

Estimation des paramètres de l'érosion hydrique par Approche SIG/USLE : cas du bassin versant de l'Oued Arab (région de Khenchela, Nord-Est de l'Algérie)

Miloud KOUSSA¹, Mohamed-Tewfik BOUZIANE²

¹ Département des Sciences et Techniques, Centre Universitaire de Mila 43000, Algérie.

² Département de Génie Civil et d'Hydraulique, Université de Biskra, Biskra 07000, Algérie.

*corresponding author, email: koussamiloud@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 January 2019

Accepted after corrections 13 April 2019

Keywords:

Oued El Arab watershed, water erosion, vulnerability, GIS, USLE.

ABSTRACT

Parameter estimation of Soil Erosion using the GIS/USLE Approach: a case of the watershed of Oued Arab (Khenchela region, North-East of Algeria). Erosion, solid transport and sedimentation are, due to their importance, a major problem in Algeria. The objective of this work is to assess and map sensitive and high risk areas and emergency response areas in the watershed, using a GIS/USLE approach at the watershed scale. The USLE (Universal Soil Loss Equation) model, with which soil water erosion risks can be estimated, has been applied to the watershed of Wadi el Arab. The analysis of the five erosion parameters, namely rain erosion, soil erosion, slope inclination and length, vegetation cover and erosion control practices, was carried out in a GIS. The combination of the different maps of these parameters made it possible to deduce the erosion map from which it emerges that the phenomenon of erosion affects the entire watershed of Oued el Arab and varies from 0 to more than 65 t/ha/year with a relatively high average annual loss of 7.3 t/ha/year.

RESUME

L'érosion, le transport solide et la sédimentation constituent, de par leurs importances, un problème majeur en Algérie. Le présent travail a pour objectif d'évaluer et cartographier les zones sensibles et à haut risque d'érosion ainsi que les régions d'urgence d'intervention dans le bassin versant, par une approche SIG/USLE à l'échelle du bassin versant. Le modèle USLE (Universal Soil Loss Equation), avec lequel on peut estimer les risques d'érosion hydrique des sols, a été appliqué au bassin versant d' oued el Arab. L'analyse, des cinq paramètres d'érosion à savoir l'érosivité de la pluie, l'érodibilité du sol, l'inclinaison et la longueur de pente, le couvert végétal et les pratiques antiérosives, ont été opérées dans un SIG. La combinaison des différentes cartes de ces paramètres a permis de déduire la carte d'érosion à partir de laquelle, il ressort que le phénomène d'érosion touche l'ensemble du bassin versant d'oued el Arab et varie de 0 à plus de 65 t/ha/an avec une perte moyenne annuelle relativement forte de 7.3 t/ha/an.

Mots-clés : Bassin versant oued El Arab, érosion hydrique, vulnérabilité, SIG, USLE.

1. Introduction

L'érosion hydrique est un phénomène complexe, qui menace particulièrement les potentialités en eau et en sol. Les causes principales de cette dégradation trouvent aussi leurs origines dans les caractéristiques physiques, climatiques et hydrologiques du bassin versant. En effet, les facteurs géo-climatiques comme la lithologie et la morpho pédologie des bassins, l'agressivité des averses, l'intensité et l'irrégularité du ruissellement, ainsi que les amplitudes thermiques et la sévérité des étiages... constituent des facteurs dont l'appréciation a toujours constitué un élément fondamental pour la cartographie du risque à l'érosion et/ou toute modélisation du phénomène (Cherni, 2012).

En Algérie, les pertes annuelles d'eaux, dues à l'envasement dans les barrages, sont estimées à environ 20 millions de m³ (Remini, 2000). Avec une érosion spécifique annuelle moyenne variant entre 2 000 et 4 000 t/km² (Demmak, 1982).

L'érosion hydrique demeure une préoccupation majeure pour l'Algérie. Environ six millions d'hectares sont exposés aujourd'hui à une érosion active (Heddadj, 1997). A titre d'exemple dans la wilaya de Mascara, le barrage de Ouizert (mise en eau en 1986) est le moins envasé avec 10,2% environ de sa capacité globale, qui est de 100 Mm³. En revanche, le barrage de Bouhanifia (construit en 1937) d'une capacité de 73,1 Mm³ est envasé à 54%. Enfin, le barrage de Fergoug (inauguré en 1865 puis reconstruit au cours de la période 1967- 1969) est complètement envasé à plus de 95% de sa capacité globale, qui est de l'ordre de 17 Mm³ (Mekerta et al., 2016).

Afin d'étudier cette problématique environnementale, il existe de nombreuses méthodes d'analyse spatiale. Elles sont utiles pour l'identification des sites dégradés, pour analyser leur degré d'impacts (Catherine, 2011). A

cet effet, des logiciels des systèmes d'information géographique, fournissent des outils intéressants de calculs et de mesures hydro-morphologiques à partir du MNT et permettent de croiser des cartes aux thèmes différents, de fusionner leurs bases de données et d'appliquer des équations mathématiques sur les valeurs numériques des facteurs d'érosion qui y sont rangées.

L'équation universelle de perte en sol USLE (Universel Soil Loss Equation) de [Wischmeier et Smith \(1978\)](#) reste de loin le modèle le plus utilisé parmi les modèles mathématiques de prédiction de l'érosion hydrique. L'intégration des cartes thématiques des facteurs de ce modèle dans le SIG a permis de cerner l'impact de chaque facteur dans les pertes en sol, de classer par importance relative les zones d'érosion, et de quantifier les pertes en sol.

Les SIG sont devenus d'une utilité énorme pour assembler, traiter, analyser et superposer les informations spatiales qui décrivent l'environnement d'un bassin versant, puisque la plupart des facteurs peuvent être cartographiés. Cela a permis de déterminer les valeurs de chaque facteur de l'érosion par unité spatiale déterminée qui est le pixel ([Kinnell, 2001](#)), sa répartition spatiale à un temps réduit et une meilleure précision sur de grandes superficies.

Le but de cette étude consiste à élaborer un ensemble de cartes thématiques présentant les résultats de l'analyse des différents facteurs intervenant dans le phénomène de l'érosion ainsi que des cartes de l'érosion potentielle et de la vulnérabilité au risque d'érosion du bassin versant Oued El Arab, wilaya de Khenchela.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Zone d'étude

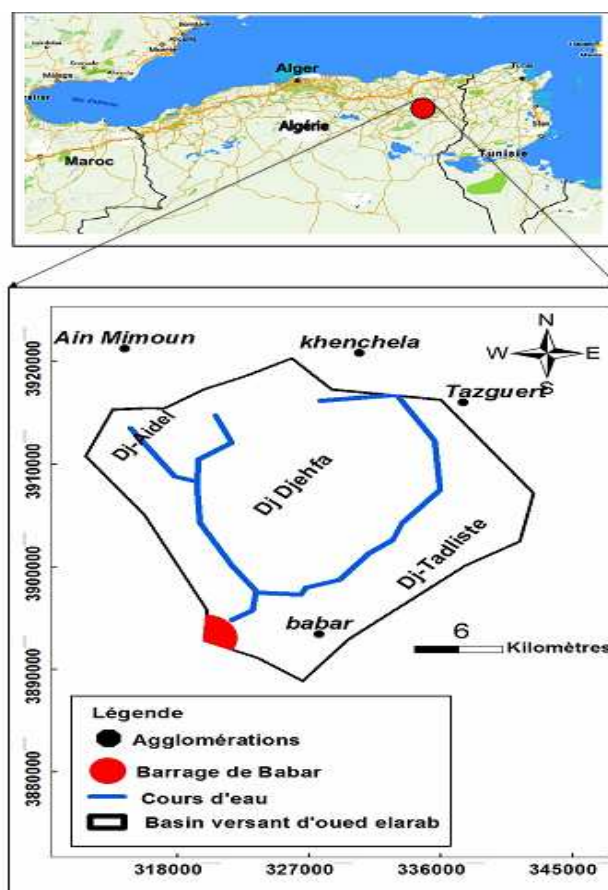
La région étudiée est située à l'Est Algérien dans les confins Est de l'Atlas Saharien et précisément au niveau de la chaîne montagneuse de Djebel Djehfa appartenant aux monts de Nementcha. Le barrage a été construit sur Oued El Arab et son bassin versant à une surface de 567 km² environ, qui fait partie du grand bassin versant de Chott Melghir (Fig. 1)

Les formations prédominantes appartiennent au quaternaire avec une épaisseur assez limitée; ce qui explique que la zone d'étude a une perméabilité moyenne, mais l'action de l'érosion reste importante sur la majorité de la surface du bassin ([Laffitte, 1939](#)). Cette action est surtout active sur les fortes pentes dépourvues de végétation ([Gaagai, 2009](#)).

La région d'étude est caractérisée par un climat aride à semi-aride avec un hiver froid, et un été chaud, et sec avec une pluviométrie moyenne annuelle de 310 mm et une température moyenne annuelle de l'ordre de 15.12 C° ([Gaagai, 2009](#)).

Figure 1. ►

Situation géographique du bassin versant d'oued El Arab, wilaya de Khenchela, Algérie



2.2. Choix du modèle

Différentes approches ont été conçues pour évaluer le risque d'érosion hydrique, tel que l'USLE (Universel Soil Loss Equation) de [Wischmeier et Smith \(1978\)](#) et ses versions modifiées: LAVSED ([Frenette et al., 1986](#)), le modèle SILSOE ([Morgan, 1982](#)), le modèle MEDALUS ([Kirkby, 1995](#)) et le modèle SEMMED ([De Jong et Riezebos, 1997](#)).

Il est question de choisir pour notre étude un modèle qui permette, grâce aux SIG, la spatialisation de l'érosion hydrique à l'échelle des bassins versants et non plus des parcelles.

Notre choix pour cette étude s'est donc porté sur l'équation universelle des pertes en sol révisée (USLE), pour la détermination des divers facteurs de l'érosion hydrique.

Cette équation qui s'adapte bien aux SIG, a été utilisée par plusieurs chercheurs au Maroc pour évaluer l'érosion (Anys et al., 1992), en Algérie (Benmoussa et al., 1993), et en Tunisie (Tahri et al., 1993).

Malgré les critiques adressées sur l'utilisation abusive de l'USLE dans des conditions autres que celles où elle a été élaborée, il semble, en pratique, que l'approche de modélisation par l'emploi des facteurs de l'USLE demeure une stratégie acceptable pour évaluer l'érosion hydrique des sols (Mostephaoui et al., 2013).

2.3. Expression de l' 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 anti-érosives :

$$A = R \cdot LS \cdot K \cdot C \cdot P \dots \dots \dots 1$$

Avec :

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

R est le facteur de l'érosivité des pluies en MJ/mm / ha. H. an,

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.

2.3. Données utilisées

Les données sont traitées sous une plateforme multi-logiciel (Arcgis 10.2.2, Global Mapper 15.1, Excel 2007), afin d'élaborer une base de données très riche permettant la manipulation, la mise à jour de ces données, ainsi que la visualisation (Tab.1).

Tableau 1. Données et logiciels utilisés

Documents	Logiciels
1- Image Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de résolution 30 m obtenue sur le site: http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp (Consultation du site le 08/04/2018).	1- Arcgis version 10.2.2
2- Carte d'occupation du sol de l'Est algérien 1/100000.	2- Global mapper version 15.1
3- 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 . (Consultation du site 2017).	
4-Image satellitaire ETM+ du 18/05/2006 type Landsat 5 de 30 m de résolution du 18/05/2006.	
5- www.worldclim.org/bioclclim (Précipitation de la période: 1970/2000) (Consultation du site le 08/04/2018)	

2.3.1. Organigramme de la méthodologie appliquée

La figure 2, résume les différents traitements appliqués à nos données. L'application du modèle a eu lieu après modélisation des cinq facteurs en cartes thématiques au format raster, en tenant compte des valeurs numériques de chaque carte et la multiplication des cinq facteurs à l'aide du SIG avec pour finalité l'élaboration de la carte du taux d'érosion hydrique des sols du bassin versant de Oued El Arab.

2.3.2. Les données pluviométriques et le facteur R

Le climat joue un rôle déterminant dans le risque d'érosion hydrique des sols, par le biais des précipitations (fréquence, durée et intensité). L'estimation du facteur R selon la formule de Wischmeier et Smith est assez complexe et pour ce faire, les données de la version 2 du WorldClim (Global Climate Data) ont été employées.

La version 2 de WorldClim contient des données climatiques mensuelles moyennes pour la température minimale, moyenne et maximale et pour les précipitations de 1970 à 2000 pour différentes résolutions spatiales, de 30 secondes (~ 1 km²) à 10 minutes (~ 340 km²).

L'exploitation des données du modèle climatique mondial WorldClim dans le calcul du facteur d'érosivité des pluies R a permis d'aboutir à une évaluation globale de l'agressivité des pluies sur la zone d'étude. Ces données issues de l'interpolation de base de données climatiques (locales, mondiales) permettent d'intégrer le rôle des précipitations dans la modélisation de l'érosion des sols en l'absence de données plus précises.

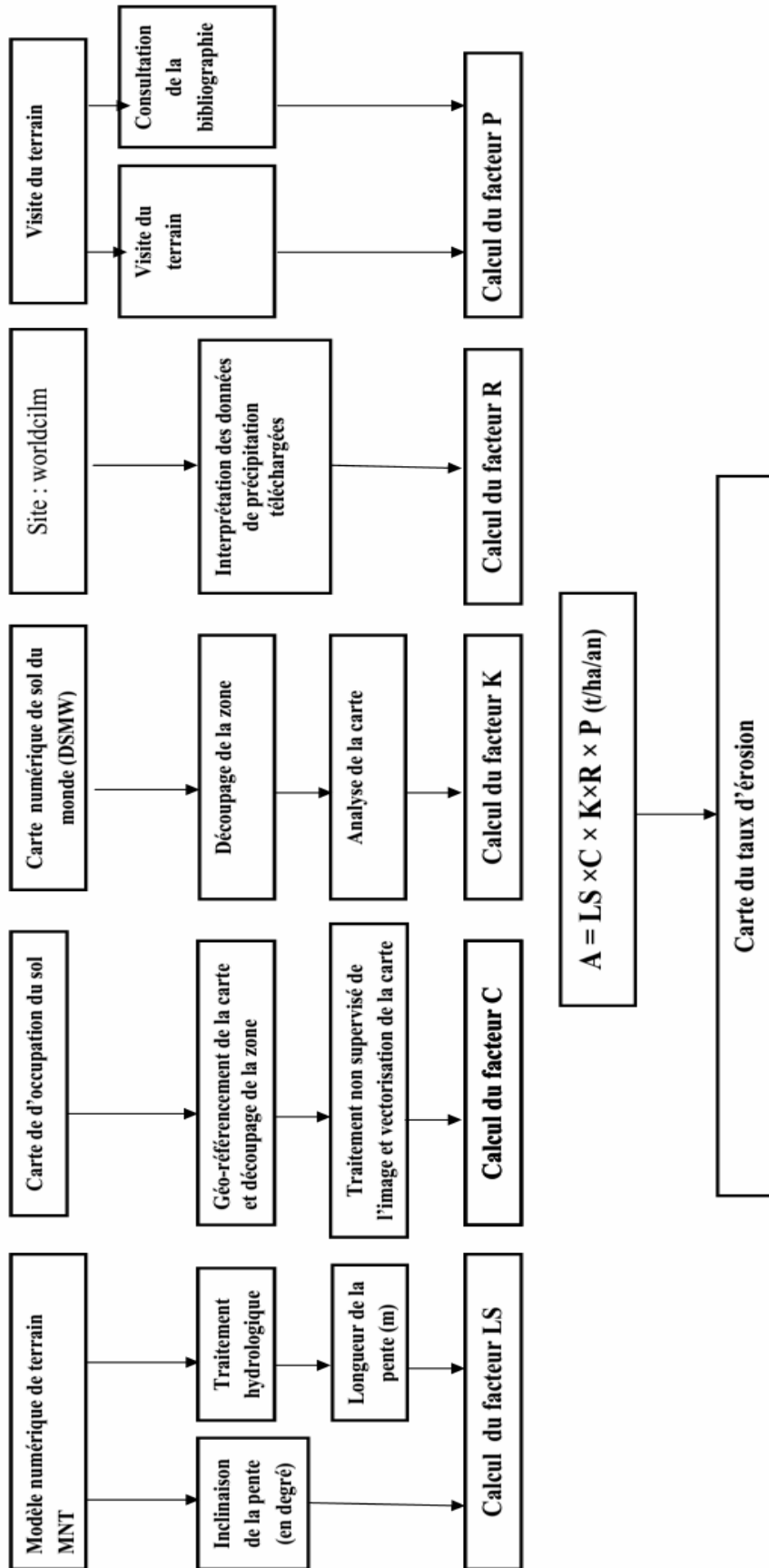


Figure 2. Organigramme de réalisation du SIG

La figure 3 montre que la valeur du facteur R varie de 770 (t/ha/an) à 990 (t/ha/an). Les valeurs élevées sont enregistrées au nord-est, alors que les valeurs les plus faibles sont enregistrées au sud du bassin versant d’oued AlArab.

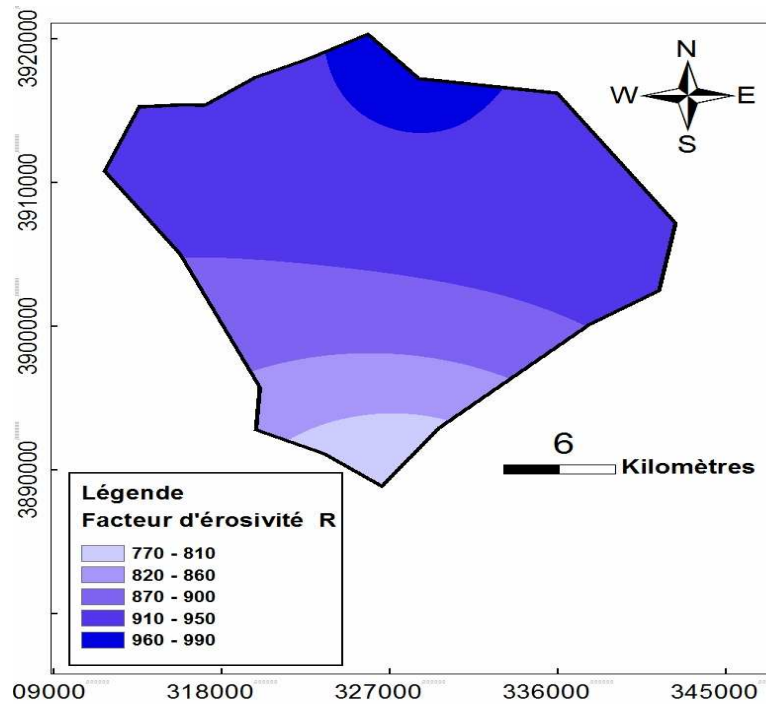


Figure 3. Carte de facteur d’érosivité R dans le bassin versant d’oued El Arab

2.3.3. La carte numérique du sol du monde (DSMW) et le facteur K

Nous avons évalué l’indice K des différents types de sols à l’aide des équations de Masson (1971) et 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 (2) de Williams (1995)

$$K_{USLE} = f_{SabGros} \cdot f_{arg-lim} \cdot f_{CarOrg} \cdot f_{teneurSab} \dots\dots\dots 2$$

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

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

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

$f_{teneurSab}$: abaisse les valeurs K pour les sols à très forte teneur en sable.

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

$$f_{arg-lim} = \left(\frac{m_{lim}}{m_{arg} + m_{lim}} \right)^{0,3} \dots\dots\dots 4$$

$$f_{CarOrg} = \left(1 - \frac{0,25 \cdot CarOrg}{CarOrg + \exp(3,72 - 2,95 \cdot CarOrg)} \right) \dots\dots\dots 5$$

$$f_{teneurSab} = \left(1 - \frac{0,7 \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\frac{m_s}{100} + \exp \left[-5,5 + 22,9 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right) \dots\dots\dots 6$$

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

A partir de ces équations, on a calculé le facteur K, les résultats sont représentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Valeurs du facteur d'érodibilité K dans le bassin versant d'oued Al Arab

$f_{\text{sable grossier}}$	$f_{\text{argile-limon}}$	$f_{\text{carbone organique}}$	$f_{\text{teneur en sable}}$	K_{USLE}	K
0,200	0,897	0,977	0,999	0,175	0,023
0,200	0,819	0,991	0,718	0,117	0,015

La carte de la figure 4, présente la répartition spatiale des différentes classes du facteur K dans le bassin versant d'oued El Arab

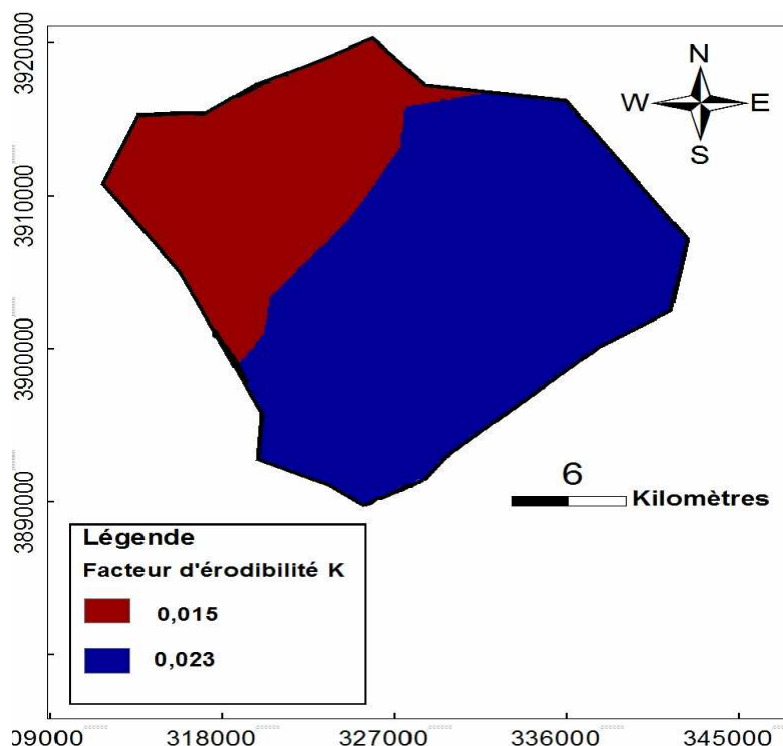


Figure 4. Carte de facteur d'érodibilité K dans le bassin versant d'oued El Arab

Les valeurs de l'indice d'érodibilité sont comprises entre 0,015 et 0,023 et sont réparties sur la zone d'étude selon les différentes unités homogènes. Presque la moitié (43 %) de la superficie totale du bassin présente généralement une érodibilité faible (0,015), suivie d'une érodibilité forte (0,023), avec 57% du la surface du bassin.

2.3.4. L'image SRTM et le facteur LS

La topographie du milieu est un facteur sensible pour l'érosion hydrique. La pente a une incidence importante sur le processus d'érosion hydrique.

Le ruissellement est généralement fort et rapide sur des pentes raides causant ainsi une érosion hydrique très grave. Le facteur topographique (LS) est calculé à partir de la longueur des pentes (L) et de leur inclinaison (S), déterminées à partir du modèle numérique du terrain (MNT)

$$LS = (L / 22,13)m * (0,065 + 0,045 * S + S^2 \dots \dots \dots 7$$

- L est la longueur de pente en m.
- S est l'inclinaison de la pente en %.
- m est un paramètre tel que : m = 0,5 si la pente est > 5% m = 0,4 si la pente est de 3,5 à 4,5 % m = 0,3 si la pente est de 1 à 3 % m = 0,2 si la pente est < 1

Dans notre travail, L et S ont été déterminé dans Arcmap (Field Calculator) par les formules suivantes (Desmet et al.,1996) :

$$L = \frac{\text{Power}(\text{"Flow_acc"} + 8100, (\text{"m"} + 1)) - \text{Power}(\text{"Flow_acc"}, (\text{"m"} + 1))}{\text{Power}(90, (\text{"m"} + 2)) * \text{Power}(22, 13, \text{"m"})} \dots\dots\dots 8$$

Avec : $F = \frac{\text{Sin } \beta / 0,0896}{(3 * (\text{Sin } \beta) 0,8 + 0,56)} \dots\dots\dots 9$

où

$$F = \frac{(\text{Sin}(\text{"Pente"}) * (3,14 / 180)) / 0,0896}{(3 * \text{Power}(\text{Sin}(\text{"Pente"}) * (3,14 / 180)), 0,8) + 0,56} \dots\dots\dots 10$$

et $m = \frac{F}{(1 + F)} \dots\dots\dots 11$

Ces deux paramètres calculés dans leur champ respectif dans la table attributaire de ce facteur, et les résultats intégrés dans l'équation finale.

Le facteur S, quant à lui est estimé grâce à deux régressions simples appliquées en fonction de l'angle d'inclinaison, avec la pente en degré :

$$S = 10,8 \sin \beta + 0,03 \quad \text{si} \quad \tan \beta < 0,09$$

$$S = 16,8 \sin \beta + 0,5 \quad \text{si} \quad \tan \beta \geq 0,09$$

Sous ArcMap, il est obtenu à partir de la commande CON, qui est la fonction conditionnelle. Spatial Analyst Tools > Mapalgebra > Raster Calculator:

$$S = \text{Con}(\text{Tan}(\text{"Pente"}) * (3,14 / 180)) < 0,09, (10,8 * \text{Sin}(\text{"Pente"}) * (3,14 / 180)) + 0,03, (16,8 * \text{Sin}(\text{"Pente"}) * (3,14 / 180)) + 0,5) \dots\dots\dots 12$$

La pente est convertie du radian au degré en multipliant par 3,14 et en divisant par 180. Finalement le facteur LS est obtenu à partir du produit des facteurs L et S, appliqué dans Spatial Analyst Tools > Map algebra > Raster Calculator : $LS = "L" * "S" \dots\dots\dots 13$

La carte de répartition du facteur topographique LS (Fig. 5), montre que les valeurs les plus fortes se trouvent logiquement au niveau des altitudes les plus élevées de notre zone d'étude.

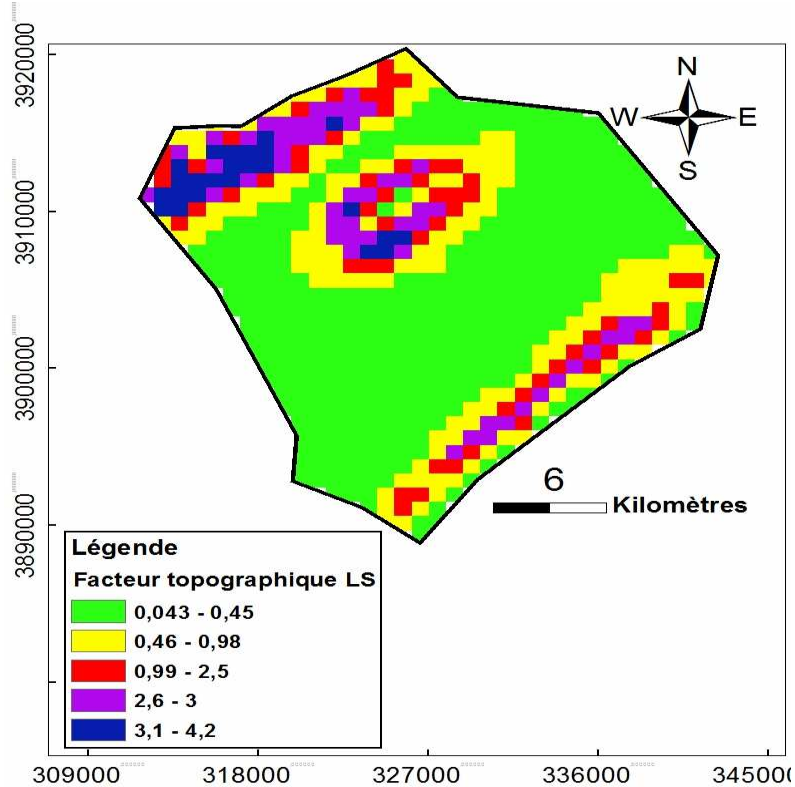


Figure 5. Carte de facteur topographique LS dans le bassin versant d'oued El Arab

La distribution du facteur topographique (LS) montre que 38 % de la superficie du bassin versant fait partie de la classe 2,5 à 4,2. Par conséquent, une grande partie du bassin est soumise à un grand risque d'érosion.

2.3.4. Couvert végétal et le facteur C

Les valeurs du facteur du couvert végétal adoptées sont proviennent de la cartographie de la densité de la végétation sur une image satellitaire (ETM+ du 18/05/2006, type Landsat 5 de 30 m de résolution), cette dernière a été analysée sur la plate forme du logiciel Arcgis (version 10.2.2) par la méthode de classification non supervisée.

Après la classification d'image et le choix des classes de terrain (sol nu, forêts, parcours), on a attribué une valeur du facteur C pour chaque type du sol, (Tab. 3 et Fig. 6).

Tableau 3. Valeur du facteur de couvert végétal C adoptées dans le bassin versant d'oued El Arab

Type de terrain	Facteur C
Sol nu	1
Parcours	0,699
Forets	0,029

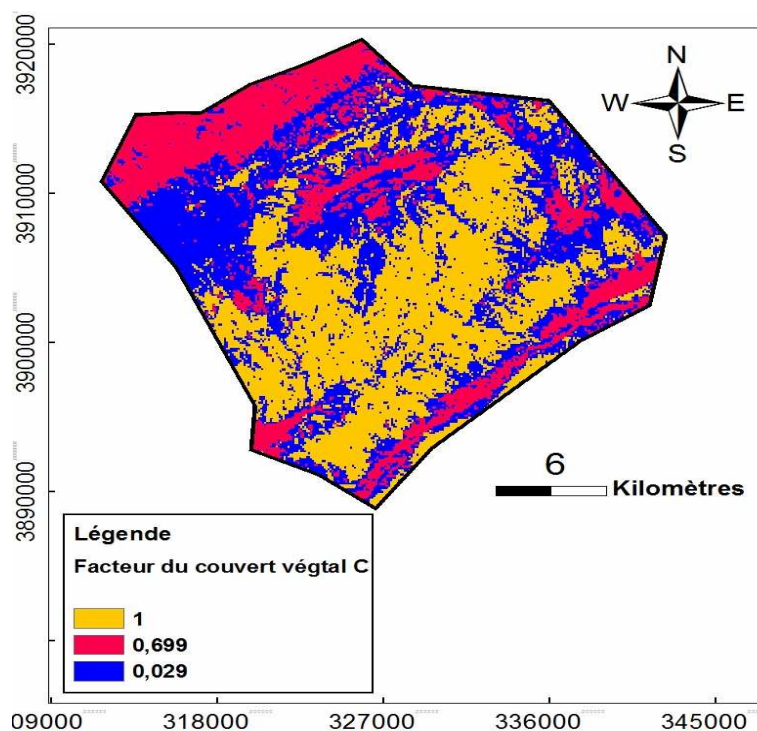


Figure 6. Carte de facteur du couvert végétal C dans le bassin versant d'oued El Arab

Les résultats obtenus montrent que moins de 29% du bassin versant est bien protégée et plus de 71% de surface possède un taux de couverture végétale très faible contre l'érosion.

2.3.5. Facteur des pratiques anti-érosives P

Dans le cas du bassin versant d'oued El Arab, il n'existe pas d'aménagements antiérosifs. Ainsi le facteur P a été supposé égal à 1.

3. Résultats et discussions

Le produit de différents paramètres de l'USLE sous le logiciel Arc gis à travers l'option Spatial Analyst Tools > Map algebra >Raster Calculator, permet d'obtenir la carte de risque d'érosion (Fig.7)

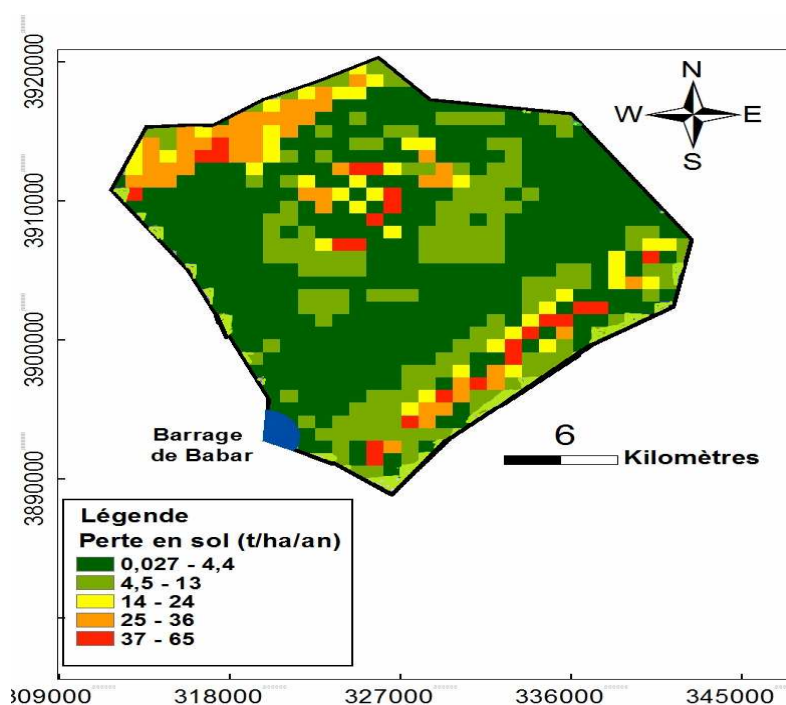


Figure 7. Carte de perte en sol en (t/ha/an) dans le bassin versant d'oued El Arab

La multiplication des paramètres de l'équation USLE a permis d'obtenir la carte des pertes en sols en tout point du bassin versant. Le tableau 4 indique la répartition des classes des pertes en sol dans le bassin versant d'oued El Arab.

Tableau 4. Répartition des classes de perte en sol dans le bassin versant d'oued El Arab

Classe des pertes en sol	Surface (en Km ²)	Surface (en %)
0,027-4,4	256,28	45,2
4,5-13	98,1	17,3
14-25	41,39	7,3
25-36	104,89	18,5
37-65	66,34	11,7

La carte obtenue (Fig.7) montre des taux d'érosion variant entre (0 – 4,4 t/ha/an) comme valeur minimale soit 60 % de la surface du bassin versant et 65 t/ha/an, comme valeur maximale, avec une moyenne de l'ordre de 7.3 t/ha/an.

La description et la discussion de la carte des classes d'érosion nécessitent obligatoirement une lecture parallèle des cartes des paramètres physiques (LS) et naturels (lithologie et végétation) de toute la région d'étude.

On remarque que les pertes en sol augmentent avec l'inclinaison des pentes et le phénomène se concentre généralement au niveau des chaînes montagneuses (Djebel Djehfa, Djebel Tadliste au Sud-Est et Djebel Aidel au Nord-Ouest) avec des taux d'érosion élevés de l'ordre de 14 à 65 t/ha/an. Cela indique que l'impact du facteur topographique apparaît clairement dans les zones où coïncident des valeurs fortes de LS (0,99 à 4,2).

La région d'étude présente un taux de couverture végétale très faible (Fig.6). Ceci est expliqué essentiellement par la dominance des terrains de parcours dégradés et les zones de cultures qui sont considérés très sensibles à l'érosion.

Dans le bassin versant d'oued El Arab, la répartition du facteur d'érodibilité et le facteur d'érosivité montre que ces derniers ont une influence non négligeable et jouent aussi un rôle décisif dans le contrôle de l'érosion, mais à un moindre degré que les deux premiers facteurs (topographique et couvert végétal).

4. Conclusion

Le présent travail avait pour objectifs d'évaluer le taux d'érosion du sol par une approche SIG/USLE à l'échelle du bassin versant d'oued El Arab (Est de l'Algérie).

La carte du taux d'érosion, montre que le bassin d'oued El Arab présente des pertes en sols qui varient de 0 à plus de 65 t/ha/an avec une perte moyenne annuelle relativement forte de 7.3 t/ha/an. Plus de 43% de la superficie totale du bassin présente des valeurs supérieures à 13 t/ha/an.

L'approche SIG/USLE apporte une aide importante aux décideurs et aux aménageurs pour simuler des scénarios d'évolution de la région et planifier les interventions de lutte contre l'érosion, surtout dans les zones où l'érosion en nappe est prédominante.

Références bibliographiques

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. 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.
3. Catherine P.H., 2011. Méthodes d'étude de l'érosion et gestion des sites dégradés en Nouvelle-Calédonie. Essai présenté au Centre de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement. Université de Sherbrooke. 2p.
4. 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.
5. De Jong, S.M., Riezebos, H.T., 1997. SEMMED: a distributed approach to soil erosion modelling. In: Spiteri, A. (Ed.), *Remote Sensing '96: Integrated Applications for Risk Assessment and Disaster Prevention for the Mediterranean*. Balkema, Rotterdam, pp. 199-204.
6. Demmak A., 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie. Thèse de Doctorat, Université de Paris VI, France. 323p.
7. Desmet P. J. J., Govers, G., 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscapes units". *Journal of Soil and Water Conservation*, 51 : 427-433.
8. Frenette M., Julien P.Y., 1986. LAVSED I : Un modèle pour prédire l'érosion des bassins et le transport des sédiments fins pour les cours d'eau nordiques. *Canadian J. Civil Eng*, 13 : 150-161
9. Gaaga A., 2009. Étude hydrologique et hydro chimique du bassin versant du barrage de Babar sur Oued Al Arab région est de l'Algérie. Mémoire de Magistère, université de Batna, 108p.
10. Heddadj D., 1997. La lutte contre l'érosion en Algérie. *Bull. Res. Éros*, 17 : 168-175.
11. Hussein el Hage H., 2011. Les apports d'un S.I.G. dans la connaissance des évolutions de l'occupation du sol et de la limitation du risque érosif dans la plaine de la Bekaa (LIBAN). Thèse Docteur en géographie, université d'Orléans, 381 p.
12. Kinnell P.I.A. 2001. Slope length factor for applying the USLE-M to erosion in grid cells. *Soil Till Res*, 58 : 11-17.
13. Laffitte R., 1939. Structure et relief de l'Aures. *Bull. Ass. Géogr. fr.*, 119: 34-40
14. Masson J.M., 1971. L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Thèse de l'université des Sciences et Techniques de Montpellier. 213p.
15. 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. 5th I2SM, Montreal .Canada .1p.
16. Morgan R., 1982. Soil erosion and conservation. D-A Davidson, J. Wiley and Sons Inc. 253 p.
17. Mostephaoui T., Merdas S., Sakaa B., Hanafi M.T., Benazzouz M.T., 2013. Cartographie des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol à 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.
18. Remini B., 2000. L'envasement des barrages. *Bull Réseau Eros.*, 20, 165-171.
19. Tahri M., Merzouk A., Lamb H.F., Maxted R.W., 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.
20. Williams JR., 1995. The EPIC model. In V.P.Singh (ed.) *Computer models of watershed hydrology*. *Water Resources Publications*, Chapter 25: 909-1000.

Please cite this Article as:

KOUSSA M. et BOUZIANE M.T., 2019. Estimation des paramètres de l'érosion hydrique par Approche SIG/USLE : cas du bassin versant de l'Oued Arab (région de Khenchela, Nord-Est de l'Algérie). *Agric. For. J.*, 3(1): 36-45.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3239252>