, la combinaison des données et la modélisation ont été opérées dans un système d'information Géographique (SIG). Chaque facteur est une estimation numérique d'une composante précise qui affecte la gravité de l'érosion du sol en un endroit donné. La réalisation de la carte d'occupation des sols à partir de l'interprétation visuelle assistée par SIG, de l'imagerie satellitaire Landsat qui couvre le bassin de Kissane a facilité l'extraction de la carte du couvert végétal, ce qui a permis de définir avec plus de précisions les zones les plus sensibles au risque d'érosion.

**MOTS-CLEFS:** Kissane, eau, sol, érosion, modélisation.

## 1 INTRODUCTION

Depuis plus d'une décennie, une tendance à la baisse du taux de croissance de la production agricole mondiale a été constatée et, plus particulièrement en ce qui concerne les céréales. En effet, après une progression de 2,3 % par an en moyenne entre 1950 et 1984, les rendements en céréales n'ont augmenté que de 1,8 % par an entre 1980-1984 et de 0,5 % dans les années 1990, soit moins du tiers du taux d'accroissement de la population mondiale. Cette baisse est surtout attribuée à la dégradation accélérée des sols [1]. Cette dégradation des sols va de la pollution à la salinisation causées par l'utilisation abusive de produits chimiques (fertilisants, pesticides etc.), en passant par l'érosion issue des mauvaises pratiques culturales. L'érosion est la forme la plus courante du processus de dégradation des sols. Selon des estimations empiriques faites sur une base annuelle, elle entraîne en moyenne de 5 à 10 tonnes de sol par hectare en Afrique, en Europe et en Australie, de 10 à 20 tonnes par hectare sur tout le continent américain, et près de 30 tonnes par hectare en Asie [1].

Ce processus de dégradation accélérée des sols constaté dans plusieurs régions dans le monde est également très présent au Sénégal [2].

Le principal objectif de ce travail est de faire une Contribution à l'étude et à la modélisation de l'érosion hydrique dans le plateau de Thiès : par le biais d'une application au bassin versant de Kissane.

La méthodologie est basée sur des développements théoriques s'appuyant sur de nombreux travaux expérimentaux recensés dans la littérature.

## 2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 2.1 DESCRIPTION DE LA ZONES D'ÉTUDE

La commune de Notto Djouss est localisée au centre de la région de Thiès. Elle est située à 12 km de la ville de Thiès et limitée au Nord-Ouest par la commune de Fandène, au Nord- Est par Thiéneba, au sud par la commune de Tassette et le département de Mbour et enfin à l'ouest par la commune de Keur Moussa. La commune regroupe 67 villages et couvre une superficie de 252,1 km<sup>2</sup>. Sa population est estimée à 49 614 habitants [2]. La zone d'étude concerne plus particulièrement le village de Kissane.

La commune rurale est subdivisée en cinq (05) Zones : Zone 1 : Baback, Zone 2 : Pout Diack, Zone 3 : Hanène, Zone 4 : Sanghé, Zone 5 : NottoDiobass.

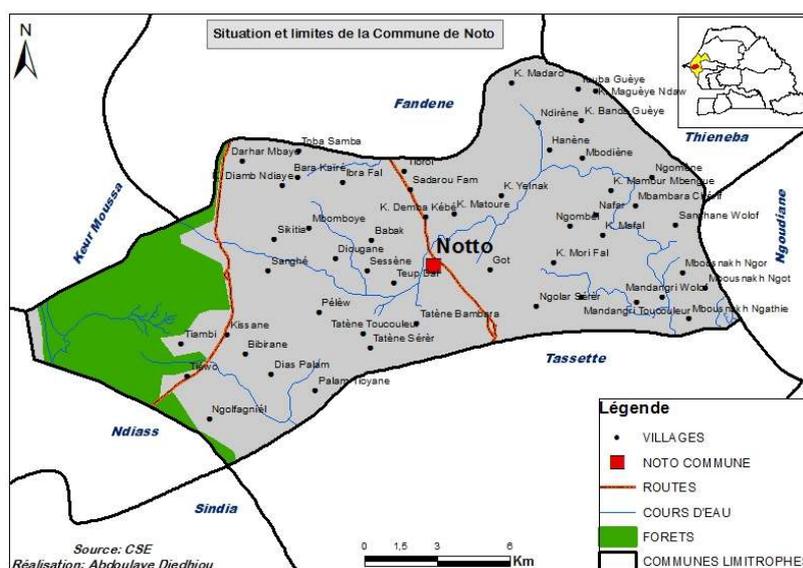


Fig. 1. Plan de situation de la zone de l'étude

## 2.2 METHODOLOGIE

Des campagnes de terrains seront menées pour le prélèvement d'échantillons de sol au niveau du bassin versant de Kissane. A partir de cartes Topographiques et d'informations tirées de la littérature, nous ciblerons des sites de sondages qui feront l'objet de ces campagnes de terrains. Les échantillons prélevés ont été testés au Laboratoire des Sciences et Techniques de l'Eau et de l'Environnement (LASTEE) – EPT conformément au programme géotechnique comprenant les essais suivants :

- La granulométrie par tamisage ;
- Les limites de consistance ou d'Atterberg ;
- L'essai équivalent de sable si les limites sont indéterminables ;
- Détermination de la teneur en matière organique ;
- Indice de stabilité structurale de Henin.

Selon le modèle USLE, l'érosion est une fonction multiplicative (Eq.1) tenant compte de l'érosivité des pluies (facteur R) et de la résistance du milieu (facteurs C, K, LS, P). Chaque facteur est une estimation numérique d'une composante précise qui affecte la gravité de l'érosion du sol en un endroit donné. Cinq facteurs servent à calculer les pertes en sol (A) : la topographie (LS), l'agressivité des précipitations (R), l'érodibilité du sol (K), le couvert végétal (C), les pratiques antiérosives (P), dont l'équation se présente sous la forme :

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

*A* : exprimant les pertes en sol annuelles moyennes possibles à long terme (t / ha.an),

*R* : exprimant l'indice d'érosivité des pluies (MJ.mm/ha.h.an),

*K* : exprimant l'indice d'érodibilité des sols (t. ha.h /ha.MJ.mm),

*LS* : exprimant le facteur de déclivité (adimensionnel),

*C* : exprimant le facteur végétation (adimensionnel),

*P* : exprimant le facteur de pratique de soutien (adimensionnel),

La mise en place du modèle USLE nécessite des données sur la topographie, l'occupation du sol, la climatologie et la pédologie. L'une des difficultés majeures à l'élaboration du modèle a été la collecte de données pertinentes. En effet, la commune de Notto plus précisément le village de Kissane est relativement peu renseigné par la bibliographie scientifique. Les données géographiques de références sur la topographie, les précipitations, l'occupation du sol sont soit inexistantes, soit incomplètes ou obsolètes à petite échelle et les données numériques géoréférencées sont encore plus rares.

## 3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats présentés détaillent d'une part le calcul et la spatialisation des différents facteurs de l'équation USLE (R, K, LS, C, P) et d'autre part la spatialisation et l'estimation des pertes de sols potentiellement émises (A) sur le bassin versant de Kissane. Les résultats trouvés dans le cadre de cette étude permettent de mettre en évidence le potentiel érosif du bassin versant de Kissane. Ils permettent une estimation des pertes de sols moyenne annuelle potentiellement fournie pour chaque maille de 100 m du bassin versant selon la modélisation USLE.

### 3.1 EVALUATION DU FACTEUR D'ÉROSIVITÉ DES PLUIES

L'érosivité des pluies a été calculée suivant l'équation de FOURNIER modifiée ARNOLDUS [3] en utilisant les précipitations mensuelles des mois allant de septembre à août, sur la période 2006/2017, de la station pluviométrique située dans la région de Thiès. Elle est donnée par l'équation (2) ci-dessous :

$$RI = \frac{\sum_{i=1}^{12} (MR)^2}{AR} \quad (2)$$

Avec *MR* : pluviométrie mensuelle en mm ; *AR* : Pluviométrie annuelle en mm.

Les valeurs moyennes de l'érosivité des pluies sur la période de 2006/2017, en effectuant la moyenne des indices d'érosivité des pluies des différentes périodes, ont ensuite été spatialisées, par interpolation, à l'échelle du bassin versant.

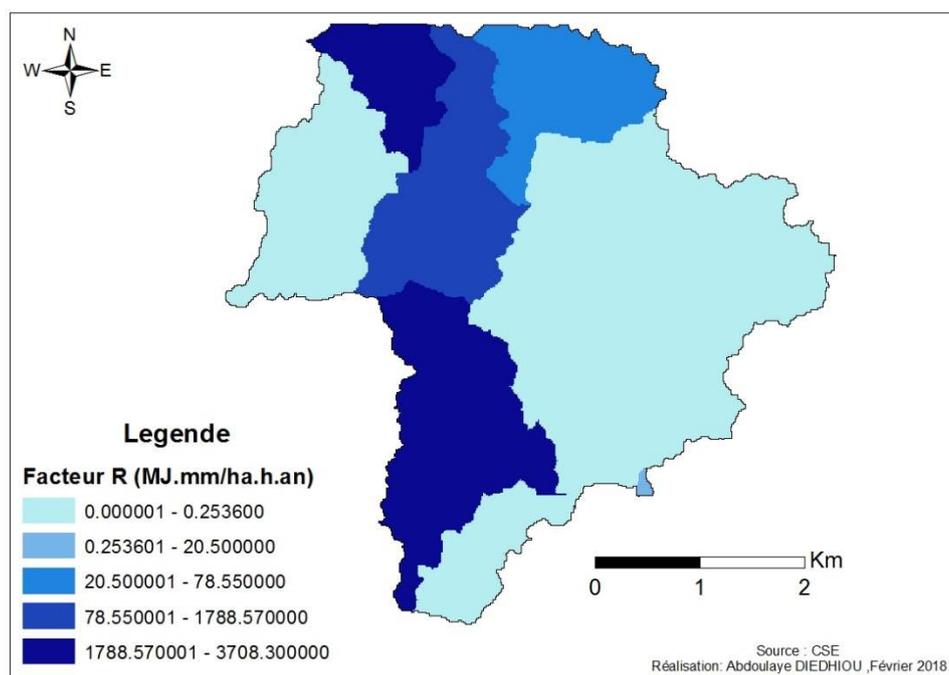


Fig. 2. Facteur R

### 3.1.1 CALCUL DE LA TOPOGRAPHIE LS

Ce facteur représente l'effet combiné de la longueur et l'inclinaison de la pente.

#### 3.1.1.1 POUR UNE PENTE RÉGULIÈRE

Suite à l'analyse de régression des résultats des parcelles d'érosion, Smith et Wischmeier [4] établissent les relations suivantes pour le facteur "L":

$$L = \left\{ \frac{\lambda}{221} \right\}^m \quad (3)$$

Avec L le facteur de longueur de la pente ;  $\lambda$  est la longueur de la pente (m) ; m exposant, généralement égale à 0,5.

Le facteur "S" est donné par l'équation [4] ci-dessous :

$$S = 0,065 + 0,045s + 0,0065s^2 \quad (4)$$

S étant le facteur d'inclinaison de la pente ; s est l'inclinaison de la pente (%).

La longueur de la pente représente le trajet que peut faire l'écoulement depuis le haut de la pente jusqu'à une structure d'interception.

L'exposant "m" est variable et est grandement influencé par les caractéristiques des sols, l'interaction pente – longueur et l'ampleur des tempêtes. L'influence de l'inclinaison de la pente a été expérimentée pour des pentes variant de 3% à 22%.

#### 3.1.1.2 POUR UNE PENTE IRRÉGULIÈRE

Pour les pentes irrégulières et complexes, Foster et Wischmeier [5] ont mis au point une méthode pour évaluer le facteur LS. La pente est divisée en plusieurs tronçons et le facteur LS calculé ainsi pour un exposant m de 0.5.

$$LS = \frac{1}{\lambda_e^{22,1^{0,5}}} \sum_{i=1}^n S_i \lambda_i^{1,5} - S_i \lambda_{i-1}^{1,5} \quad (5)$$

$\lambda_e$  = longueur totale de la pente depuis le haut jusqu'au point d'interception

$n$  = nombre de tronçons

$\lambda_i$  = longueur depuis le haut de la pente jusqu'à la fin du tronçon "i"

$\lambda_{i-1}$  = longueur depuis le haut de la pente jusqu'au début du tronçon "i"

$S_i$  = facteur d'inclinaison de la pente

Un programme informatique a été réalisé et un exemple de calcul est présenté au tableau 1.

Tableau 1. Calcul du facteur LS pour la pente complexe

Tronçon	$\lambda_i(m)$	$\lambda_{i-1}(m)$	s: pente %	S	U2*	U1*	U2-U1	$\lambda_e$	$\frac{U2-U1}{\lambda_e}$	LS	%**
1	122,22	0	8	0,84	242	0	242	1000	0,24	0,2417	4
2	225	122,22	10	1,17	836	335	502	1000	0,50	0,7433	8
3	271,4	225	8	0,84	800	604	196	1000	0,20	0,9393	3
4	600	271,4	9	0,99	3115	948	2168	1000	2,17	3,1069	35
5	687,5	600	8	0,84	3225	2629	596	1000	0,60	3,7026	10
6	777,78	687,5	8	0,84	3880	3225	656	1000	0,66	4,3582	11
7	855,56	777,78	8	0,84	4477	3880	596	1000	0,60	4,9546	10
8	862,5	855,56	7	0,69	3764	3718	45	1000	0,05	4,9999	1
9	875	862,5	8	0,84	4630	4531	99	1000	0,10	5,0988	2
10	912,5	875	9	0,99	5843	5486	356	1000	0,36	5,4553	6
11	1000	912,5	8	0,84	5657	4931	726	1000	0,73	6,1813	12
							<b>6181,28</b>		<b>6,18</b>		

\*\*Contribution de chaque tronçon

La méthode permet aussi de connaître les tronçons qui contribuent le plus à l'érosion et d'y concentrer notre action. Dans notre cas, le tronçon n°4 contribue à 35% de toute l'érosion de la pente.

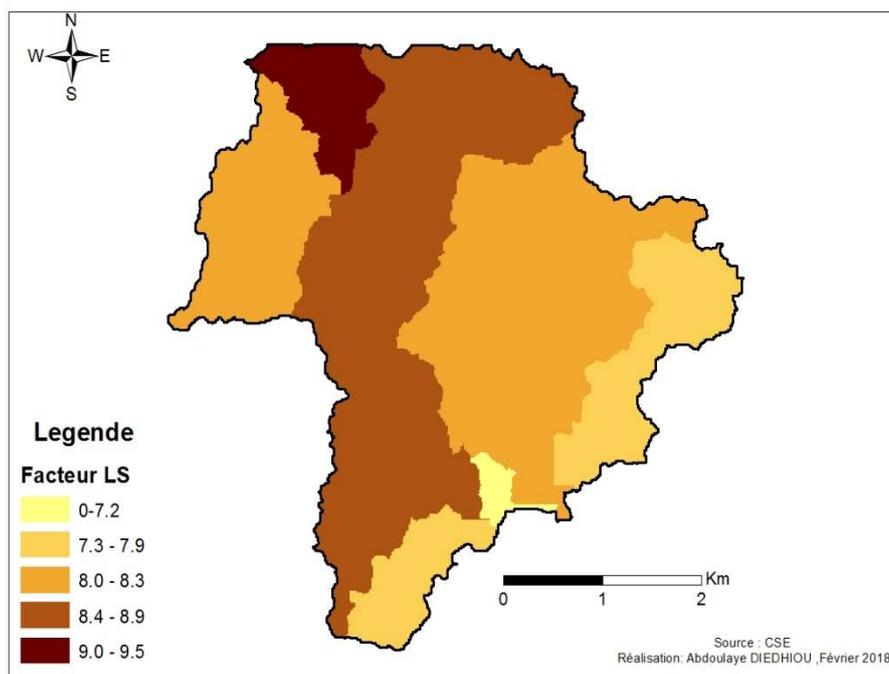


Fig. 3. Facteur LS

Tableau 2. Classes de pentes

Classes	Type de pente
0 – 2%	Nulle à faible
2 – 6 %	Modérée
6 – 11%	Forte Moyenne
> 11 %	Très forte

### 3.1.2 CALCUL DU FACTEUR D'OCCUPATION ET DE CONSERVATION DES SOLS C ET P

Le couvert végétal protège les sols et assure l'amortissement des gouttes de pluie, le ralentissement du ruissellement et de l'infiltration. Ainsi, pour une végétation basse, les pertes de sols diminuent avec l'augmentation du couvert végétal [6]. Le facteur C est défini comme le rapport entre les pertes en sols nus sous des conditions spécifiques et les pertes en sol correspondants aux sols sous système d'exploitation [7], [8]. Une typologie des différents types d'occupation du sol a donc été réalisée à partir de la base de données du CSE. La sensibilité à l'érosion des différentes classes (tableau 2) est par la suite déterminée à partir des données issues de travaux réalisés au Madagascar [9].

Tableau 3. Facteur d'occupation du sol C en fonction du type d'occupation du sol

Type d'occupation du sol	Facteur C
Sol nu	1
Forêt dégradée	0,7
Savane arborée et arbustive	0,3
Savane herbeuse dégradée	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

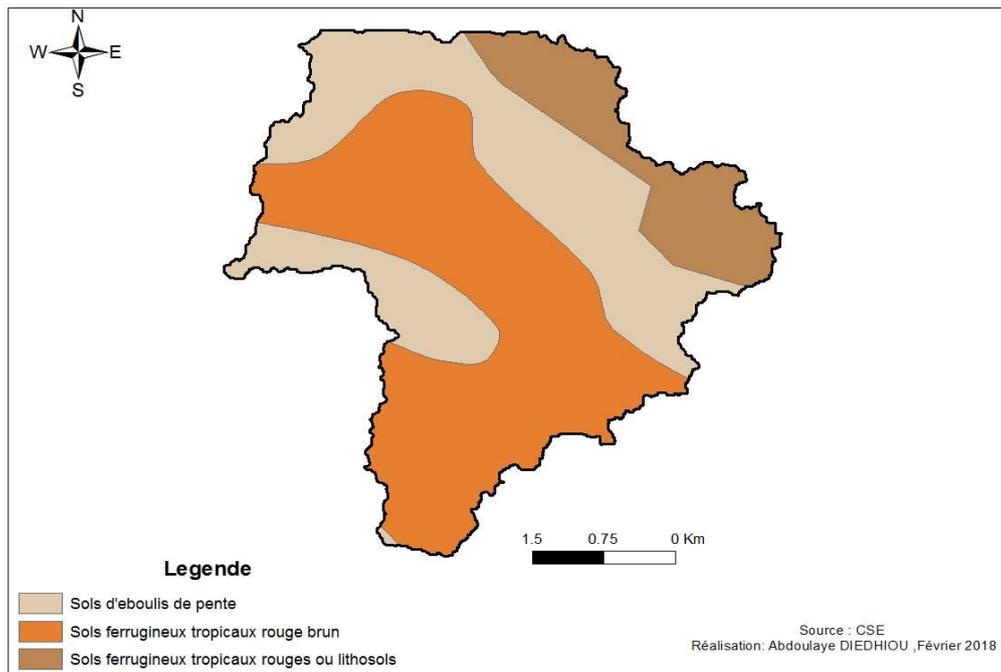


Fig. 4. Type de sol représenté sur le bassin versant de Kissane

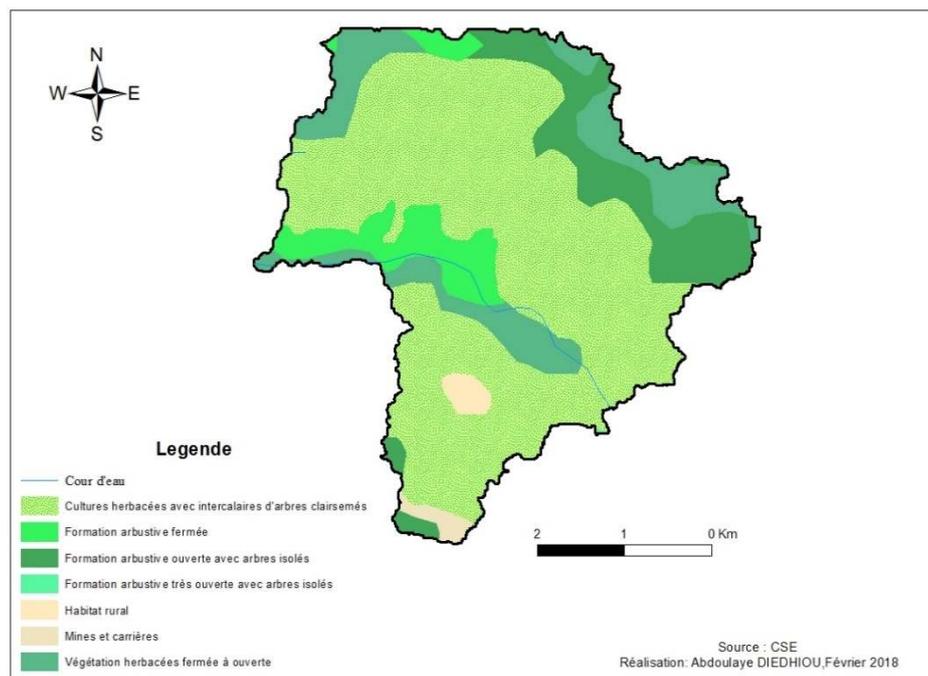


Fig. 5. Occupation du sol

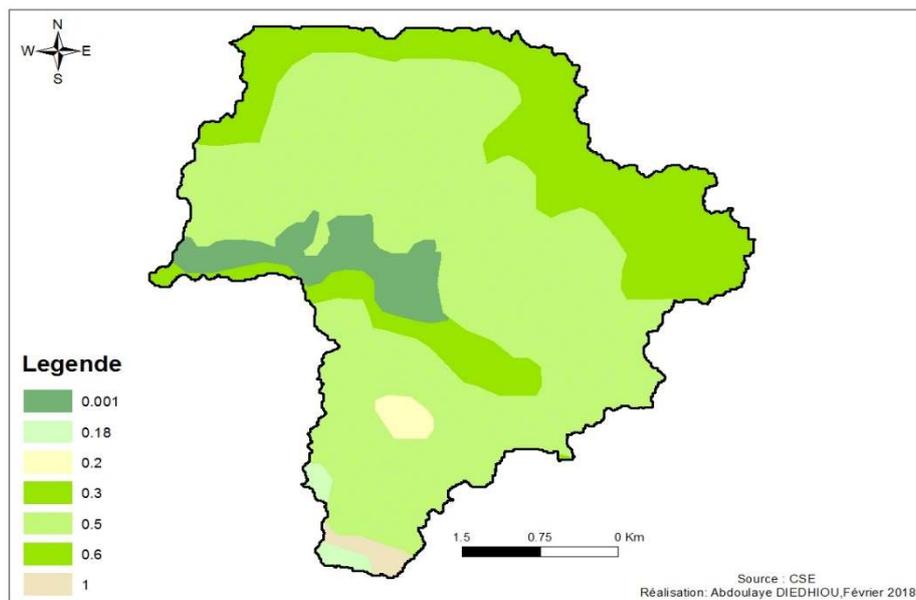


Fig. 6. Facteur C

### 3.1.3 CALCUL DE L'ÉRODABILITÉ DES SOLS (K)

Les propriétés physiques, chimiques et minéralogiques des sols ainsi que leurs interactions qui affectent les valeurs de K sont caractérisées par leur grande variabilité spatiale. De plus, chacun des mécanismes d'érosion agit sur une propriété spécifique du sol [10]. Cet état de fait rend complexe le calcul des valeurs de K pour les différents types de sol.

Malgré tout, plusieurs études ont été conduites afin de mesurer les valeurs de K relatives aux propriétés du sol. Parmi ces études, l'on peut mentionner celles de Wischmeier [11], de EL-Swaify et Dangler [12], de Romkens [13]. De toutes ces études, la méthode synthétisée par le nomogramme de sol construit par Wischmeier est la plus utilisée et la plus citée [9].

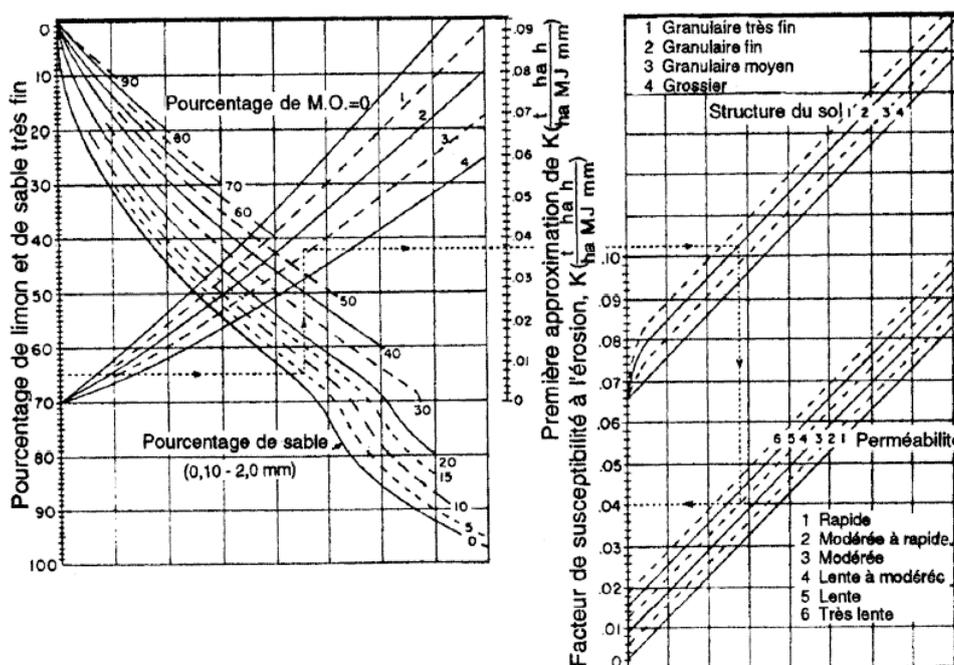


Fig. 7. Abaques pour la Détermination de l'indice d'Erodabilité de Wischmeier

Le principe de l'utilisation de l'abaque est relativement simple : Entrer dans l'abaque par la gauche, puis rejoindre les points correspondant à la teneur en sable, la teneur en MO la structure du sol et sa perméabilité (respecter cet ordre). La ligne pointillée illustre le cas d'un sol avec : L+Sf 65%, sable 5 %, MO 2.8%, structure 2, perméabilité 4, K= 0,040.

Une équation de régression a été établie pour estimer la valeur de  $K$  :

$$K = 2,8 \cdot 10^{-7} M^{1,14} (12 - MO) + 0,0043(b - 2) + 0,0033(c - 3) \quad [6]$$

$M$  est le facteur granulométrique = % Limon + %Sable très fin (100 - %argile) ;  $MO$  est la teneur en matière organique (%);  $b$  est le code de la structure du sol (granulaire très fine : 1 ; granulaire fine : 2 ; granulaire moyenne et grossière : 3 ; en block ou massive : 4) ;  $c$  est le code de la classe de perméabilité (rapide : 1 ; modéré à rapide : 2 ; modérée : 3 ; lente à modérée : 4 ; lente : 5 ; très lente : 6).

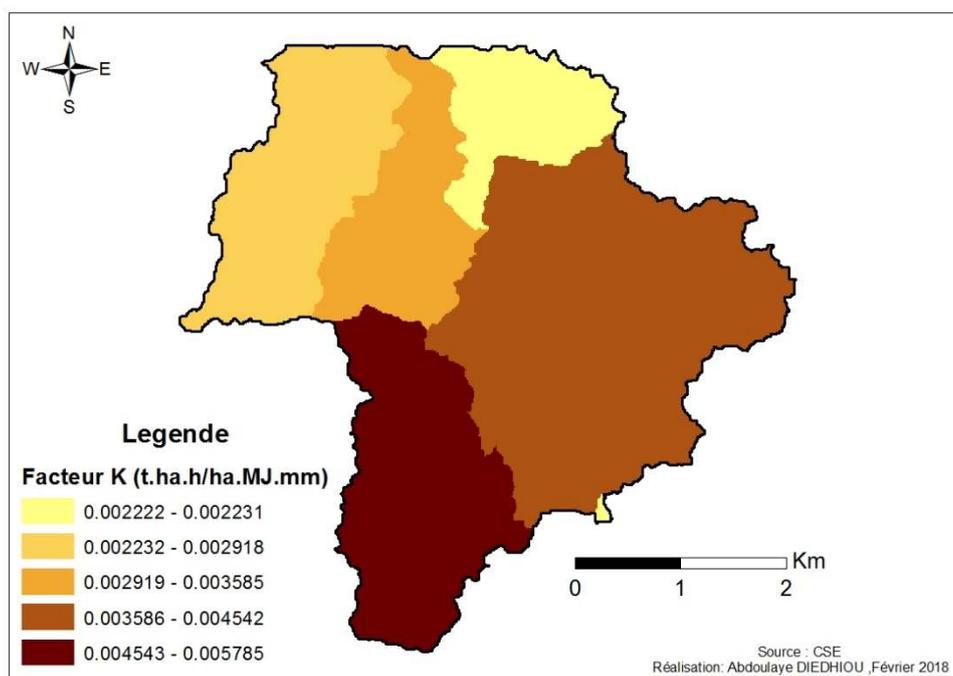


Fig. 8. Facteur K

### 3.1.4 ESTIMATION DES PERTES DE SOL (A)

Les résultats apportés dans le cadre de cette étude permettent de mettre en évidence les dynamiques d'érosion en nappe sur le bassin versant du village de Kissane. Le modèle USLE apporte une estimation moyenne potentielle des pertes de sols, fournie pour chaque maille de 100 m du bassin versant.

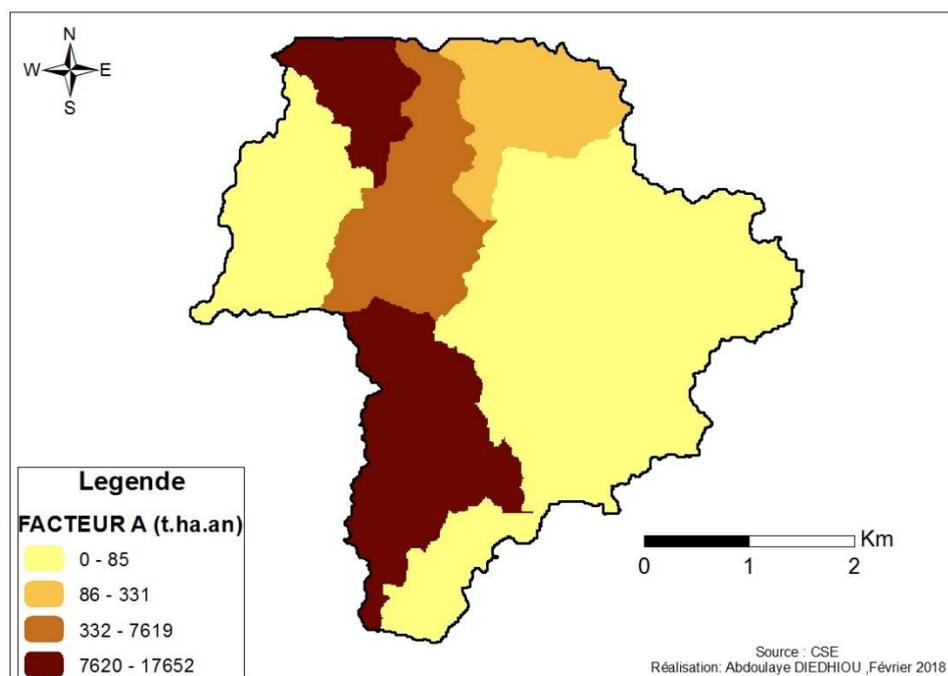


Fig. 9. Facteur A

## 3.2 DISCUSSIONS

### 3.2.1 CALCUL DU FACTEUR D'ÉROSIVITÉ DES PLUIES (R)

L'exploitation des données climatiques montre que suivant la distribution des précipitations en fonction des altitudes, la carte de spatialisation du facteur R (Fig. 2.) met en évidence un étagement croissant des valeurs avec la topographie. Ainsi, l'érosivité des pluies augmente naturellement là où la pente est très élevée. Les valeurs de R varient entre 0 et 3708 MJ.mm/ha.h.an avec une moyenne établie à 769 MJ.mm/ha.h.an.

### 3.2.2 LA TOPOGRAPHIE LS

Le facteur LS montre (Fig. 3.) l'importance de l'inclinaison et de la longueur de pente dans les processus de l'érosion en nappe et en rigole. La topographie relativement plane du bassin versant du village de Kissane implique tout naturellement une répartition des valeurs de LS assez faibles entre 0 et 9,5. La moyenne du facteur sur l'ensemble du bassin versant est évaluée à 8,24. Les valeurs les plus faibles : entre 0 et 7,2, du facteur topographique sont naturellement attribuées aux zones moins sensibles à l'érosion hydrique tandis que les zones où la topographie est élevée (tableau 1) correspondent aux zones les plus sensibles à l'érosion hydrique.

### 3.2.3 L'OCCUPATION DU SOL C ET LES PRATIQUES ANTIÉROSIVES P

L'approche développée pour 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 Kissane. Au vu des données disponibles, elle constitue un moyen faible pour la prise en compte du facteur C. La carte de répartition du facteur C (Fig. 6.) montre la sensibilité des différents types d'occupation du sol vis-à-vis des processus érosifs. Les zones de formation arbustive fermée sont associées au coefficient le plus faible (0,001), et les coefficients les plus élevés (1) correspondent aux mines et carrières (Fig. 6.)

### 3.2.4 L'ÉRODIBILITÉ DES SOLS K

Dans les pays tropicaux, l'érodibilité des sols est souvent moins importante que dans certains sols des pays tempérés. Cependant, la sensibilité des sols à l'érosion varie considérablement en fonction des sols, des saisons, des années et des techniques culturales [14]. La correspondance entre la texture des sols et l'érodibilité des sols a permis de mettre en évidence les sols les plus érodibles du bassin versant. Le facteur K varie entre 0,0022 et 0,0058 t.ha.h/ha.MJ.mm pour les sols les plus

sensibles à l'érosion. Les sols les plus érodibles correspondent aux sols d'érosion (sols d'éboulis de pente) et aux sols ferrugineux tropicaux rouges bruns (figure 8). La moyenne du facteur d'érodibilité des sols est de 0,0038.

### 3.2.5 ESTIMATION DES PERTES DE SOLS (A)

La carte (Fig. 9) de perte de sols montre que les valeurs de pertes en sols varient entre 0 et 17652 t/ha/an, selon les zones du bassin versant. La moyenne en perte de sol est évaluée à 3487 t/ha/an ce qui est considéré comme élevé.

## 4 CONCLUSION

La quasi-totalité des terrains du bassin versant de Kissane, ont subi des perturbations remarquables. La dégradation des ressources naturelles (perte en sol, dégradation du couvert végétale etc.) est due non seulement à certains effets naturels, mais aussi aux différentes interventions de l'homme, en fonction de l'ampleur et de l'action des groupements humains présents sur ce milieu.

L'objectif de cette étude était d'appliquer un modèle largement utilisé, le modèle USLE, à un contexte particulier, afin de mettre en évidence les dynamiques et les dégradations à l'échelle du bassin versant. Ainsi, une modélisation de l'érosion hydrique des sols à l'échelle du bassin versant a été mise en œuvre afin d'évaluer la contribution à l'érosion et d'y concentrer notre action. En perspective, il serait possible d'envisager un suivi des dynamiques d'occupation du sol, et d'apporter une meilleure description des facteurs C, K et LS afin d'affiner l'estimation des pertes de sols.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à exprimer leurs sincères remerciements au Centre de Suivi Ecologique (CSE) et à L'Agence Nationale pour l'Aviation Civile et Maritime (ANACIM) pour leur collaboration et pour toutes les informations aimablement fournies concernant la zone étudiée.

## REFERENCES

- [1] Brown, L.R, Abramovitw, J., bright, C., Flaving, C., Gardner, G., Kane, H Platt, A., Postel, S., Roodman., D., sachs, A., et Starke L., L'état de la planète. Editions Economica, Paris-France, 1996.
- [2] Mamadou L. Lo, Alassane BA, Papa B.D. THIOUNE, Abdoulaye DIEDHIOU, EL Hadji B. DIAW, Water Erosion on the Thiés tray (Senegal): Study of the factors of the phenomenon using a Geotechnical Approach. Journal of scientific and Engineering Research, 5(4):220-230, 2018.
- [3] ARNOLDUS H.M.J., An approximation of the rainfall factor in the USLE. In : Assesment of erosion in USA and Europe, M. de BooDT et D.GABRIELS édit. John Wiley, Chchester (Angleterre), p. 127-132, 1980.
- [4] SMITH D. D and WISCHMEIER W. H., Rainfall erosion. Advances in Agron. 14: pp. 109-148. Academic Press, Inc. New York, p. 109-148, 3 tabl. , 4 fig. , 155 réf, 1962.
- [5] Foster, G. R. et Wischmeier, W .H., Evaluating irregular slopes for soil- loss prediction. Trans. Am. Soc. Agric. Engrs 17 (2), 305-309, 1974.
- [6] Soutter, M., A. Mermoud et Musy A., Ingénierie des eaux et du sol Processus et aménagements, presse polytechniques et universitaires romandes, 316 p, 2007.
- [7] Wischmeier, W. H. and D. D. Smith, Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning, USDA-ARS, 1978.
- [8] Abdelkader El Garouani, Hao Chen, Lawrence Lewis, Abdellatif Tribak, Mohamed Abharour. 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, Editions scientifiques GB, 8 (3), pp.193-201, 2008.
- [9] Evelyne Payet, Pascal Dumas et Gwenaëlle Pennober, 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 | décembre 2011, mis en ligne le 20 septembre 2012, URL : <http://vertigo.revues.org/12591> ; DOI : 10.4000/vertigo.12591
- [10] Renard, K.G., Foster, G.A., McCool, D.K., et Yoder, D.C., Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). U.S. Departement of Agriculture, Washington. Agriculture Handbook, 1991.
- [11] Wischmeier, W.H., Johnson, CB., Cross, B.V, A soil erodibility nomograph for farm land and construction sites. J. Soil Water Conserv. 26, 189-193, 1971.
- [12] Dangler E. W., EL-Swaifi S.A., Erosion of selected Hawaii soils by simulated rainfall. Soil Sci. Soc. Am. J., 40 (5) (1976), pp. 769-773, 1976.

- [13] Romkens, M.J., Nelson, D.W. and Roth, C.B., Soil Erosion on selected High Clay Subsoils. *Journal of Soil and water Conservation*, 30,173-176, 1975.
- [14] Roose E et Sarrailh J. M., Érodibilité de quelques sols tropicaux ; vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. *Cahier. ORSTOM, série Pédologique, Volume XXV, n° 1-2, 7-30 pp, 1990.*