

# Cartographie d'érosion hydrique dans le sous bassin versant de Djubudjubu dans la ville de Kisangani en RDC

## Mapping of water erosion in the Djubudjubu sub-watershed in the city of Kisangani in the DRC

Dimitri Elukesu M.<sup>1</sup> Gabriel Makabu K.<sup>2</sup> Isaac Mbumba<sup>3</sup>

### Résumé

Le sous bassin versant de Djubudjubu appartient au système hydrographique de la rivière Tshopo, ce sous-système couvre une partie de la ville de Kisangani et attire l'attention des toutes les couches sociales selon sa position vulnérable au risque d'érosion hydrique. L'objectif principal de cette étude est d'élaborer un ensemble de cartes thématiques présentant les résultats de l'analyse des différents facteurs intervenant dans le phénomène de l'érosion et de la vulnérabilité au risque d'érosion dans le sous bassins versant de Djubudjubu. La méthodologie du travail consiste à combiner plusieurs facteurs intervenant dans le modèle USLE en utilisant les outils S.I.G pour de besoin cartographique des zones en fonction de l'intensité en perte de sol. Le résultat issu de la combinaison des différents facteurs montrent que le sous bassins versant de Djubudju connaît 5 classes de taux annuel de perte en sol. La classe ayant des valeurs plus élevées dans le sous bassin versant présentent un taux de perte en sol allant de 51,193 t/ha/an à 168,128 t/ha/an, la classe dont le taux d'érosion est faible montre des valeurs variant de 0,308 t/ha/an et 1,321 t/ha/an. Le taux moyen de perte en sol pour l'ensemble de la zone étudiée, varie entre 14,596 t/ha/an à 48,16t/ha/an, ces valeurs moyennes nous permettent d'apprécier l'intensité annuel de taux d'érosion hydrique du sol dans le sous bassin versant de Dubudjubu de modéré à très forte. La classe médiane (4,64 t/h/an -15,522 t/h/an) représente environ 54% de la superficie du sous bassin versant de Djubudjubu.

### Abstract

The Djubudjubu sub-watershed belongs to the Tshopo River hydrographic system, this subsystem covers part of the city of Kisangani and attracts the attention of all social strata according to its vulnerable position to the risk of water erosion. The main objective of this study is to develop a set of thematic maps presenting the results of the analysis of the different factors involved in the phenomenon of erosion and vulnerability to erosion risk in the Djubudjubu sub-watershed. The methodology of the work consists of combining several factors involved in the USLE model using the S.I.G. tools for the mapping of areas according to the intensity of land loss. The result from the combination of the different factors shows that the Djubudju sub-watershed has 5 classes of annual rate of soil loss. The class with higher values in the sub-catchment area have a soil loss rate ranging from 51.193 t/ha/year to 168.128 t/ha/year, the class with

<sup>1</sup> Département de Géologie, Université de Kisangani, RDC. [dimitrielukesu18@gmail.com](mailto:dimitrielukesu18@gmail.com)

<sup>2</sup> Département de Géologie, Université de Lubumbashi, RDC. [gabrielmakabu2012@gmail.com](mailto:gabrielmakabu2012@gmail.com)

<sup>3</sup> Département de Math-Info, Université de Kisangani, RDC. [isjuak@gmail.com](mailto:isjuak@gmail.com)

a low erosion rate shows values ranging from 0.308 t/ha/year to 1.321 t/ha/year. The average rate of soil loss for the entire area studied varies between 14.596 t/ha/year and 48.16 t/ha/year, these average values allow us to assess the annual intensity of soil water erosion rates in the Dubudjubu sub-watershed from moderate to very high. The middle class (4.64 t/h/year -15.522 t/h/year) represents about 54% of the area of the Djubudjubu sub-watershed.

## 1. INTRODUCTION

La ressource en sol constitue un capital naturel indispensable à la fourniture d'une grande diversité de services écosystémiques primordiaux pour nos sociétés (Dominati et al., 2010 ; ITPS, 2015) : services de support, de régulation, d'approvisionnement, et services culturels. L'érosion des sols est un processus géomorphologique naturel qui menace la durabilité de la ressource en sol dès lors que le décapage du sol se fait à une vitesse supérieure à celle de la formation des sols (i.e. altération des roches). Si l'on garde en tête que l'ordre de grandeur de la vitesse de formation des sols est de 1 t ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> pour l'Europe (Verheijen et al., 2009), e.g. environ 1 dixième de millimètre par an, on conçoit la difficulté à percevoir cette menace.

Depuis les années 1950, où les premières manifestations de l'érosion des sols ont été décrites par les agronomes en France, le développement de ces phénomènes n'a cessé de s'accroître. Les spécialistes considèrent qu'en Europe 25 millions d'ha sont menacés. Cette situation est considérée avec gravité, d'autant que les pertes sont irréversibles et menacent la durabilité des sols productifs (Van-Camp et al., 2004).

En effet, « l'efficacité » des transferts d'eau et de sédiments de l'échelle locale à l'échelle du bassin versant dépend de nombreux facteurs biophysiques et anthropiques (Walling, 1983 ; de Vente et al., 2007) : relief, type de sol, occupation de sol, forme et végétalisation des chemins de transfert de l'eau, localisation des sources de sédiments, nature des processus dominants à chaque échelle, aménagements, échelle spatiale et temporelle considérées, etc. Tous ces éléments caractérisent la connectivité hydro-sédimentaire des bassins versants (Bracken et al., 2013). Si l'on veut savoir quand, où et comment intervenir avec succès dans les bassins versants en ayant une vision globale des impacts de l'érosion, alors comprendre comment l'hétérogénéité interne des bassins versants pilote la connectivité hydro-sédimentaire est aussi important que documenter les taux d'érosion à l'échelle parcellaire (Boardman et al., 2019).

La ville de Kisangani présente pour une large part, une urbanisation incontrôlée. Elle est par ailleurs caractérisée par des précipitations d'une grande intensité. En outre, les sols sont constitués d'un épais manteau sableux d'altération. La conjonction de tous ces facteurs fait de cette ville le siège d'érosions spectaculaires et des inondations. Ainsi, le problème de la perte des sols par ravinement est extrêmement aigu (LUBUIMI, 2003).

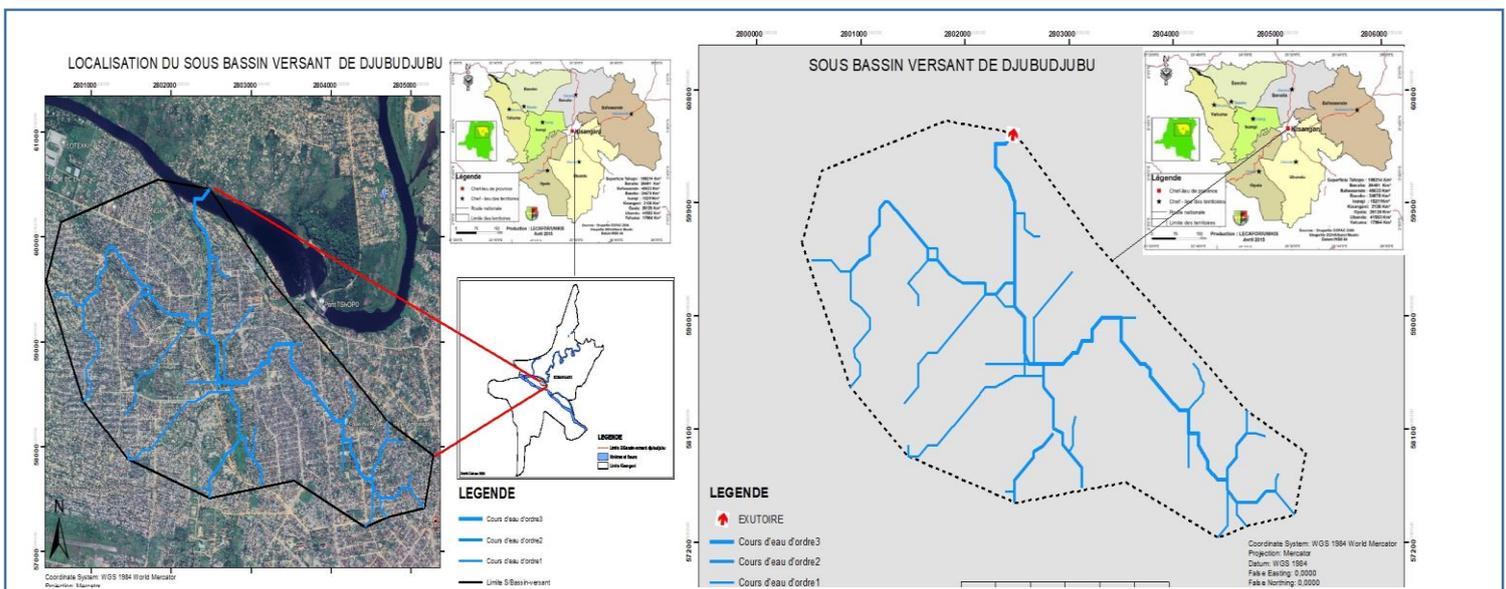
Le but de cette étude consiste, à utiliser le système d'information géographique comme outil pour élaborer les différentes cartes thématiques présentant les résultats de l'analyse des différents facteurs intervenant dans le phénomène de l'érosion hydrique. L'objectif consiste à la combinaison de ces facteurs pour réaliser la carte de taux annuel de perte en sol et des zones à vulnérabilité au risque d'érosion hydrique dans le sous bassin versant de Djubudjubu à Kisangani.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### • PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La ville de Kisangani est couverte d'une importante couverture hydrographique d'une part le fleuve Congo et d'autre part deux importantes rivières dont la rivière Tshopo et la rivière Lindi qui elles aussi ont des cours secondaires dont particulièrement le sous bassin de Djubudjubu avec une constitution des bras d'ordre 1 et 2.

Le sous bassin versant de Djubudjubu est l'un des sous-bassins hydrographiques de la rivière Tshopo avec une superficie autour de 9 km<sup>2</sup> situé dans la ville de Kisangani. Ce sous bassin est limité au nord par la rivière Tshopo (Commune Tshopo), au Sud par le majestueux fleuve Congo, à l'Est par la commune de Kabondo et à l'Ouest par une partie de la commune de Mangobo. Il est situé en grande partie dans la commune de la Tshopo, Makiso, et Mangobo. Il représente à ce titre une zone intermédiaire entre le domaine de la rivière Tshopo (rive gauche) et celui du fleuve Congo (rive droite).



Le sous bassin versant de Djubudjubu jouit du climat général équatorial ou tropical humide qui prévaut à Kisangani et dans la province de la Tshopo. Il correspond au climat de type Af de la classification de Köppen. La pluviométrie annuelle est caractérisée par des précipitations abondantes, violentes et quelque peu agressives, survenant le plus souvent en soirée. (PNUD/UNOPS,1998). Les précipitations moyennes restent élevées toutes l'année (1750 mm/an), mais sa répartition n'est pas uniforme. On y observe des fléchissements de précipitations entre décembre-février et juin-août. Pour le mois le plus sec, la moyenne de précipitations avoisine 60mm (Trochain, 1980).

Les précipitations annuelles moyennes dans le sous bassin versant de Djubudjubu se situent autour de 1728-1732 mm. Les précipitations plus abondantes sont néanmoins enregistrées dans le sud-ouest et à l'Ouest du sous bassin versant (figure 2)

Lomba & Ndjele (1998) mentionnent que la forêt de la réserve de Yoko a un sol qui présente les caractéristiques reconnues aux sols de la cuvette centrale congolaise. En effet, le climat chaud et humide caractérisant la cuvette centrale possède un grand pouvoir d'altération vis-à-vis de diverses roches-mères géologiques. Ce qui se traduit par la mise en place de sols ferrallitiques (classification française), appelés encore ferrasols (classification de la FAO) ou encore oxisols (classification de l'USDA).

La carte de sols établie par Sys (1960), situe les sols de notre zone d'étude dans la catégorie des sols ferralitiques des plateaux du type Yangambi. Ces sols sont caractérisés par une faible teneur en bases échangeables inférieur à 3 méq/100 g de terre sèche (TS), un faible taux de saturation en bases ( $V < 40\%$ ), un pH acide ( $< 6$ ) et une couleur rouge ou jaune (Kombele 2004).

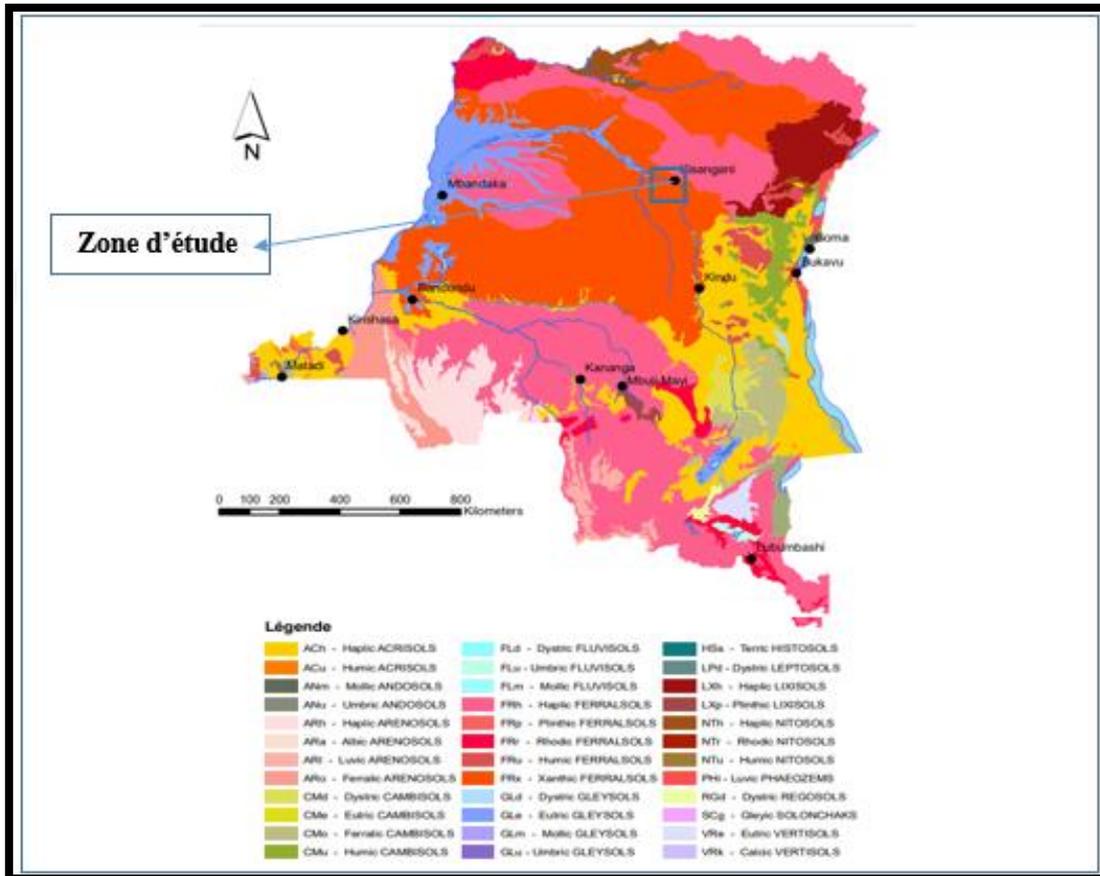


Fig.2 Carte des sols de la RDC (Source : FAO et al., 2007)

Les formations géologiques de la région appartiennent comme pour l'ensemble de la région de Kisangani à deux ensembles structuraux majeurs, d'une part les formations phanérozoïques (alluvions et sédiments récents, super groupe de la cuvette centrale, super groupe de la Sankuru, groupe de Kisangani, groupe de la Lueki) et d'autre part les formations précambriennes (Aruwimi) qui représente le substrat de la phanérozoïque. (Fig.3)

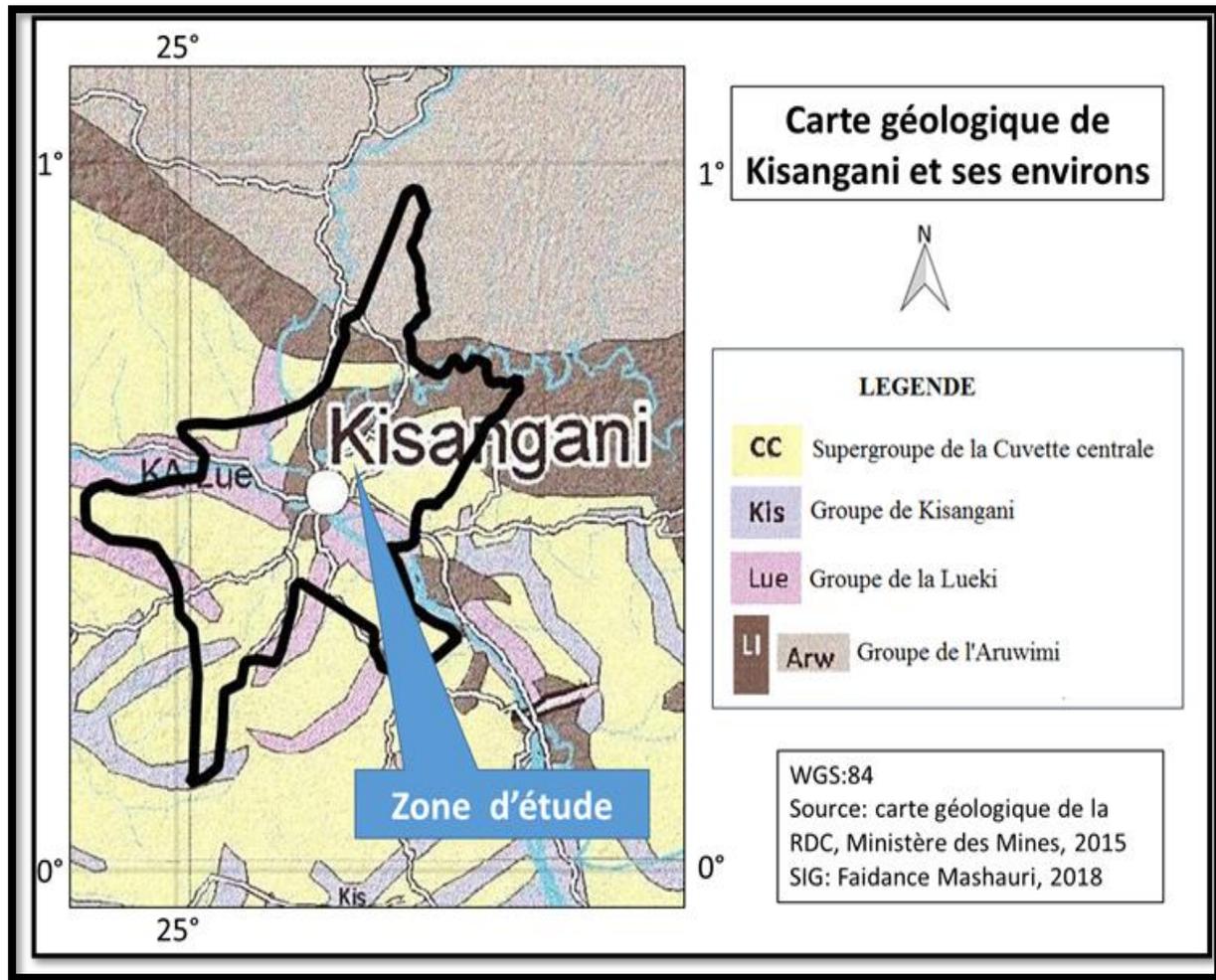


Figure.3 Carte géologique de Kisangani

- **MODELE DE L'EQUATION UNIVERSELLE DE PERTE DES SOLS**

L'équation universelle de perte des sols selon Wischmeier et Smith (1978), de l'anglais Universal Soil Loss Equation (USLE) ainsi que sa version révisée (RUSLE) constituent les modèles les plus utilisés à travers le monde pour l'évaluation et la quantification de l'érosion du sol (El GAROUANI et al., 2007).

Cette équation prévoit le taux annuel moyen d'érosion à long terme sur la pente d'un champ, en fonction de la configuration des pluies, du type de sol, de la topographie, de l'assolement et des pratiques de gestion des cultures.

Sa version révisée intègre le système d'information géographique.

Selon ce modèle, l'érosion est une fonction multiplicative de l'érosivité des pluies (le facteur R) et de la résistance du milieu, laquelle comprend K (l'érodibilité du sol), LS (le facteur topographique), C (le couvert végétal et les pratiques culturales) et P (les pratiques antiérosives).

**➤ Définition d'USLE**

C'est une fonction multiplicative des cinq facteurs qui contrôlent l'érosion hydrique : agressivité climatique, érodibilité des sols, inclinaison et longueur de pente, occupation des sols et pratiques antiérosives :

$$A = R * L * S * K * C * P$$

Avec : A est le taux annuel de pertes en sol en t/ha/an,

R est le facteur de l'érosivité des pluies,

K est l'érodibilité des sols,

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

C : est un facteur sans dimension qui représente l'effet de la couverture végétale,

P : est aussi un facteur sans dimension qui tient compte des techniques culturales anti-érosives telles que le labour en courbes de niveau

**➤ Paramètres du modèle USLE****⇒ Facteur d'érosivité (R)**

L'indice d'érosivité est égal à l'énergie cinétique des pluies, que multiplie l'intensité maximale des pluies durant 30 minutes exprimée en cm par heure (EL GAROUANI et al., 2007). Cet indice correspond aux risques érosifs potentiels dans une région donnée où se manifeste l'érosion en nappe sur une parcelle nue de 9 % de pente.

**⇒ Facteur d'érodibilité du sol (K)**

L'érodibilité d'un sol est fonction des matières organiques et de la texture des sols, de la perméabilité et de la structure du profil. Il varie de 0.70 pour les sols les plus fragiles à 0.01 sur les sols les plus stables. Les valeurs du facteur K, situées entre 0,22 et 0,46 montrent une nette fragilité des sols et leur susceptibilité à l'érosion (EL GAROUANI et al., 2007)).

**⇒ Facteur topographique (LS)**

La détermination de la longueur (L) et du degré de pente (S) pour une utilisation dans des modèles d'érosion se fondent sur des mesures longues et difficiles sur le terrain et jugées souvent imprécises.

Avec le développement des SIG, la détermination du facteur LS, nécessite d'effectuer l'analyse de la carte de pente donnant la longueur et l'inclinaison en % que les MNT permettent de générer (HICKEY 2000).

**⇒ Facteur Couvert végétal (C)**

Les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage sont les pratiques les plus efficaces de conservation des sols. Les valeurs de P sont inférieures ou égales à 1. La valeur 1 est attribuée aux terrains sur lesquels aucune des pratiques ci-hauts citées n'est utilisée. Les valeurs de P varient selon la pratique adoptée et aussi selon la pente (EL GAROUANI et al., 2007).

**⇒ Facteur des pratiques anti-érosives (P)**

Le facteur P décrit les actions humaines conservatrices des sols qui se pratiquent pour contrer l'érosion hydrique (BOUGUERRA & BOUANANI, 2016). Les cultures en courbes de niveau, en

bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage sont les pratiques les plus efficaces de conservation des sols (KHALI ISSA et al., 2016).

- **Données et logiciels utilisés**

- ⇒ **logiciels utilisés**

- ✓ Arcgis 10.3
- ✓ Excel

- ⇒ **Données**

- ✓ Image Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de résolution 30 m obtenue sur le site: <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>.
- ✓ Carte géologique de la RDC
- ✓ Carte numérique du sol du monde « Digital soil maps of the world (DSMW), obtenue sur le site web : <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116>
- ✓ Image satellitaire Landsat7 ETM+ du 7/12/2021 de 30 m de résolution
- ✓ Précipitations moyennes annuelles enregistrées (cru\_ts4.07.2011.2020.pre.dat.nc)

- **Procédure de la réalisation du Sig**

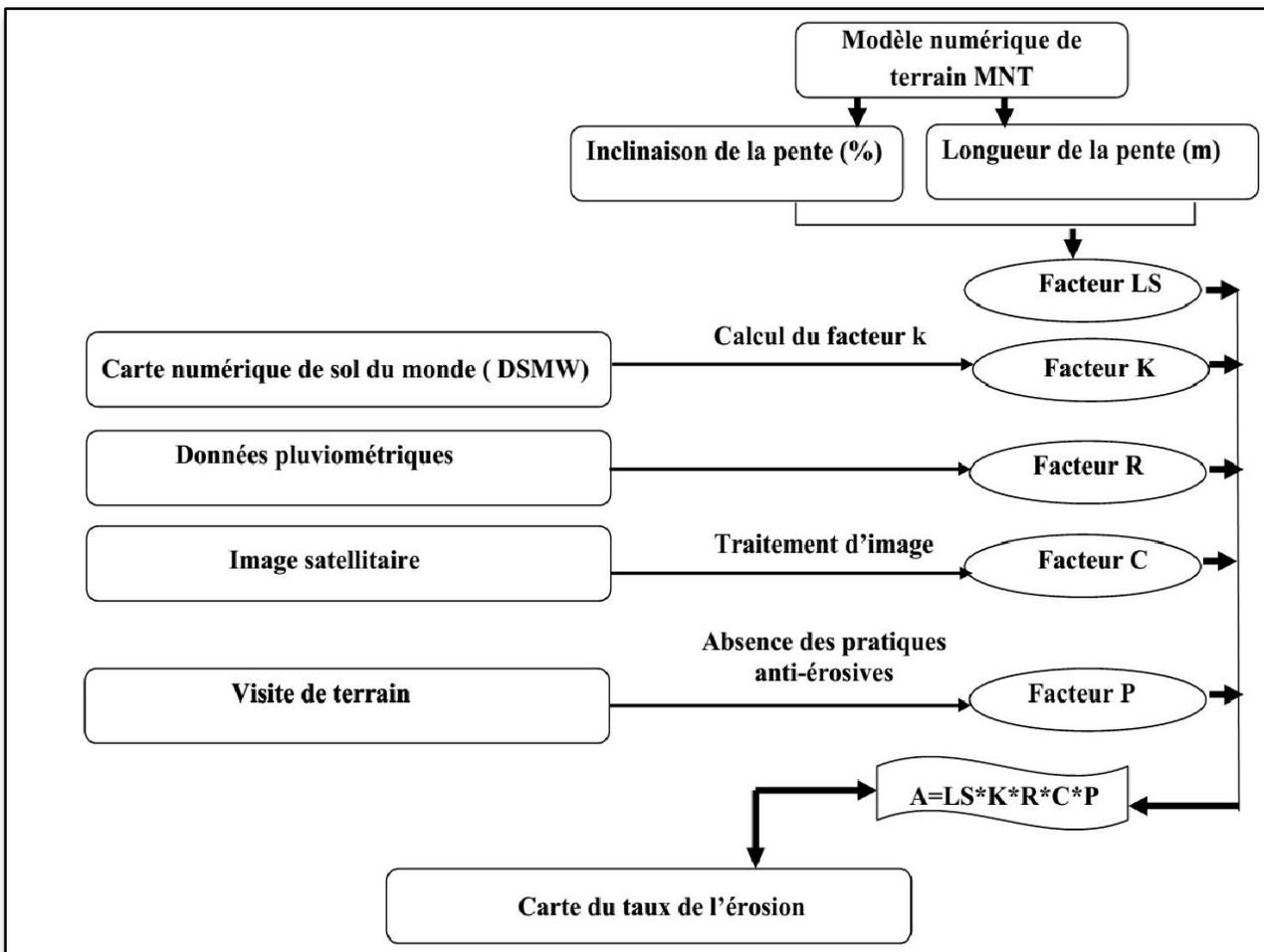


Figure 4. Procédure de réalisation du SIG.

• **Calcul et cartographie des paramètres du modèle UESLE**

**1. Le facteur d'érosivité de pluie R**

L'érosivité de la pluie a été calculée suivant l'équation 2 (Renard et Freimund ,1993).

$$R=0,04830P^{1,610}$$

R : Erosivité en (t/ha/an) P : précipitations annuelles en (mm). En utilisant des précipitations moyennes annuelles en (mm) de différentes régions situées dans le secteur d'étude ou dans ses environs. Le tableau (3), récapitule les différents résultats de l'érosivité en (t/ha/an).

Ensuite les valeurs de R calculées ont été interpolées en utilisant une méthode d'interpolation IDW(fig.6)

La figure 6 montre la carte d'érosivité synthétisée à partir de la spatialisation des stations hydrologiques, elle montre que la valeur du facteur R varie de 7910,31 à 7932,74t/ha/an. Les valeurs élevées sont enregistrées au Nord-Ouest, à l'Ouest et au Sud-Ouest alors que les valeurs les plus faibles sont enregistrées au Nord-Est, à l'Est et au Sud-Est du sous bassin versant de Djubudjubu.

**2. Facteur d'érodibilité du sol K**

Nous avons évalué l'indice K des différents types de sols à l'aide des équations de (MASSON, 1971); WILLIAMS, 1995) et en utilisant la carte numérique du sol du monde DSMW (Digital Soil Map of the World).

Le traitement de cette carte sous Arcgis nous a donné les taux de différents types de sol ; sable, argile, limon et la matière organique.

Le facteur d'érodibilité du sol a été calculé par la formule de WILLIAMS (1995)

$$KUSLE = f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{orgC} \times f_{hisand}$$

$f_{csand}$  : est un facteur qui abaisse l'indicateur K dans les sols avec teneur élevée en sable grossier et plus élevée pour les sols avec un peu de sable.

$f_{cl-si}$  : donne de faibles facteurs d'érosion du sol pour les sols avec taux élevés d'argile à limon.

$f_{orgC}$  : réduit les valeurs de K dans les sols avec teneur élevée en carbone organique.

$f_{hisand}$  : abaisse les valeurs K pour les sols à teneur en sable extrêmement élevée.

- $f_{fcsand} = \left( 0,2 + 0,3 \cdot \exp[-0,256 \cdot m_s \cdot (1 - \frac{m_{silt}}{100})] \right)$

- $f_{f_{cl-si}} = \left( \frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0,3}$

- $f_{f_{orgC}} = \left( 1 - \frac{0,25 \text{ OrgC}}{\text{OrgC} + \exp(-3,72 - 2,95 \cdot \text{OrgC})} \right)$

- $f_{f_{his}} = \left( 1 - \frac{0,7(1 - \frac{m_t}{100})}{\frac{m_s}{100} + \exp[-5,5 + 22,9 \cdot (1 - \frac{m_s}{100})]} \right)$

$m_s$  : la teneur en fraction de sable (0.05-2.00 mm de diamètre) [%].  $m_{silt}$   
: la teneur en fraction de limon (0,002-0,05 mm de diamètre) [%].  $orgC$   
: la teneur en carbone organique (SOC) [%].

A partir de ces équations, on a calculé le facteur K, les résultats sont représentés dans le tableau 4

### 3. Facteur topographique LS

Le facteur topographique regroupe les effets de la longueur (L) et de l'inclinaison (S) de la pente sur l'érosion. Ces deux facteurs sont calculés à partir du modèle numérique du terrain dans Arcgis

La lecture de la carte reflète généralement la topographie du terrain. Les valeurs les plus élevées du facteur LS (1,755) se situent généralement au sud-est du sous bassin versant. Les valeurs les plus faibles sont dispersées dans toute la zone d'étude surtout au niveau périphérique du sous bassin.

### 4. Facteur du couvert végétal C

La végétation représente les effets des plantes, la couverture du sol, la biomasse du sol et les activités destructrices du sol dans les processus d'érosion. La détermination de ce facteur est élaborée à partir de la cartographie de la densité de la végétation sur une image satellitaire (ETM+ du 7/12/2021 LANDSAT7 de 30 m de résolution), cette dernière a été analysée avec le logiciel Arcgis (version 10.3.1) par la méthode de classification non supervisée. Après la classification d'image et le choix des classes de terrain (urbains, végétation, zones humides, parcours) , on a attribué une valeur du facteur C pour chaque type du sol , (tableau 4 et figure 9).

**Tableau 1.** Valeur du facteur de couvert végétal C dans le sous bassin versant de Djubudjubu.

Classe de C	Facteur C
Couvert végétal très peu denses et espacées	0.135
Zones urbaines	0.158
Zones humides (étendues d'eau)	0,185
Sol nu	0.258

## 3. RESULTATS

### • Carte de pente

La carte de pente (Figure 5) est établie sur base du modèle numérique de terrain, elle repartie la zone d'étude en cinq classes de pente (tableau1).

**Tableau 2. Répartition des surfaces en fonction des classes de pente dans le sous bassin de Djubudjubu**

Classes des pentes en °	Superficie de surface en %
0-0,51	0,27
0,51-0,79	49,521
0,79-1,30	41,039
1,30-2,22	8,344
2,22-3,86	0,82

Les classes  $0-0,51^\circ$  ;  $0,51^\circ-0,79^\circ$  et  $0,79^\circ-1,30^\circ$  représentent environ 90% de la surface totale du sous bassin versant et caractérisent des plaines tandis que les classes de  $1,30^\circ-2,22^\circ$  et  $2,22^\circ-3,86^\circ$  sont localisées à l'axe, nord-sud du sous bassin versant, et ne représentent que 9% de la surface totale et caractérisent généralement des terrains à pentes faibles (Figure 4).

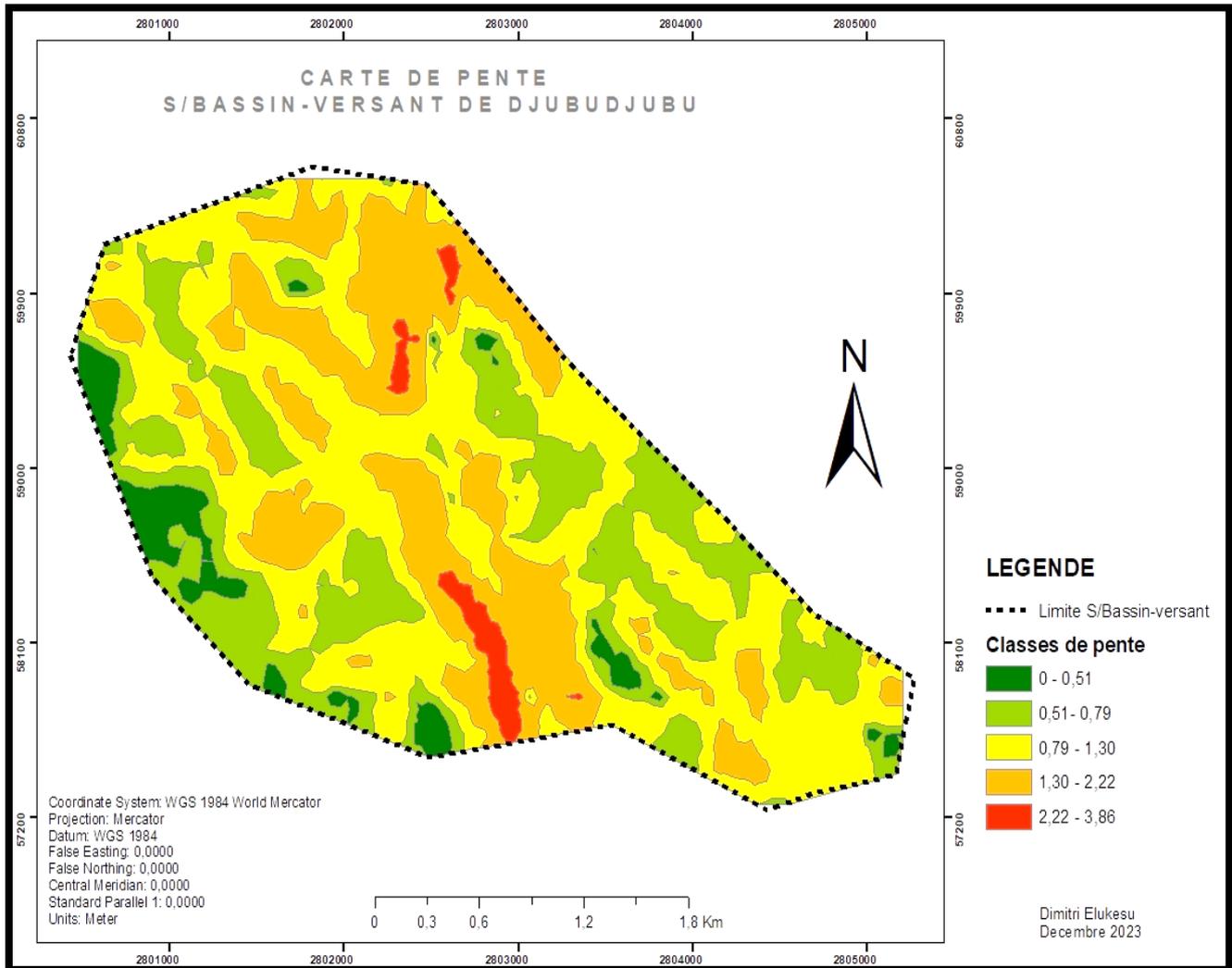
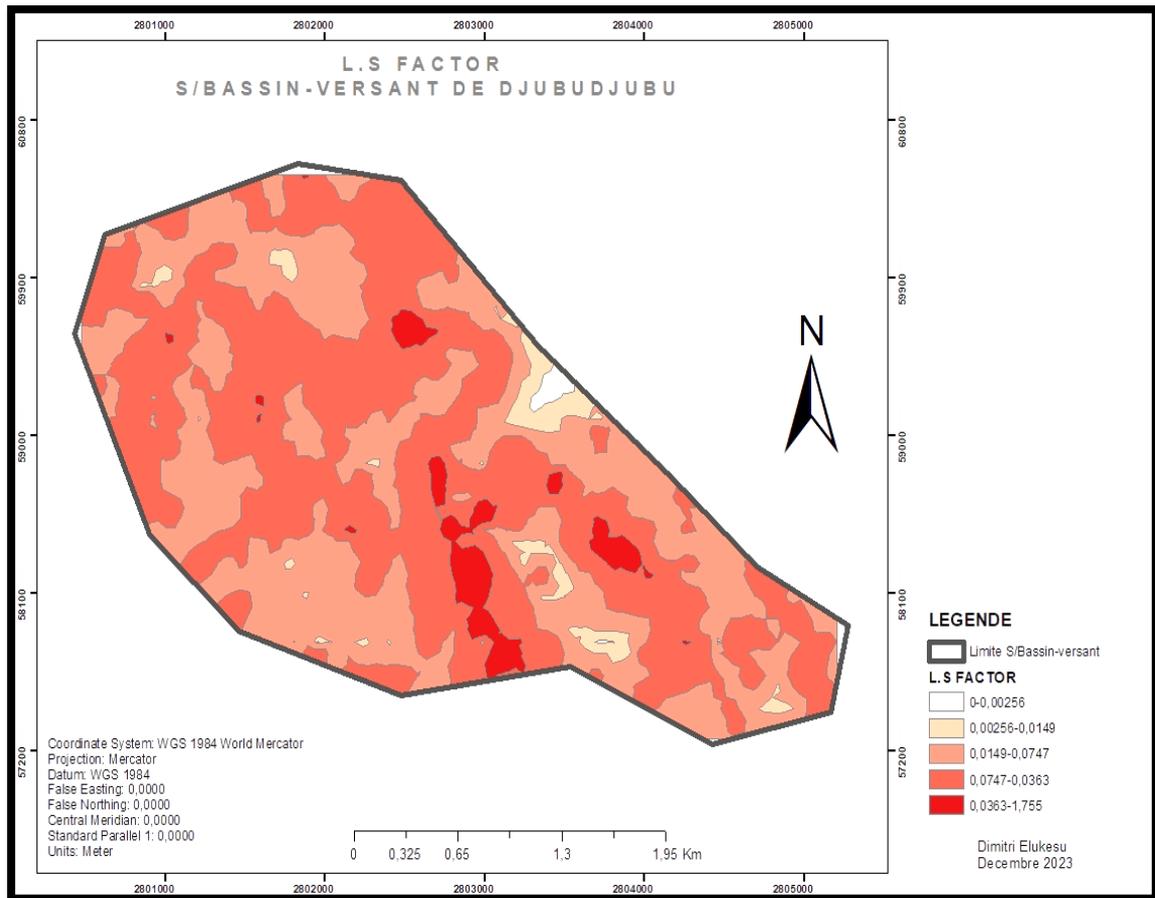


Figure 5. Les classes de pentes dans le sous bassin versant de Djubudjubu.

- **Facteur LS**

. Le facteur topographique LS dans le sous bassin versant de Djubudjubu est classé selon des valeurs variant entre 0,002056 à 1,755 (figure 8).



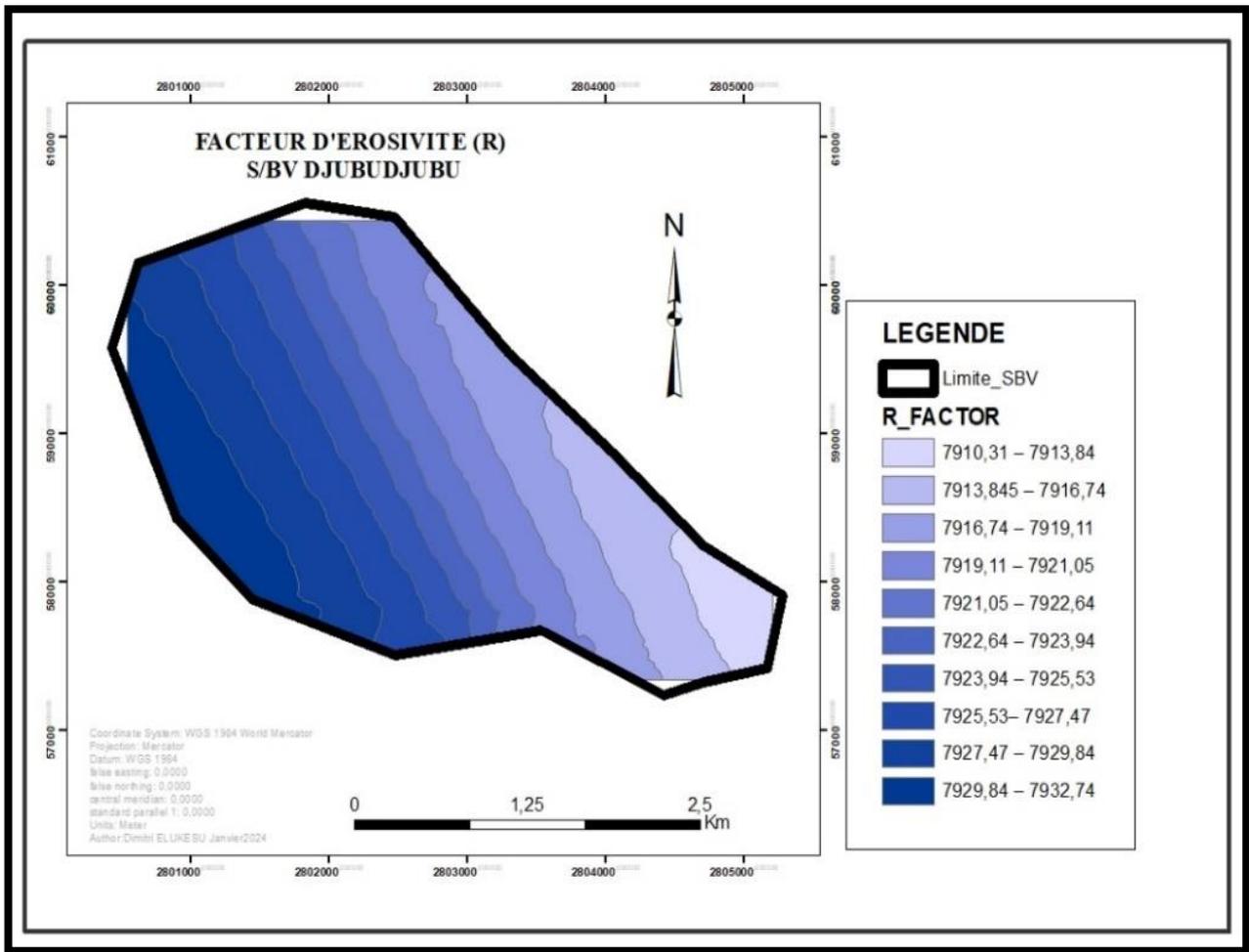
**Fig.6. Carte du facteur topographique LS dans le sous bassin versant de Djubudjubu.**

• **Erosivité du sous bassin versant**

La figure 6 montre la carte d'érosivité synthétisée à partir de la spatialisation des stations hydrologiques, elle montre que la valeur du facteur R varie de 7910,31 à 7932,74t/ha/an. Les valeurs élevées sont enregistrées au Nord-Ouest, à l'Ouest et au Sud-Ouest alors que les valeurs les plus faibles sont enregistrées au Nord-Est, à l'Est et au Sud-Est du sous bassin versant de Djubudjubu.

Tableau 3. Erosivité en (t/ha/an) dans le sous bassin versant de Djubudjubu

Stations	Longitude		Précipitation Annuelle(mm)	R(t/ha/an)
	E	Latitude N		
1	25,543	0,756	1683,20007	7551,368687
2	25,045	0,253	1767,50000	8169,506098
3	25,543	0,253	1697,50000	7654,923984
4	25,044	0,757	1740,40002	7968,785722



**Figure 7. Carte de facteur d'érosivité R dans le sous bassin versant de Djubudjubu.**

• **Erodibilité du sous bassin versant**

Dans le sous bassin versant de Djubudjubu , La valeur d'érodibilité des sols (0,10091015) est la même en tout point , cette dernière indique des sols type xanthique ferrasols(Fig7).

**Tableau 3. Valeurs du facteur d'érodibilité K dans le sous-bassin versant de Djubudjubu**

<b>fsand</b>	<b>fcl-sil</b>	<b>forgC</b>	<b>Fhisand</b>	<b>K</b>
0,20000039	0,5823312	0,86778838	0,99843568	0,10091015

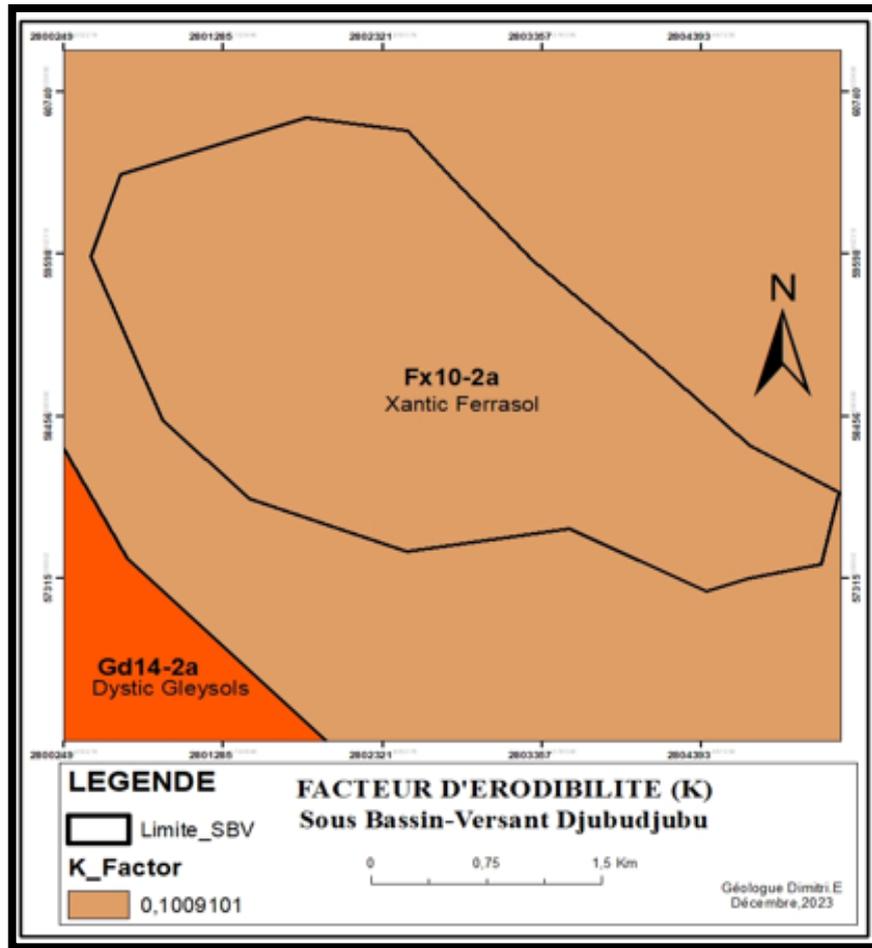


Figure 8. Carte du facteur d'érodibilité K. dans le sous bassin versant de Djubudjuba.

- **Couvert végétal C**

La carte du facteur C (figure 9), présentée par la figure, montre des valeurs variant entre 0,135 à 0,258. D'après la carte de la figure 9, on peut distinguer quatre classes majeures qui occupent tout le bassin versant ; la valeur la plus faible étant de 0,135 caractérise le couvert végétal peu denses et espacées. Les coefficients les plus élevés soit 0,258 correspondent aux sols nus.

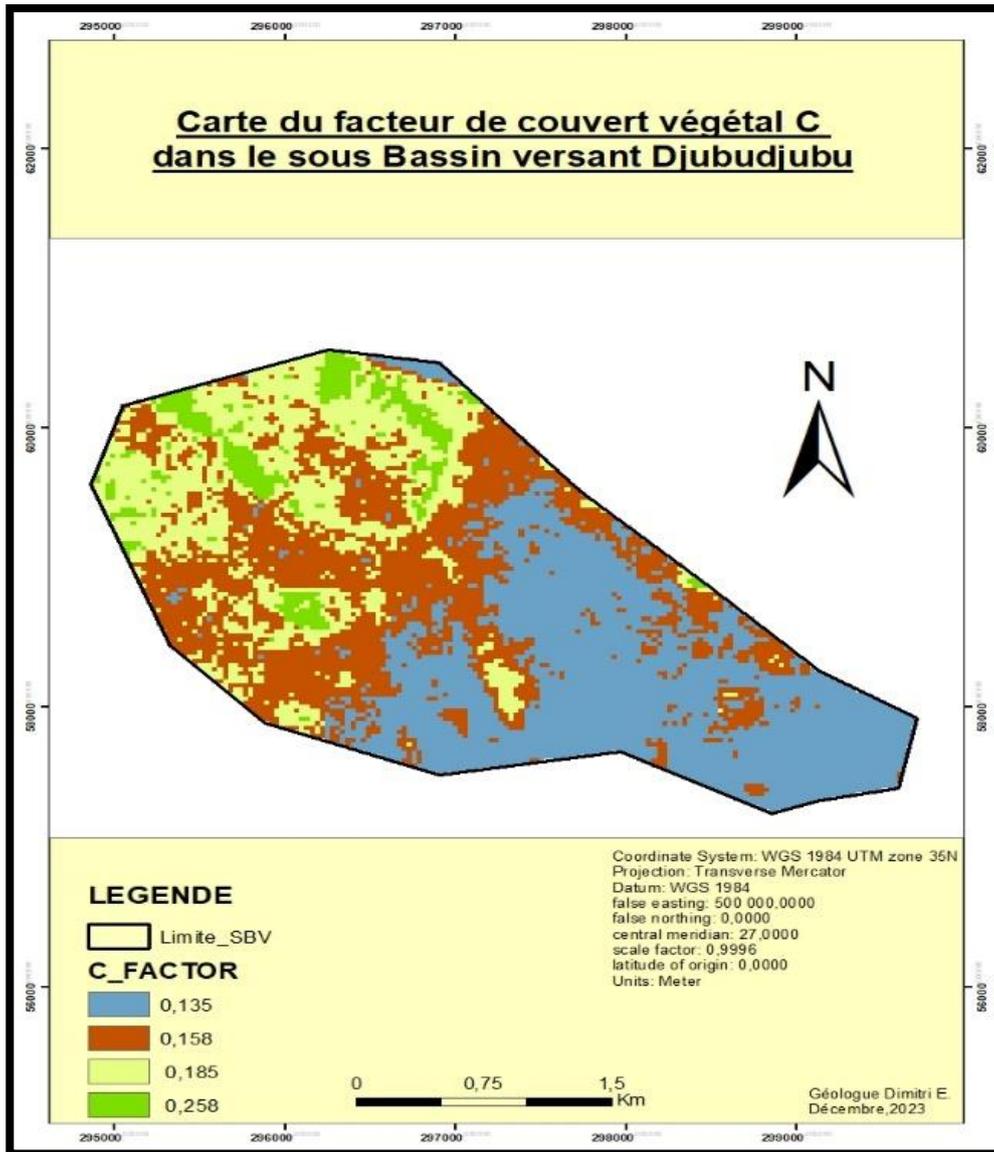


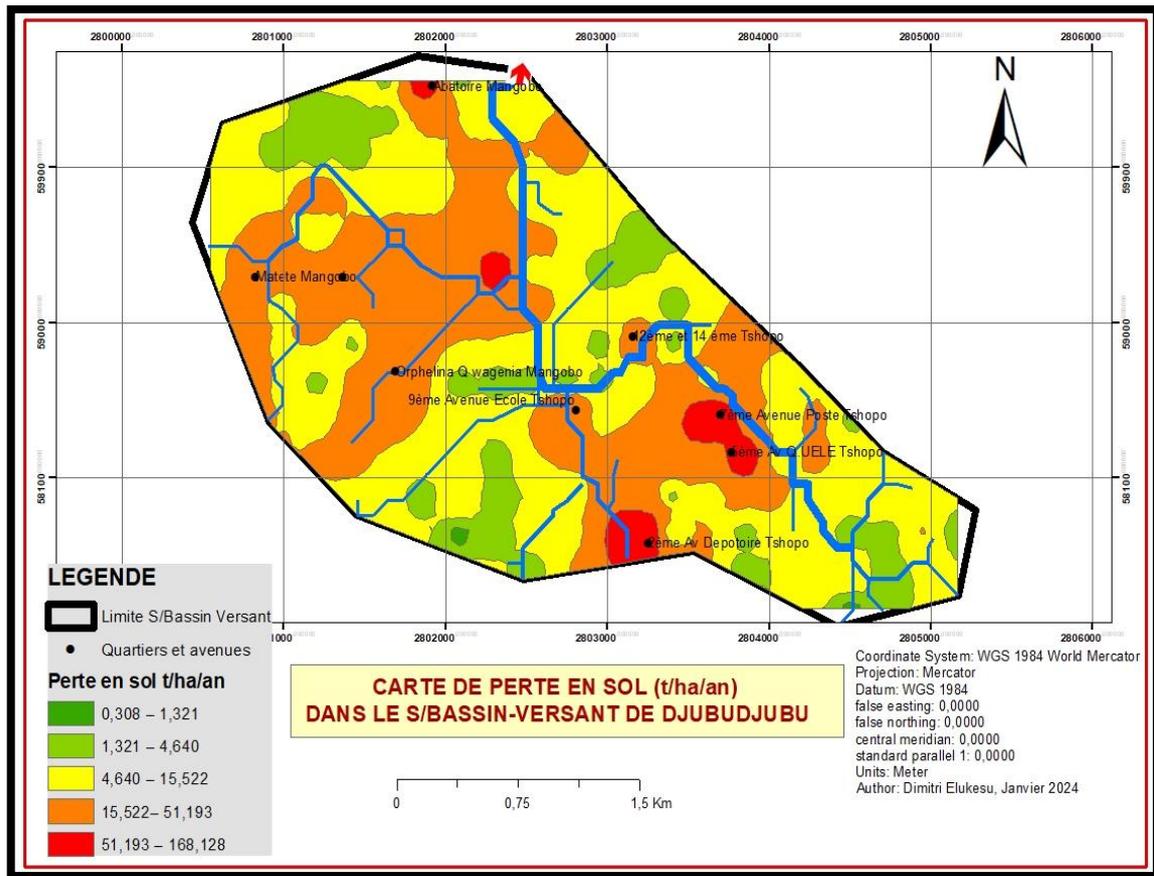
Figure 2. Carte du facteur de couvert végétal C dans le sous bassin versant de Djubudjuba

- **Facteur des pratiques anti-érosives P**

Pour le cas du bassin versant de Djubudjuba, l'aménagement antiérosifs n'étant pas effectif, le facteur des pratiques antiérosives P, est donc considéré comme 1.

- **La combinaison de différents paramètres de l'USLE**

A l'aide du logiciel Arcgis 10.3, la combinaison des paramètres a permis la réalisation d'une carte de perte en sol par l'érosion hydrique (Fig.11). En lisant de manière préliminaire cette carte, nous dégagons 3 différentes classes de taux annuel de perte en sol dans le sous bassin-versant de Djubudjuba.



**Fig.10 Carte de perte en sol en (t/ha/an) par interpolation IDW**

La carte ci-dessus (Fig12) réalisée par interpolation d'inverse distance IDW avec le logiciel arcgis, indique 5 classes de taux annuel de perte en sol dont parmi elles des zones pouvant atteindre un taux croissant de perte en sol de 51,193 à 168,128 t/ha/an situées au Nord et Sud-Est du sous bassin versant. La classe de 0,308 à 1,321 t/ha/an, représente un faible taux d'érosion du sol dans le sous bassin. La classe 1,321 à 4,640 t/ha/an éparpillée dans toutes les zones. Une autre classe présente des zones de 15,522 à 51,193 t/ha/an, répartie généralement au Nord-Ouest et Sud-Est du sous-bassin. La classe médiane présente des taux de perte en sol allant de 4,640 à 15,522 t/ha/an répartie dans toutes les zones.

**Tableau 4. Répartition des surfaces en fonction des classes de Taux d'érosion (t/h/an)**

Classes	Taux d'érosion(t/h/an)	Supérficie (Km2)	(%)
1	0,308-1,321	0,0121	0,155
2	1,321-4,640	1,08	13,873
3	4,64-15,522	4,212	54,103
4	15,522-51,193	2,231	28,657
5	51,193-168,128	0,25	3,211

Le tableau () renseigne que la troisième classe de 4,64-15,522 t/h/an couvre 54% des surfaces du sous bassin versant soit 4,212 Km<sup>2</sup>, suivie de la quatrième classe de 15,522-51,193t/h/an qui occupe 28,657% soit 2,231km<sup>2</sup>. Les

### **Discussion des résultats**

La carte de la vulnérabilité des sols à l'érosion du sous bassin versant de Djubudjubu obtenue par le modèle de RUSLE montre une répartition spéciale des classes éparpillées et zonées dans le sous bassin versant. La classe ayant le taux d'érosion faible varie de 0,308 t/ha/an à 1,321 t/ha/an, la classe de taux d'érosion élevé varie de 51,193 t/ha/an à 168,128 t/ha/an. La moyenne de taux de perte montre des valeurs comprises entre 14,596 et 48,16 t/ha/an.

A titre de comparaison, les études réalisées par d'autres chercheurs ont révélé des taux d'érosion moyens plus élevés, par exemple 65 t/ha/an ont été estimées au niveau du bassin versant de Nakhla (Tribak, A et al. 2012) alors qu'il est de 61 t/ha/an au niveau du bassin versant de l'oued Telata dans le Prérif oriental (Poesen et al.,1994) et 55,35 t/ha/an au niveau de l'oued Boussouab (Sadiki et al. 2004). D'autres études réalisées par Issa et al.,2014 au niveau du barrage Ibn Battouta, (Raissouni al.,2012) montrent respectivement une perte moyenne en terre faible de 39,6 t/ha/an et 37 t/ha/an.

Selon Wall et al., (2002), une érosion très faible à faible varie entre 0 et 11 t/ha/an, une érosion modérée entre 11 et 22 t/ha/an, alors qu'au-delà de 22, l'érosion est forte (22 à 33 t/ha/an) à très forte (> 33t/ha/an). Et tenant compte de la Classification de Wall et al (2002), le sous bassin versant de Djubudjubu présente un taux moyen d'érosion modéré (14,596 t/ha/an) à très forte (48,16t/ha/an).

### **CONCLUSION**

Au terme de ce travail dont l'objectif était d'élaborer la carte de taux annuel de perte en Sol dans le sous bassin versant de Djubudjubu à partir d'un ensemble de cartes thématiques présentant les résultats de l'analyse des différents facteurs intervenant dans le phénomène de l'érosion hydrique.

Cependant à partir de la spatialisation des stations pluviométriques, le facteur d'érosivité (R) montre que les valeurs varient de 7910,31 t/ha/an à 7932,74 t/ha/an. Le facteur d'érodibilité (K) montre une valeur de 0,10091015 couvrant la superficie totale du sous bassin. Les classes de pente varient de 0° à 3,86°, le facteur C montre des valeurs variant entre 0,135 à 0,258. Le facteur topographique (LS) dans le sous bassin versant de Djubudjubu est classé selon des valeurs variant entre 0,002056 à 1,755.

Le résultat d'interpolation des valeurs de taux de perte en sol obtenu en faisant la combinaison de différents paramètres de l'USLE avec le logiciel Arcgis resnsiegn 5 classes distinctes de taux annuel de perte en sol dans le sous bassin versant, dont parmi elles la classe pouvant atteindre un taux de perte en sol de 51,193 t/ha/an à 168,128 t/ha/an considérée comme le taux le plus élevée de la zone et une autre classe dont le taux d'érosion est faible variant de 0,308 t/ha/an et 1,321 t/ha/an. La classe mediane (4,64-15,522 t/h/an) couvre 54% des surfaces du sous bassin versant soit 4,212 Km<sup>2</sup>. Les Le taux moyen de perte en sol varie entre 14,596 t/ha/an à 48,16t/ha/an cette valeur moyenne nous permet de dire que le taux annuel d'érosion du sol dans le sous bassin versant de Dubudjubu va de modéré à très forte.

**REFERENCES**

1. ANYS, H ; BONN, F & MERZOUK, A., 1992. Cartographie et calcul de l'érosion hydrique à l'aide de télédétection et du SIG, cas du bassin versant d'oued Aricha (Settat, Maroc), *Géo Observateur*, 2 :37-51.
2. ARNOLD J.G, WILLIAMS J., SRINIVASAN R & KING KW., 1996. SWAT: Soil and Water Assessment Tool. User's Manual USDA Agriculture Research Service Grassland. Soil and Water Research Laboratory, 808 East Blackland Road Temple, TX 76502, 190 p.
3. BEASLEY D.B., HUGGINS F & MONKE E.J., 1980. ANSWERS: A model for watershed planning. *Transactions of the ASAE*, 23 : 938-944.
4. BENHAMMAR M & MEZIANE M., 2015. Développement d'un logiciel pour l'Estimation des Pertes en Sol- Cas du Bassin Versant oued Harraza. Mémoire de Master, Université Khemis Miliana. Algérie : 26p
5. BENNMOUSSA M., ELYAMANI M & SAIDI A., 1993. Application de l'équation universelle des pertes en sols au bassin versant d'Oued Tasrafate, *Géo Observateur*, 3 : 83-93.
6. BOARDMAN J, VANDAELE K, EVANS R, FORSTER IDL, 2019. Off-site impacts of soil erosion and runoff: Why connectivity is more important than erosion rates. *Soil Use & Management* 35, 245-256.
7. BOUGUERRA S & BOUANANI A., 2016. Cartographie qualitative de la sensibilité du sol à l'érosion hydrique- Cas oued Boukiou (l'Algérie), *Étude et Gestion des Sols*, Vol 23, 96p.
8. BRACKEN L, WAINWRIGHT J, ALI G, TETZLAFF D, SMITH M, REANEY S, ROY A, 2013. Concepts of hydrological connectivity : research approaches, pathways and future agendas. *Earth-Science Reviews* 119, 17–34.
9. CHERNI S & SAMAALI H., 2012. Estimation des paramètres de l'érosion hydrique à l'aide de la télédétection et du SIG- cas du bassin-versant de l'Oued Tlil (Nord-Est de la Tunisie). *Revista de geomorfologie* , 14 : 29-37.
10. DE VENTE J, POESEN J, ARABKHEDRI M, VERSTRAETEN G, 2007. The sediment delivery problem revisited. *Progress in physical geography* 31(2) , 155 –1 78
11. DEMMAK A.1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de Dr. Ing. Université de Pierre et Marie Curie, Paris XI, 323p
12. DOMINATI E, PATTERSON M, MACKAY A, 2010. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecol. Econ.* 69(9), 1858–1868.
13. EL GAROUANI A., CHEN H., LEWIS L., 2007. «The impacts of land use/land cover changes and climate regime on the spatial patterns of erosion and deposition by remote sensing and GIS: Case of Tlata river catchment (Morocco)». 2nd International Conference of GIS/RS in Hydrology, Water Resources and Environment, Guangzhou, China, September 7-13, 2007.
14. FAO, ISRIC et UGent 2007. Soil and terrain database for central Africa. Land and Water Digital Media Series, 33. FAO, Rome.
15. FOSTER G.R & LANE L.J. 1987. User requirements: USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP). NSERL Report No. 1, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN, 43 p.
16. HICKEY, R. (2000). Slope angle and slope length solution for GIS. *Cartography*, n° 29, pp.1- 8.
17. ISSA, LAMIAE KHALI, AHMED RAISSOUNI, RACHID MOUSSADEK, A. EL ARRIMISSA, L. KHALI, A. RAISSOUNI, R. MOUSSADEK A A. EL ARRIM, 2014 Mapping and assessment of

- water erosion in the Khmiss Watershed (North Western Rif, Morocco). *Current Advances in Environmental Science*. 2(4): 119–130
18. KHALI ISSA L, BEN HAMMAN LECH-HAB K, RAISSOUNI A & EL ARRIM A., 2016. Cartographie Quantitative du Risque d'Erosion des Sols par Approche SIG/USLE au Niveau du Bassin Versant Kalaya (Maroc Nord Occidental), *Laboratoire d'Environnement* : 2778-2795
  19. KINNEL P.I.A.2001. Slope length factor for applying the USLE-M to erosion in grid cells. *Soil Till Res* 58 : 11-17.
  20. KOMBELE, 2004. Diagnostic de la fertilité des sols dans la cuvette centrale congolaise. Cas des séries Yangambi et Yakonde, Thèse de doctorat, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, 424 p.
  21. L. VAN-CAMP, B. BUJARABAL, A.-R. GENTILE, R.J.A JONES, L. MONTANARELLA, C. OLAZABAL, S.-K. SELVARADJOU, 2004. Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection, EUR 21319 EN/2, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
  22. LUBUIMI M. L. J. (2003). Indice de perte des sols (IPS). Utilisation des Données Spatiales Numériques pour la détermination de l'Indice d'Imperméabilisation, in *Nachdruck und Versand bei Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet*. TFE, Université de Mainz, 14 p.
  23. LOMBA B. L. & NDJELE M.-B., 1998. Utilisation de la méthode de transect en vue de l'étude de la phytodiversité dans la Réserve de Yoko (Ubundu, R.D. Congo). *Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani. Annales* (11), 35-46.
  24. MASSON J.M., 1971. L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Thèse de l'université des Sciences et Techniques de Montpellier, 213 p
  25. MEKERTA B ; SEMCHA A ; SADOK A ; GUESSAS H & RAHMANI M., 2016. Moyens de lutte pour la prédiction l'envasement des retenues de barrages d'Ouizert, Bouhanifia et Fergoug. 5<sup>th</sup> I2SM, Montreal .Canada, MOSTEPHAOUI T, MERDAS S, SAKAA B, HANAFI M T & BENZAOUZ MT., 2013. Cartographie des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol a l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin versant d'el Hamel (Boussaada). Algérie. *Journal Algérien des Régions Arides ; N° Spécial* :131-147
  26. ONM., 2014. Office national de la météorologie .Station du barrage du Beni haroun. Mila. Algérie
  - REMINI B., 2005. La problématique de l'eau en Algérie, Ed: OPU.
  27. POESEN, JEAN A HANOCH LAVÉE, 1994 Rock fragments in top soils: significance and processes. *Catena*. 1994; 23(1–2); 1–28.
  28. RAISSOUNI, AHMED, LAMIAE KHALI ISSA, A. ARRIM, M. MAÂTOUK A ROBERTO PASSALACQUA, 2012 GIS-based model to assess erosion sensitivity in Northern Morocco. Laou watershed case study. *International Journal of Géosciences*. 3(3): 610–626.
  29. REMINI B & HALLOUCHE W., 2004. Le dragage des barrages. Quelques exemples algériens. *Revue Internationale la Houille Blanche* 3 : 95-100
  30. RENARD K J & FREIMUND JR., 1993. Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R factor in the Revised USLE. *Journal of Hydrology*, 157 : 287-306.
  31. RENARD K. G ; FOSTER G R ; WEESIES G. A ; MCCOOL D. K. & YODER D. C., 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Handbook* . U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C, 703p

32. SADIKI, ABDELHAMID, SAÏDATI BOUHLASSA, JAMAL AUAJJAR, ALI FALEH A JEAN-JACQUES MACAIRE., 2004 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. 69–79.
33. STONE R P & HILBORN D., 2000. Equation universelle des pertes en terre. Fiche technique Ontario. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales, 3p.
34. SYS, C., 1960. Carte des sols et de la végétation du Congo Belge et du Rwanda-Burundi. Notice explicative de la carte des sols du Congo Belge et du Rwanda-Burundi. Publ. I.N.E.A.C., Bruxelles, 84p.
35. TAHRI M, MERZOUK A, LAMB HF & MAXTED RW. 1993. Etude de l'érosion hydrique dans le plateau d'Imelchil dans le Haut Atlas central. Utilisation d'un SIG. Géo Observateur, 3 : 51-60
36. TOUMI S, MEDDI M., MAHE GIL & BROU Y.T., 2013. Cartographie de l'érosion dans le bassin versant de l'oued Mina en Algérie par télédétection et SIG, Hydrological Sciences Journal, 58, 7 : 1549p
37. TRIBAK, A., A. EL GAROUANI A M. ABAHROUR., 2012 L'érosion hydrique dans les séries marneuses tertiaires du pré-rif oriental: agents, processus et évaluation quantitative. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires.; 1(1): 47–52.
38. VAN DER KNIJFF JM, JONES R. J.A. & MONTANARELLA L., 2000. Estimation du risque d'érosion en Italie, European Soil Bureau, 8p.
39. VITA-FINZI C., 1969. The Mediterranean Valleys. Geological Changes in Historical Times, Cambridge Univ. Press, 140 p.
40. WALL, G. J., D. R. COOTE, E. A. PRINGLE A I. J. SHELTON. RUSLE-CAN. 2002.
41. WALLING DE, 1983. The sediment delivery problem. J. Hydrol. 65, 209–237.
42. WILLIAMS JR., 1995. Chapter 25: The EPIC model. In V.P.Singh (ed.) Computer models of watershed hydrology. Water Resources Publications : 909-1000
43. WISCHMEÏER W.H. et SMITH D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion losses, Agriculture Handbook no. 57, US Department of Agriculture. Washington DC. USA., 58p