



Apport de SIG a la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans le bassin versant de Beni Haroun, Mila, Algérie

Contribution of GIS to the mapping of water-erosion risk areas in the Beni Haroun watershed, Mila, Algeria

Miloud KOUSSA¹✉ & Mohamed-Tewfik BOUZIANE²

Abstract : Soil erosion by water has become a relevant issue at global scale. In the last years this phenomenon has known a spectacular extension and causes effects more and more disturbing. The majority of studies on water erosion and land degradation in Algeria do not integrate or very little spatial analysis techniques by GIS, for the knowledge and mapping of these phenomena. In this study, geographic information systems were used to develop a number of thematic maps (slope, topography, hydrographic network map) and to assess and map the phenomenon of water erosion using the universal soil losses equation (USLE) in the Beni Haroun watershed in Algeria. This watershed is characterized by a great irregularity in precipitation, a steep slope and low vegetation cover, which makes it very vulnerable to erosion. The aim of our study is to couple a GIS tool with the USLE model to determine the rate of erosion by runoff (1200 t / km² / year on average), to map the areas at risk of water erosion in the Beni Haroun watershed, and in the end, popularize the results for an adequate decision-making.

Key words: Béni Haroun watershed, GIS. Water erosion, Wischmeier model.

Résumé : L'érosion des sols par l'eau est devenue une question pertinente au niveau mondial. Dans les dernières années, ce phénomène a connu une extension spectaculaire et cause des effets de plus en plus inquiétants. Les études qui existent sur l'érosion hydrique et la dégradation des terres en Algérie, dans leur grande majorité, n'intègrent pas ou très peu les techniques d'analyses spatiales par SIG pour la connaissance et la cartographie de ces phénomènes. Dans cette étude, les systèmes d'information géographique ont été utilisés pour élaborer un certain nombre de cartes thématiques (pente, topographie, carte du réseau hydrographique) et pour évaluer et cartographier le phénomène de l'érosion hydrique en utilisant l'équation universelle des pertes en sol USLE dans le bassin versant de Beni Haroun en Algérie. Ce bassin se caractérise par une grande irrégularité dans les précipitations, une pente raide et une faible couverture végétale, ce qui le rend très vulnérable à l'érosion. Le but de notre étude est de coupler un outil SIG avec le modèle USLE pour déterminer le taux d'érosion par le ruissellement en nappe (1200 t/km²/an en moyenne) et cartographier les zones à risques d'érosion hydrique dans le bassin versant; vulgariser les résultats pour une prise de décision adéquate

Mots clés: Bassin versant de Béni Haroun, SIG, érosion hydrique, modèle de Wischmeier

INTRODUCTION

La dégradation des sols se définit comme étant un processus qui réduit le potentiel de production des sols ou la qualité des ressources naturelles. L'érosion hydrique constitue un facteur principal de la dégradation du sol. Selon DEMMAK (1982), le taux d'érosion spécifique atteint en Algérie les valeurs les plus élevées d'Afrique du Nord.

¹ Département des Sciences et Techniques, Centre Universitaire de Mila 43000, Algérie.
koussamiloud@gmail.com

² Département de Génie Civil et d'Hydraulique, Université de Biskra, Biskra 07000, Algérie.
t.bouziane@gmail.com

Une longue bibliographie témoigne de la récurrence du phénomène de l'érosion hydrique. Sans entrer dans les détails, on peut signaler les synthèses déjà anciennes mais riches de VITA-FINZI (1969) qui ont confirmé que l'activité de l'érosion est intense dans les bassins méditerranéens, les vallées présentent les terrasses de remblaiement limoneuses qui témoignent de la dégradation des sols et de l'érosion hydrique.

D'après le Ministère de l'Agriculture et du Développement rural, 50 millions d'hectares de terres sont menacés par l'érosion hydrique, ce qui représente plus de 20 % de la surface totale du pays qui est de l'ordre de 238 millions d'hectares (MOSTEPHAOUI *et al.*, 2013).

Les surfaces menacées sont réparties en 14 millions d'hectares de zones montagneuses au nord (touchées par l'érosion hydrique), 32 millions d'hectares en zones steppiques (menacées par la désertification) et 4,1 millions d'hectares de forêts soumises aux menaces induites par les effets des changements climatique (MOSTEPHAOUI *et al.*, 2013).

Le phénomène naturel d'envasement des barrages enregistre les valeurs les plus élevées en régions arides et semi-arides comme au Maghreb et plus particulièrement en Algérie. En matière de quantité, l'infrastructure hydrotechnique algérienne forte de 73 grands barrages, d'une capacité de 7 milliards de m³ est amputée annuellement d'une capacité de 45 millions de m³ (REMNI, 2005).

Au total, environ 20 grands barrages seront fortement menacés par le comblement total du réservoir à court terme si les moyens techniques de lutte ne sont pas pris en compte (REMNI & HALLOUCHE, 2004).

A titre d'exemple, Le barrage de Ouizert en amont (mise en eau en 1986) est le moins envasé avec 10,2% environ de la capacité globale qui est de 100 Mm³, il suit le barrage de Bouhanifia (construit en 1937) avec une capacité de 73,1 Mm³, il est envasé à 54% et finalement le barrage de Fergoug (construit en 1865 et reconstruit au cours des années 1967 à 1969) en aval qui est complètement envasé à plus de 95% de sa capacité globale de 17 Mm³ (MEKERTA *et al.*, 2016)

L'évaluation des risques d'érosion des sols du bassin versant nécessite la cartographie et l'analyse de nombreux facteurs intervenant dans le processus érosif: l'agressivité des précipitations, la pente et la longueur de pente, l'érodibilité des sols, le couvert végétal et les pratiques culturales. Chaque facteur présente un comportement différent d'une zone à l'autre du bassin versant.

A cet effet, des logiciels des systèmes d'information géographique, notamment Arcgis, 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 de WISCHMEIER & 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 d'une part, à utiliser le système d'information géographique comme outil pour élaborer les différentes cartes caractéristiques du bassin versant du barrage Beni Haroun de Mila et, d'autre part, 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.

PRESENTATION DU SITE D'ETUDE

Le bassin versant de Béni Haroun est l'un des plus grands bassins hydrographiques d'Algérie avec une superficie de 8364 km² et 427 km de périmètre. Ses limites dépassent le territoire de la Wilaya de Mila pour atteindre plusieurs wilayas limitrophes : Constantine et Oum El-Bouaghi à l'est, Batna au sud, Sétif à l'ouest, Jijel et Skikda au nord. (Figure 1), Il est situé en grande partie sur le versant méridional du bombement tellien. Il représente à ce titre une zone intermédiaire entre le

domaine tellien à très forte influence méditerranéenne au nord et le domaine des hautes plaines à forte influence continentale au sud. Le bassin versant du Beni Haroun est constitué par deux sous-bassins : oued Ennedja et oued Rhumel.

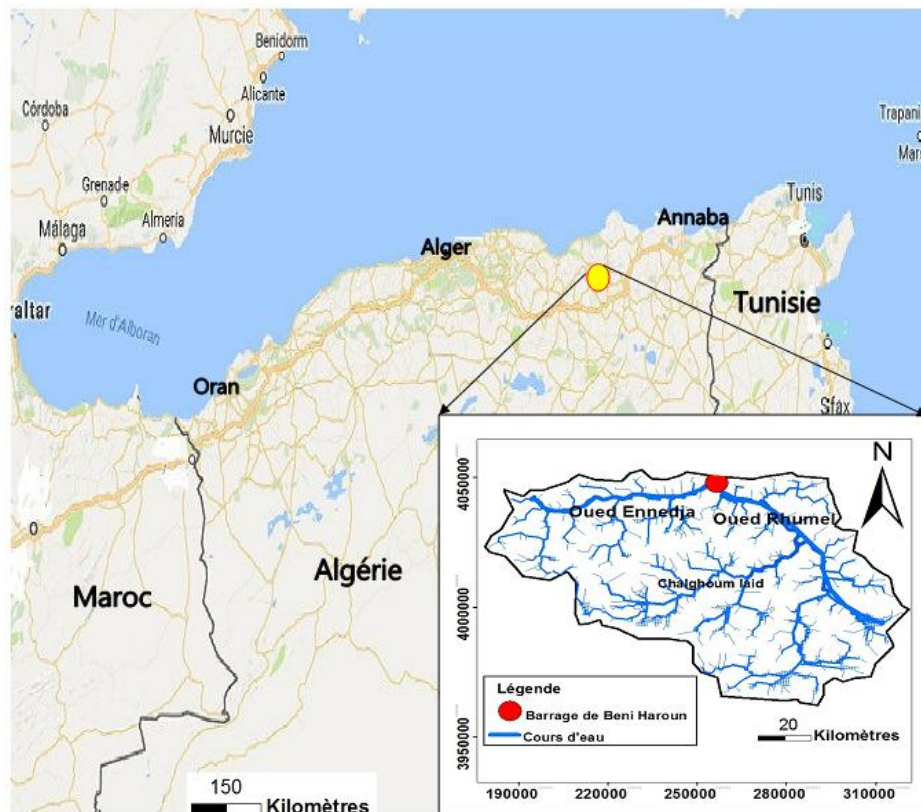


Figure 1. Situation géographique du bassin versant de Beni Haroun Mila.

Le bassin versant du Beni Haroun est situé dans l'étage bioclimatique sub-humide à variante thermique hiver chaud, avec une précipitation annuelle moyenne de 662.8 mm/an et des températures moyennes annuelles de 19.33 °C. D'après le diagramme ombro-thermique de GAUSSEN (figure 2), les mois du mai, juin, juillet août et septembre sont les mois les plus secs.

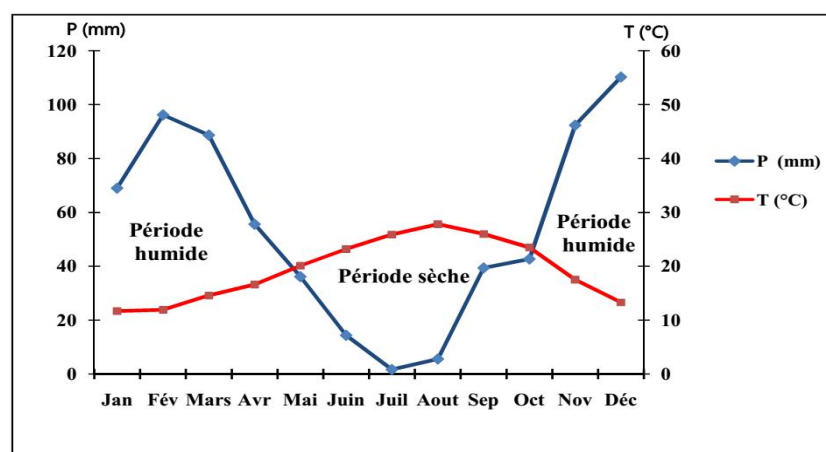


Figure 2. Diagramme ombro-thermique dans la station du barrage de Beni Haroun (2004-2016).

Le réseau hydrographique du bassin d'étude est représenté par deux oueds importants: l'oued Rhumel et l'oued Enndja, avec leurs affluents (figure 3).

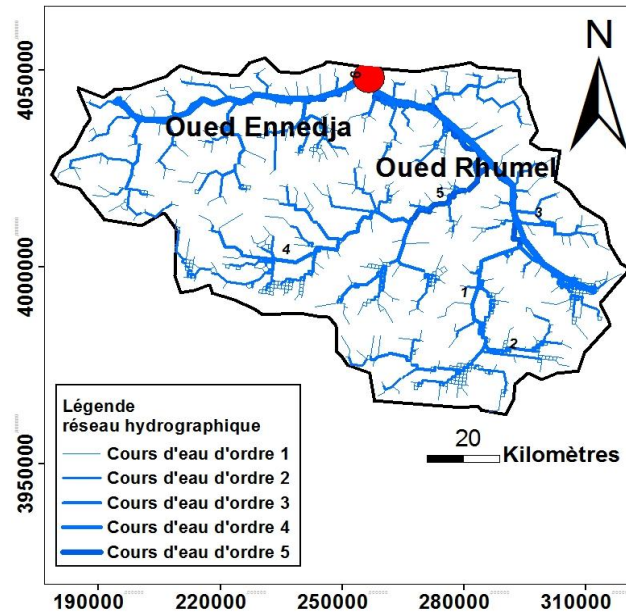


Figure 3. Réseau hydrographique du bassin versant de Beni Haroun Mila.

Cette carte est établie sur la base du modèle numérique de terrain, la carte subdivise le territoire d'étude en neuf classes de pente (Figure 4) : Les classes (0-2°), (2°-4°) et (4°-6°) éparpillées sur tout le territoire, représentent 89.23 % (tableau 1) de la surface du bassin versant, caractérisent l'ensemble des terrains ou la topographie est généralement plane.

Tableau 1. Répartition des surfaces en fonction des classes de pente dans le bassin versant de Beni Haroun Mila.

Classe des pentes en degré	surface partielle (Km ²)	Surface en (%)
0-2	3916,65	46,83
2-4	2358,56	28,20
4-6	1187,77	14,20
6-8	567,61	6,79
8-10	237,72	2,84
10-12	80,05	0,96
12-14	10,51	0,13
14-16	3,23	0,04
16-18	1,62	0,02

Les classes (6°-8°), (8°-10°) et (10°-12°) sont localisées surtout dans le centre et le nord du bassin versant, représentent 10 % de la surface totale et caractérisent généralement un relief vallonné, qui peut être constitué de plateaux ou de collines. Le reste des classes de pentes dépassant 14 degrés représente 0.19 %, caractérise le plus souvent les zones de piémonts qui sont le prolongement des massifs montagneux.

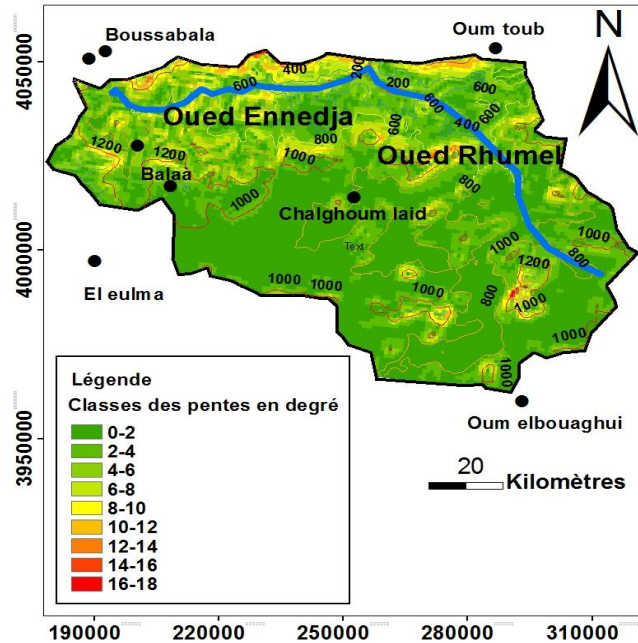


Figure 4. Les classes de pentes dans le bassin versant de Beni haroun Mila.

Du point de vue géologique, le bassin versant montre une mosaïque de terrains et de structures plus ou moins complexes dont le résultat se traduit par une grande diversité des ressources souterraines tant sur le plan quantitatif que qualitatif. On distingue, du nord au sud, la nappe tellienne sur toute la moitié nord du bassin paléo-géographique et, du nord au sud, on peut distinguer : les séries ultra-telliennes, les séries telliennes *sensu-stricto*, les séries peni-telliennes et la nappe numidienne peu développée dans notre bassin, elle affleure dans la partie nord-est sur les monts de Djebel El Ouahch et près d'Ain Abid et de Sigus au sud du Djebel Oum Settas.

Le couvert végétal de la région d'étude est réduit. Il se résume à des surfaces recouvertes majoritairement d'herbes et quelques arbres d'eucalyptus, ce faible couvert végétal a considérablement favorisé le phénomène d'érosion du sol.

CHOIX DU MODELE

Plusieurs modèles d'érosion ont été élaborés par les chercheurs, dont certains sont à base empirique tel que l'USLE (Universel Soil Loss Equation) de WISCHMEIER & SMITH (1978) et ses versions modifiées, d'autres à base physique tels que WEPP (Water Erosion Prediction Project) de FOSTER & LANE (1987) ANSWERS (Areal Non point Source Watershed Environment) (Beasley *et al.*, 1980) et d'autres semi empiriques tel que SWAT Soil and Water Assessment Tools) (ARNOLD *et al.*, 1996).

L'équation universelle de pertes en sol USLE s'applique à la quantification des pertes en sol par l'érosion en nappe. 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.

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).

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 anti-érosives :

$$A = R \cdot L S \cdot K \cdot C \cdot P \dots\dots\dots 1$$

Avec :

A est le taux annuel de pertes en sol en t/ha/an, R est le facteur de l'érosivité des pluies, 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)

La pluie est l'élément moteur de l'érosion. Sans précipitation, il n'y a pas d'érosion hydrique (CHERNI & SAMAALI, 2012). Son agressivité peut être caractérisée par sa hauteur, son énergie et son intensité. Le coefficient R nécessite de connaître la répartition des précipitations sur toute la superficie du bassin versant.

Facteur d'érodibilité du sol (K)

Le facteur K est une mesure de la vulnérabilité des particules de sol au détachement et au transport par la pluie et le ruissellement. Il faut savoir aussi que le sol est différent selon leur résistance à l'érosion, fonction de la texture, de la structure, de la rugosité, de la teneur en matière organique et du degré d'humidité du sol (RENARD *et al.*, 1997).

Facteur topographique (LS)

Les fortes pentes avec un écoulement rapide sont en général à l'origine d'une érosion importante dont l'importance dépend de la géologie, de la nature des sols, et de la protection par la couverture végétale (STONE & HILBORN, 2000).

Le facteur LS est le produit de deux sous- facteurs à savoir le sous-facteur « longueur de la pente » (L) et le sous-facteur « gradient de la pente » (S).

Facteur Couvert végétal (C)

Le facteur C est défini comme un ratio de la perte en sol d'un terrain avec une végétation particulière par rapport à la perte correspondante d'un terrain en jachère, Sa valeur dépend du couvert végétal et des pratiques d'exploitation (TOUMI *et al.*, 2013).

Le couvert végétal est, après la topographie, le second facteur le plus important qui contrôle le risque d'érosion des sols (VAN DER KNIJFF *et al.*, 2000).

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

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.

Tableau 2. 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 .	1- Arcgis version 10.2.2
2- Carte d'occupation du sol de Djelfa 1/100000.	2- Global mapper version 15.1
3- Carte lithologique de Djelfa : 1/100000	
4- 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	
5-Image satellitaire Landsat 5 ETM+ du 18/05/2006 de 30 m de résolution	
6- Précipitations enregistrées à la station de Djelfa entre 1970 et 2000 (ONM Mila, 2014)	

METHODOLOGIE

La méthodologie du travail consiste à représenter des informations cartographiques et descriptives des différents facteurs et paramètres de l'érosion dans une plate-forme de système d'information géographique SIG.

Le modèle quantitatif d'érosion à base empirique permet ainsi de fournir une estimation des pertes en sol, en T/ha/an, par unité de surface, qui correspond dans le cas d'utilisation de superposition cartographique sous SIG, au pixel de base du Mnt. Cette démarche est schématisée par la figure suivante:

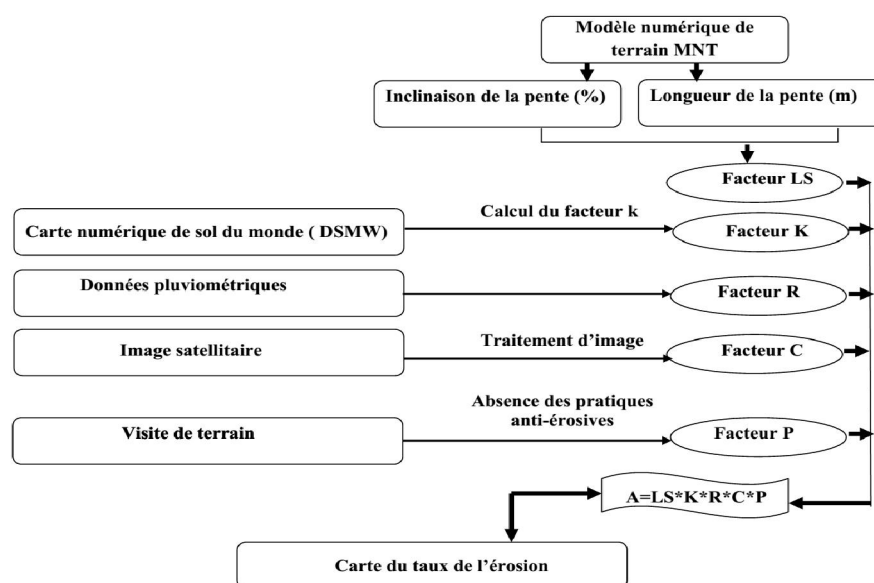


Fig. 5. Procédure de réalisation du SIG

Calcul et cartographie des paramètres du modèle USLE

Le facteur d'érosivité de pluie R

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

$$R = 0,04830 P^{1,610} \dots\dots\dots 2$$

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

Tableau 3. Erosivité en (t/ha/an) dans le bassin versant de Beni Haroun Mila

Stations	Altitude (m)	X (m)	Y(m)	P_{mov} annuelle (mm)	$R(\text{t/ha/an})$
El eulma	937	263573.29	4075962.60	1023	3387.25
Ferdjioua	547	215980.10	4068527.12	928	2895.34
Balaà	1002	286496.82	4064255.33	860	2561.47
Oum elbouaghi	1049	193167.49	4055980.21	870	2609.60
Oum toub	297	225605.23	4033776.59	684	1771.69
Erraguen	807	216773.06	4010732.66	594	1411.70
Boussbaia	85	154487.26	4007421.82	446	889.97
Ain zada	912	245257.16	4006118.38	505	1087.04
Agram	131	199492.66	4005756.13	454	915.81
Chelghoum laid	970	329369.88	3971179.07	494	1049.17
Batna	1106	242910.30	3937937.75	353	610.75

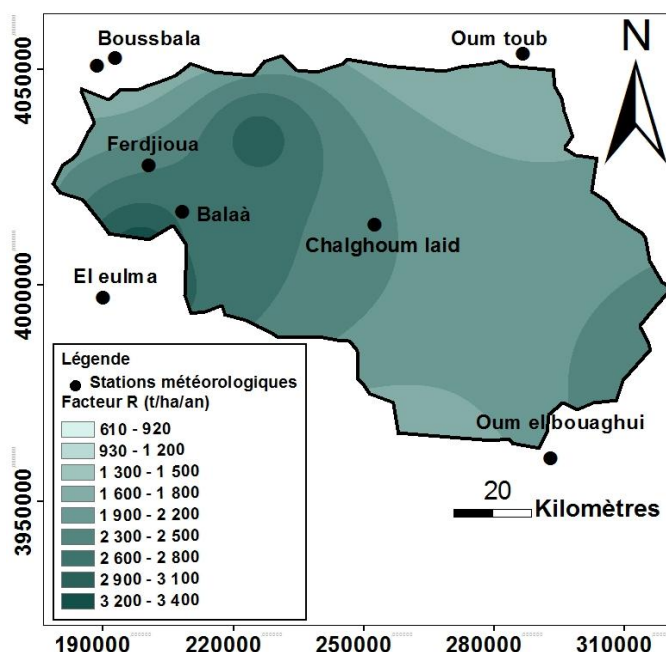


Fig. 6. Carte de facteur d'érosivité R dans le bassin versant de Beni Haroun Mila.

La figure 6 montre la carte d'érosivité synthétisée à partir de la spatialisation des stations hydrologiques montre que la valeur du facteur R varie de 610 (t/ha/an) à 3400 (t/ha/an). Les valeurs élevées sont enregistrées au nord-ouest, alors que les valeurs les plus faibles sont enregistrées au nord et au sud du bassin versant de Beni Haroun.

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 (3) de WILLIAMS (1995) $K_{USLE} = f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgC} \cdot f_{hisand} \dots\dots\dots 3$

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.

$$f_{csand} = \left(0,2 + 0,3 \cdot \exp \left[-0,256 \cdot m_s \cdot \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right) \dots\dots\dots 4$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0,3} \dots\dots\dots 5$$

$$f_{orgC} = \left(1 - \frac{0,25 \cdot orgC}{orgC + \exp(3,72 - 2,95 \cdot orgC)} \right) \dots\dots\dots 6$$

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

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

Tableau 4. Valeurs du facteur d'érodibilité K dans le bassin versant de Beni Haroun Mila.

f_{csand}	f_{cl-sil}	f_{orgC}	f_{hisand}	K_{USLE}	K
0,2	0,8678	0,9891	0,5532	0,0950	0,0125
0,2	0,8186	0,9906	0,7185	0,1165	0,0153
0,2	0,8186	0,9906	0,7185	0,1165	0,0153
0,2	0,8970	0,9768	0,9993	0,1751	0,0231
0,2	0,8534	0,9856	0,9975	0,1678	0,0221
0,2	0,8453	0,9924	0,9998	0,1678	0,0221

Les valeurs du facteur K, situées entre 0, 0125 et 0, 0231 montrent une nette fragilité des sols et leur susceptibilité à l'érosion.

La carte de la figure 7, présente la répartition spatiale des différentes classes du facteur K dans le bassin versant, et sont réparties sur la zone d'étude selon les différentes unités homogènes

Le bassin versant présente généralement une érodibilité moyenne (0.0153-0.0212) couvrant plus de la moitié (64.88 %) de la superficie totale du bassin, suivie d'une érodibilité faible 0.0125 avec

(4.25 %) et celle forte 0.0230 avec (30.86 %) de la surface

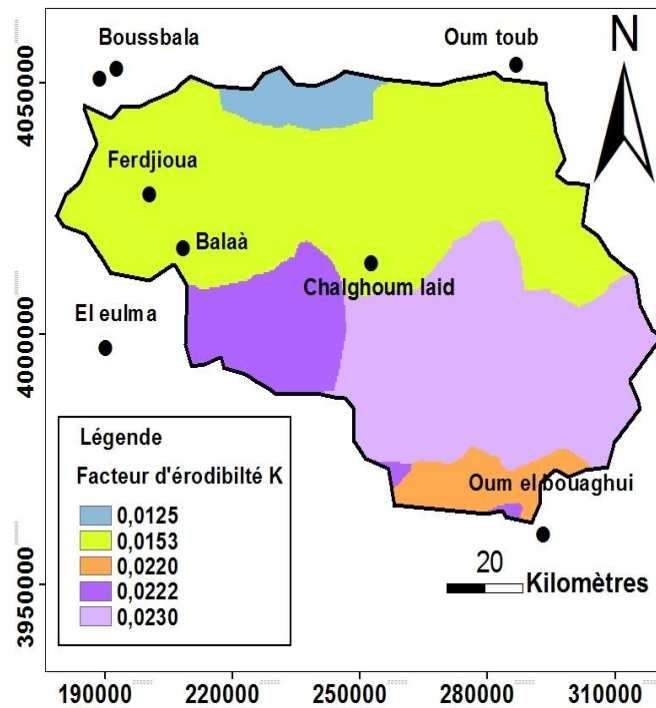


Fig .7 . Carte du facteur d'érodibilité K dans le bassin versant de Beni Haroun Mila.

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 Arcmap. Le facteur topographique LS est classé selon des valeurs variant entre 0.03 à 14 (figure 8).

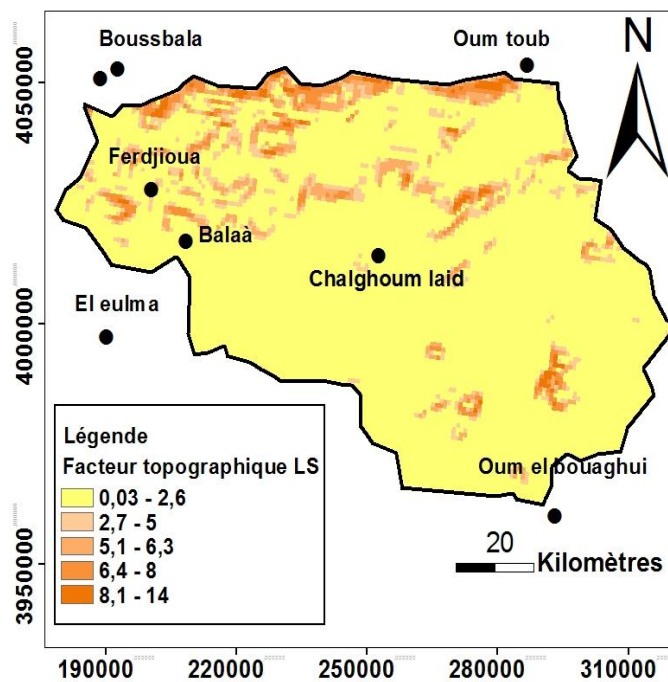


Fig 8. Carte du facteur topographique LS dans le bassin versant de Beni Haroun Mila.

La lecture de la carte reflète généralement la topographie du terrain. Les valeurs entre (5.1 - 14) se situent généralement au nord-ouest du bassin versant, coïncidant généralement avec des zones de haute altitude et des pentes élevées, et les valeurs comprises entre 0.03 à 2.6 sont dispersées dans toute la zone d'étude.

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 18/05/2006, 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 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 5 et figure 9).

Tableau 5 .Valeur du facteur de couvert végétal C dans le bassin versant de Beni Haroun Mila.

Types de couvertures	Facteur C
Végétation	0.03
Zones urbaines	0.01
Zones humides (étendues d'eau)	0
Parcours	0.1
Sol nu	1

La carte du facteur C (figure 9), présentée par la figure, montre des valeurs variant entre 0.001 et 1. D'après la carte de la figure 9, on peut distinguer cinq types d'occupations majeures qui occupent tout le bassin versant ; la valeur la plus faible de 0.001 demeure dans les zones humides, cependant la valeur 0.13 se localise dans les aires couvertes par les forêts peu denses et espacées. Les coefficients les plus élevés 1 correspondent aux sols nus.

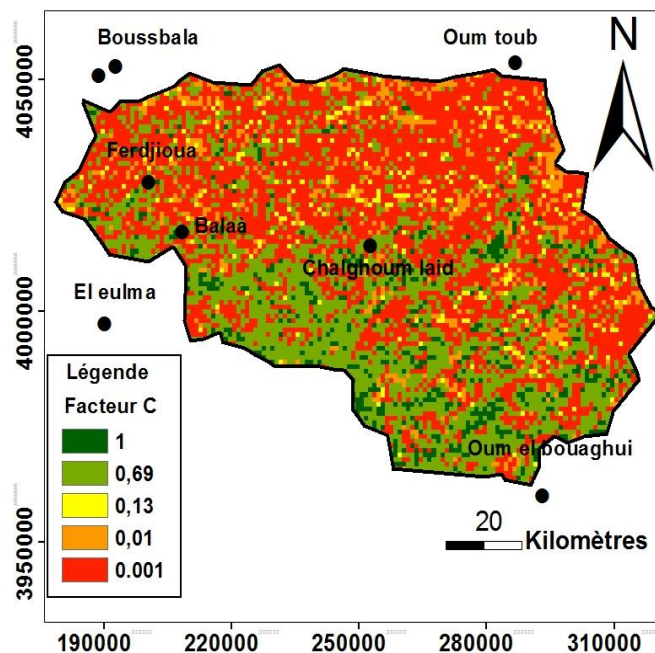


Fig. 9. Carte du facteur de couvert végétal C dans le bassin versant de Beni Haroun Mila.

Facteur des pratiques anti-érosives P

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

RESULTATS ET DISCUSSIONS

La multiplication des différents paramètres de l'USLE sous le logiciel arcgis permet d'obtenir la carte de risque d'érosion (*figure 10*), informant sur le potentiel d'érosion en t/ha/an par unité spatiale (pixel du MNT) en tout point du bassin versant de Beni Haroun

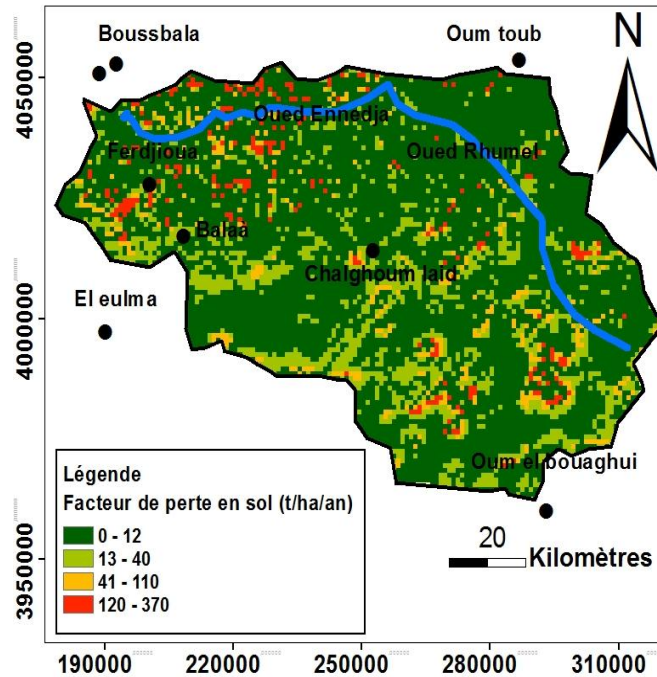


Fig. 10. Carte de perte en sol en (t/ha/an) dans le bassin versant de Beni Haroun Mila.

La lecture préliminaire de la carte des classes d'érosion montre une répartition spatiale « éparpillée » des classes d'érosion, ce qui souligne clairement l'impact cumulé des différents facteurs responsables de l'érosion. La description et la discussion de la carte des classes d'érosion nécessitent obligatoirement une lecture parallèle des cartes des paramètres physiques (pente et altitude). L'érosion pour ce secteur varie entre (0-12 t/ha/an) comme valeur minimale et 370 t/ha/an, comme valeur maximale.

Dans la plupart du bassin, on rencontre une concentration de la classe d'érosion très faible par rapport aux autres classes (< 12 t/ha/an), qui coïncide avec une zone de forêt dense.

D'autres zones se répartissent dans le bassin et beaucoup plus dans sa partie sud-est, avec une perte en sol comprise entre 13 t/ha/an et 40 t/ha/an coïncidant également avec des zones arbustives. Dans la partie nord-ouest, la perte en sol varie entre 41 t/ha/an et 110 t/ha/an comme classe d'érosion forte, et la classe la plus forte d'érosion se situe au nord-ouest et au sud-est.

Avec l'analyse des cartes de pentes du bassin versant de Beni Haroun, on observe dans ces régions des valeurs du facteur topographique élevées traduites par des altitudes et pentes élevées.

L'analyse de la carte des classes de pentes dans le bassin versant montre une dominance des pentes moyennes à fortes dans ces zones, ce qui nous permet d'attribuer ces taux élevés d'érosion à l'augmentation de l'effet de la pente. L'impact du facteur topographique apparaît clairement dans les zones où coïncide une pente moyenne à forte sur des terres nues ou des terres agricoles.

Au niveau de ces deux types d'occupation du sol, les taux d'érosion augmentent sensiblement avec la pente et la dominance de sols peu évolués manifestant une érodibilité élevée atteignant 0,0230, ce qui contribue à accentuer les pertes en sols.

Les résultats obtenus montrent que les sols du bassin versant de Beni Haroun subissent l'effet de plusieurs facteurs favorisant le phénomène d'érosion à savoir l'importance des pentes, le faible couvert végétal et l'érodibilité des sols.

Les résultats indiquent également que le bassin versant de Beni Haroun est soumis à une forte érosion avec des pertes moyennes de 1200 t/km²/an, résultats qui permettent de cibler les zones qui nécessitent une action prioritaire pour une analyse à plus grande échelle, en vue de trouver les solutions appropriées pour lutter contre l'érosion et protéger le milieu naturel et qui impose aux décideurs d'appliquer des méthodes actives et immédiates pour minimiser l'envasement du barrage.

CONCLUSION

Le présent travail avait pour objectifs d'apprécier l'apport du SIG à la spatialisation de l'érosion hydrique et de montrer l'application d'un modèle largement diffusé, le modèle USLE. L'utilisation du modèle empirique de Wischmeier et Smith a permis de constituer une base de données multisources de la région, à l'aide du SIG, qui est un outil essentiel pour la spatialisation de l'information. Le croisement des différents facteurs d'érosion entrant dans le modèle de prédiction des pertes en terres montre que l'érosion réelle par la méthode d'USLE, est de 12 t/ha/an. Les résultats obtenus montrent que les sols du bassin versant du Beni Haroun subissent l'effet de plusieurs facteurs favorisant le phénomène d'érosion à savoir, la dégradation du couvert végétal et l'érodibilité des sols. Ils indiquent également que la région nord du bassin versant (Ferdjioua et Belâa) est soumise à une forte érosion avec des pertes variant de 120 à 1200 t/km²/an. La comparaison des résultats issus de notre étude à des données sur l'érosion hydrique acquises par d'autres études effectuées dans différentes régions du nord et du centre de l'Algérie : à titre d'exemple, le bassin versant de la haute Tefna (1120 t/km²/an), bassin versant de l'oued Sebdu (1120 t/km²/an) le bassin versant de l'oued Mina (211 t/Km²/an), bassin versant de l'oued Soubella (126 t/Km²/an) et bassin versant de l'oued Sikkak (170 t/Km²/an) (BENHAMMAR & MEZIANE, 2015), sont d'un ordre de grandeur pouvant correspondre aux classes de risque érosif spatialisé dans notre secteur d'étude. Ces résultats ne présentent que des valeurs relatives pouvant aider dans la planification des activités de conservation des sols et une réduction de l'envasement des barrages. Ils apportent une aide importante aux décideurs.

REFERENCES

- 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.
- 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.
- BEASLEY D.B., HUGGINS F & MONKE E.J., 1980. ANSWERS: A model for watershed planning. *Transactions of the ASAE*, 23 : 938-944.
- 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
- BENMOUSSA 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.
- 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.
- 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.
- 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
- 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.
- 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
- KINNELL P.I.A.2001. Slope length factor for applying the USLE-M to erosion in grid cells. *Soil Till Res* 58 : 11-17.
- 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

- 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,
- MOSTEPHAOUI T, MERDAS S, SAKAA B, HANAFI M T & BENZAZZOUZ 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
- 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.
- REMINI B & HALLOUCHE W., 2004. Le dragage des barrages. Quelques exemples algériens. *Revue Internationale la Houille Blanche* 3 : 95-100
- 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.
- 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
- 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.
- 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
- 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
- VAN DER KNIJFF JM, JONES R. J.A. & MONTANARELLA L., 2000. Estimation du risque d'érosion en Italie, *European Soil Bureau*, 8p.
- VITA-FINZI C., 1969. The Mediterranean Valleys. Geological Changes in Historical Times, Cambridge Univ. Press, 140 p.
- WILLIAMS JR., 1995. Chapter 25: The EPIC model. In V.P.Singh (ed.) Computer models of watershed hydrology. *Water Resources Publications* : 909-1000
- WISCHMEIER W.H. et SMITH D.D. 1978. Predicting Rainfall Erosion losses, Agriculture Handbook no. 57, US Department of Agriculture. Washington DC. USA., 58p