



Estimation de l'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol (USLE). Cas du bassin versant non jaugeé de l'oued Rhiou, (Bassin de Cheliff) Algérie

Application of universal soil loss equation (USLE) model to estimate water erosion by GIS system and remote sensing: catchment area of oued Rhiou (Watershed of Cheliff), Algeria

Malik KACI¹, Mohamed HABI² & Boutkhil MORSLI³

Abstract : In Algeria where the availability of water is limited, its unequal distribution and its demand for strong growth, the loss of capacity of water dam by their continuous silting is regarded as a crucial problem at the national level. The recuperation of the lost capacity of reserves by techniques of dredging, of suction or of hunting of the sediments, represents a sometimes essential, but always temporary solution since it does not attack the true source of the problem. Presents study, seeks to highlight the nature and the extent of the factors and parameters contributing to the impoverishment of the soil because of natural phenomena (changes with rainy episodes which are characterized by their torrential aspect) and anthropic (overgrazing, clearings and forests fires) at the watershed level oued Rhiou. One of the objectives of this work is to offer a method of cartography of the zones at the risks of erosion by GIS one making use of model USLE (Universal Soil Loss Equation) of Wischmeier and Smith (1958, 1978). The result enabled us to draw up a chart where the zones exposed to strongest risks of erosion are localized the (low, medium, high) which one estimates an average of 25.26 t/ha/an on the scale of the basin contribute with 806975 t/year of sediment to the water dam Gargar (oued Rhiou). The statistical distribution shows that 87 % of the catchment area reveal a low sensitivity to moderate to erosion while 4.75 % a very high sensitivity (higher than 33.6 t/ha/an).

Key-words : Mapping, Risk, Erosion, GIS, USLE, Oued Rhiou, Algeria.

Résumé : En Algérie, où la disponibilité de l'eau est limitée, sa répartition inégale et sa demande en forte croissance, la perte de capacité des retenues de barrages par leur envasement continu est considérée comme un problème crucial à l'échelle nationale. La récupération de la capacité perdue des retenues par des techniques de dragage, de suction ou de chasse des sédiments, représente une solution parfois indispensable, mais toujours temporaire puisqu'elle ne s'attaque pas à la véritable source du problème. La présente étude, cherche à mettre en relief la nature et l'ampleur des facteurs et paramètres contribuant à la dégradation du sol liée aux phénomènes naturels (les épisodes pluvieux qui se caractérisent par leur aspect torrentiel) et anthropiques (surpâturage, défrichements et feux de forêt) au niveau du bassin versant de l'oued Rhiou. L'un des objectifs de ce travail est de cartographier des zones à risques d'érosion par SIG en se servant du modèle USLE (Universal Soil Loss Equation) de Wischmeier et Smith (1958, 1978). Les résultats se présentent sous forme de cartes permettant d'identifier et de localiser les zones exposées aux plus forts risques d'érosion (faible, moyen, fort) dont on estime une moyenne de 25,26 t/ha/an à l'échelle du bassin. Ainsi 806975 t/an de matériaux sont susceptibles de participer à l'envasement du barrage Gargar. La distribution statistique montre que 87 % de la superficie du bassin versant révèle une sensibilité faible à modérée à l'érosion tandis que 4,75 % présente une sensibilité très élevée (supérieure à 33,6 t/ha/an).

Mots-clés : Cartographie, Risques, Erosion, SIG, USLE, Oued Rhiou, Algérie.

INTRODUCTION

En Algérie, l'érosion a déjà touché 45 % environ des terres fertiles (MORSLI, 1996). Ce sont près de 6 millions d'hectares qui sont soumis à une érosion active (ARABI, 2006) et les problèmes ne cessent de s'aggraver et de s'étendre.

1 : Laboratoire de CES et des écosystèmes forestiers, Université de Tlemcen, Algérie. : malik.kaci@yahoo.fr

2 : Faculté de Technologie, Université de Tlemcen, Algérie : moha.habi@gmx.de

3 : INRF, BP. 88 Mansourah Tlemcen, Algérie : morbinrf@yahoo.fr

Le nord-ouest du pays, dans lequel se trouve le bassin de l'oued Rhiou, n'échappe pas à ce tableau, d'autant qu'ici comme ailleurs, la croissance démographique et la stratégie de développement rural (PPDRI 2005-2015) pérennisent le surpâturage, les incendies de forêt et la déforestation (KACI, 2014).

L'équation Universal Soil Loss Equation (USLE) est un des modèles les plus adaptés pour l'estimation annuelle de l'érosion hydrique potentielle des sols. En effet, elle a été mise en pratique dans de nombreux pays du Nord et adaptée en fonction du contexte climatique, pédologique, topographique à différents pays du Sud (RENARD & FREIMUND, 1994 ; MATI *et al.*, 2000 ; BOGGS *et al.*, 2001 ; COHEN & REY, 2005 ; DUMAS *et al.*, 2010 ; FENGYIN *et al.*, 2010). La robustesse, la reproductibilité à différents niveaux d'échelle et à différents milieux de ce modèle (JABBAR & CHEN, 2005 ; MATI *et al.*, 2000) permettent alors d'obtenir les premiers éléments de réponses sur la dégradation des bassins versants non jaugés. En pratique, ces approches peuvent donner des résultats pertinents pour l'évaluation potentielle et réelle de l'érosion hydrique des sols.

Nous l'adopterons ici pour spatialiser l'érosion potentielle (USLE) et pour estimer les quantités de matériaux évacuées du bassin versant du barrage Gargar.

LE TERRAIN D'ÉTUDE

Le bassin de l'oued Rhiou est situé dans le Nord-Ouest algérien, à 250 km d'Alger (Fig. 1). Nous étudierons ici la partie en amont du lac de retenue du barrage Gargar (663 km²).

Le terrain d'étude présente un relief vallonné (Fig. 1). Les pentes sont parfois fortes (Fig. 2). La valeur moyenne des pentes des versants avoisine 12,5 %.

En fond de vallée, cinq types de sols se distinguent (DOUAOUI, 2005) : salés, hydromorphes, vertiques, peu évolués d'apport alluvial ou colluvial, calcimagnésiques. Sur les versants et les sommets, les sols sont souvent très érodés, aussi bien sur les calcaires que sur les marnes. Lorsque la roche n'affleure pas, les sols sont généralement calcimagnésiques, le plus souvent rendziniformes, avec parfois la présence d'une croûte calcaire.

Le climat, de type semi-aride en aval et subhumide en amont, manifeste une forte disparité des pluies au cours de l'année (YACONO, 1955 ; BOULAINÉ, 1957). A la station de l'oued Rhiou, à 250 m d'altitude près du barrage Gargar (tableau 1), l'essentiel des 450 mm précipités annuellement en moyenne tombent de décembre à mars.

Le sud-est du terrain d'étude est couvert par une forêt mixte de résineux et feuillus (*Pinus halepensis*, *Tetraclinis articulata*, *Quercus ilex*). Les systèmes forestiers sont fortement fragilisés par les incendies de forêts qui ont quadruplé depuis la fin des années 1990 (KACI, 2014). La plupart des exploitations agricoles du bassin versant de l'oued Rhiou ont un statut juridique privé et un système de production associant des cultures céréalières et de l'élevage extensif et intensif à du maraîchage ou de l'arboriculture fruitière rustique.

Tableau 1 : Caractéristiques du barrage Gargar (Bassin versant de l'oued Rhiou).

Date de mise en service	1988
Superficie du bassin versant étudiée	663 Km ²
Apport moyen interannuel du bassin versant	185 Hm ³
Capacité initiale du barrage	450 Hm ³
Capacité estimée (2003) du barrage	437,10 Hm ³
Volume régularisé	120,00 Hm ³ /an
Apport réel du barrage	60,90 Hm ³ (période 1990 - 2001)
Taux d'envasement	0,86 Hm ³ /an

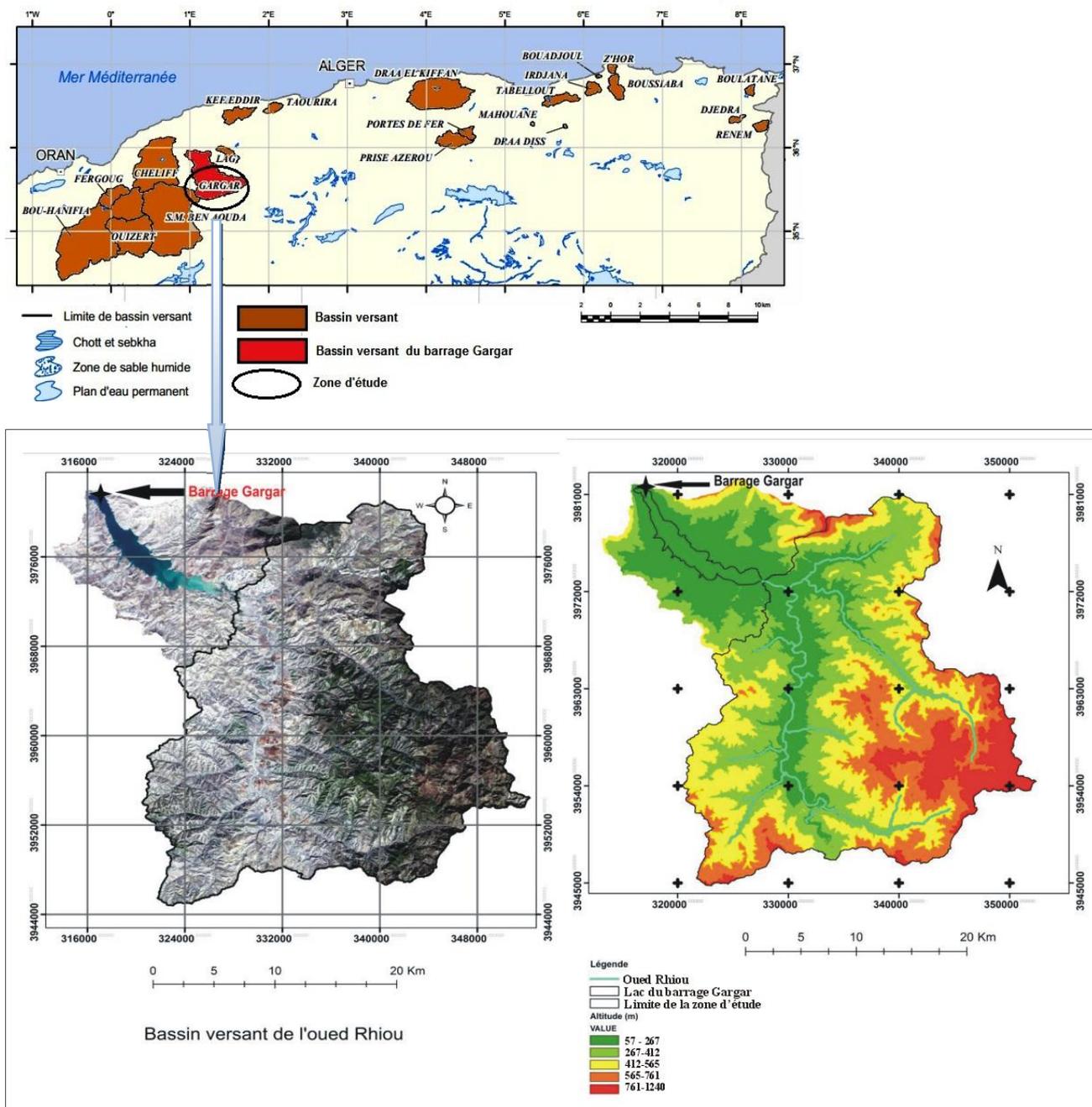


Figure 1 : Localisation et description du site d'étude.

MÉTHODOLOGIE

Estimation de l'érosion hydrique par le modèle USLE

Dans le modèle USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1978), la valeur de l'érosion s'établit comme suit :

$$E \text{ (tons/acre)} = R \times K \times LS \times C \times P$$

où R représente l'érosivité des pluies, K l'érodibilité des sols, LS le facteur topographique, C le couvert végétal et P le travail du sol.

Pour passer des *tons/acre* à des tonnes/hectare, il faut appliquer un coefficient multiplicateur de 2,24.

À l'échelle annuelle, R correspond au produit de l'énergie cinétique globale des pluies unitaires par l'intensité maximale sur 30 minutes. Toutefois, en l'absence de données sur l'intensité des pluies dans notre zone d'étude, nous avons utilisé une relation simple unissant, pour une période suffisamment longue, les valeurs annuelles moyennes de l'indice R et de la hauteur des précipitations (ROOSE, 1977) :

$$R = 0,5 P \text{ où les précipitations sont exprimées en mm.}$$

Les données pluviométriques utilisées sont issues de l'interpolation spatiale (KERNEL interpolation sous Arc Gis 10) de données climatiques mensuelles moyennes sur 35 ans (1979-2014) de 15 stations météorologiques existantes, dont une seule appartient au bassin versant de l'oued Rhiou (Fig. 3).

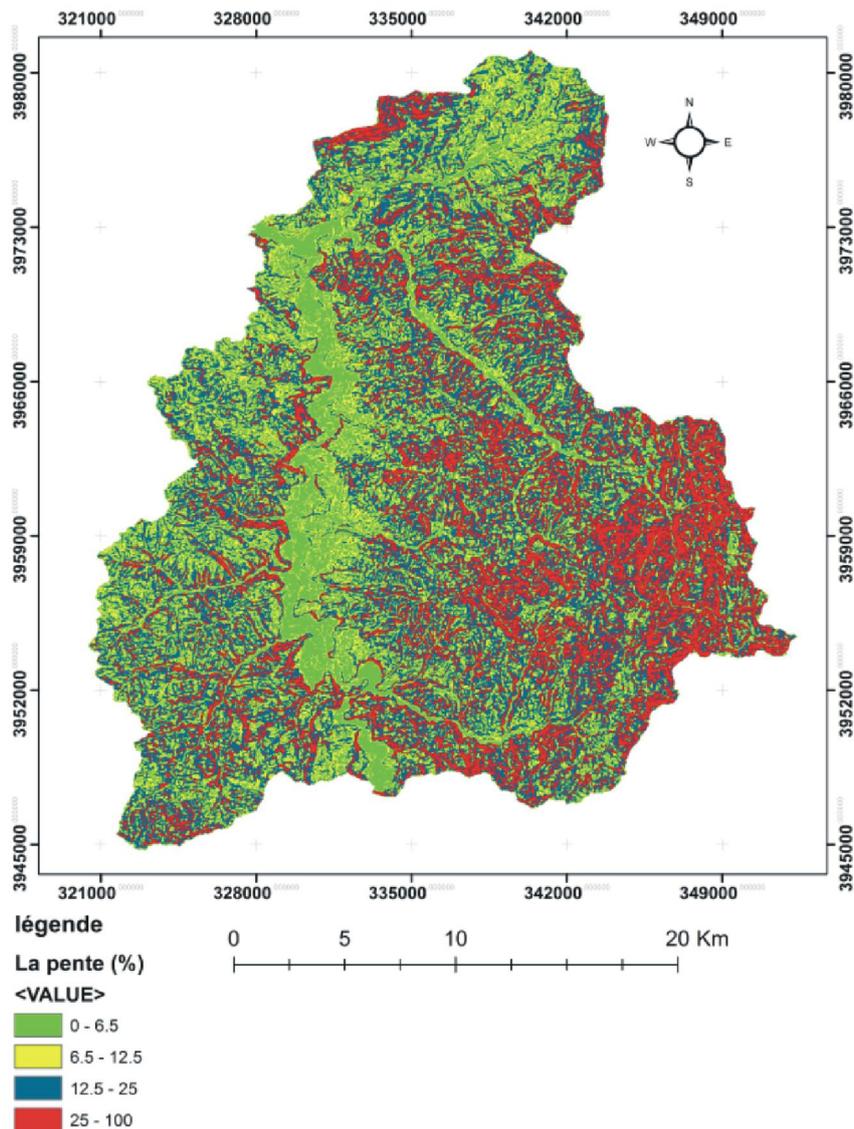
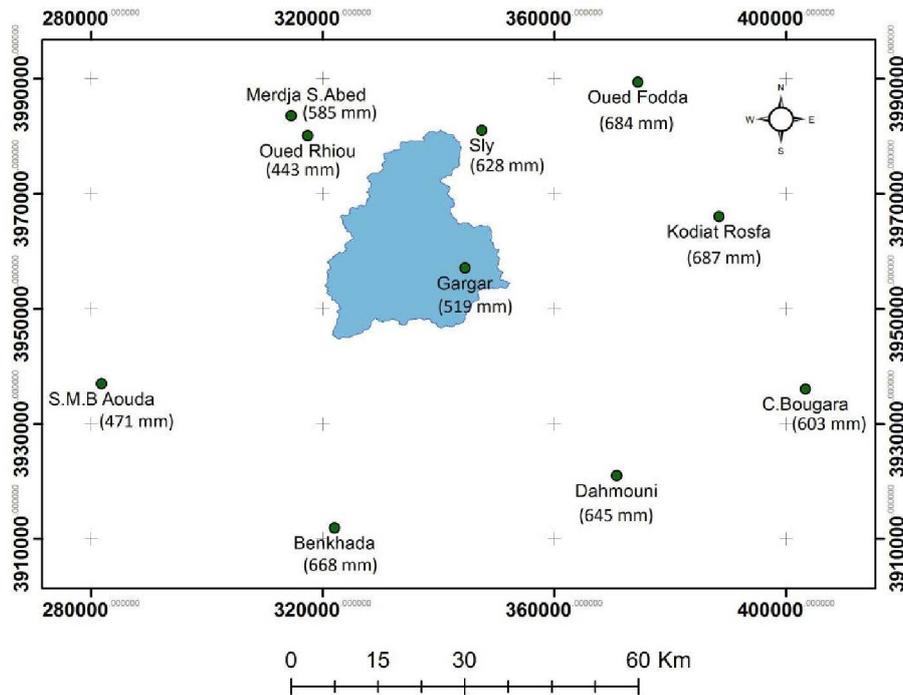


Figure 2 : Carte des pentes du bassin versant de l'oued Rhiou.

Le facteur LS a été calculé à partir du Raster DEM 30 m, dont les données sont disponibles sur le web (www.gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp).

$$LS = (\lambda/22,1)^m \times (0,065 \theta + 0,045 \theta + 0,065)$$

où λ est la longueur de pente (en m), θ l'inclinaison de la pente (en %) et m un paramètre fonction de la pente (de 0,2, pour $\theta < 1$ %, à 0,5 pour $\theta \geq 5$ %).



Légende

- Stations pluviométriques
- Terrain d'étude

Figure 3 : Localisation des stations pluviométriques utilisées dans l'étude.

Ce facteur montre (Fig. 4) l'importance de l'inclinaison et de la longueur de pente dans les processus de l'érosion en nappe et en rigole. La topographie relativement pentue du bassin versant implique tout naturellement une répartition des valeurs de LS entre 0 et 117. La moyenne du facteur sur l'ensemble du bassin versant est évaluée à 46.71.

On constate, en aval du bassin versant que les pentes faibles sont peu sensibles au processus d'érosion tandis que les reliefs escarpés en amont révèlent une sensibilité plus importante aux processus érosifs. Les valeurs les plus faibles, entre 0 et 5, du facteur topographique sont naturellement attribuées à la plaine du bassin ainsi qu'au lit du cours d'eau. À l'inverse, les valeurs plus élevées de LS, supérieures à 5, sont associées au massif forestier, à la haute vallée et aux versants les plus abrupts des affluents.

Le facteur K a été calculé à l'aide du nomographe de WISCHMEIER & SMITH (1978), permettant ainsi de déduire à partir de la texture les valeurs d'érodibilité des sols. Toutefois, les observations sur la structure et la perméabilité étant insuffisantes, nous nous sommes contentés de l'évaluation du facteur K en première approximation, à partir de la teneur en éléments de la taille des limons et des sables très fins (0,002 à 0,1 mm) et de la teneur en matière organique.

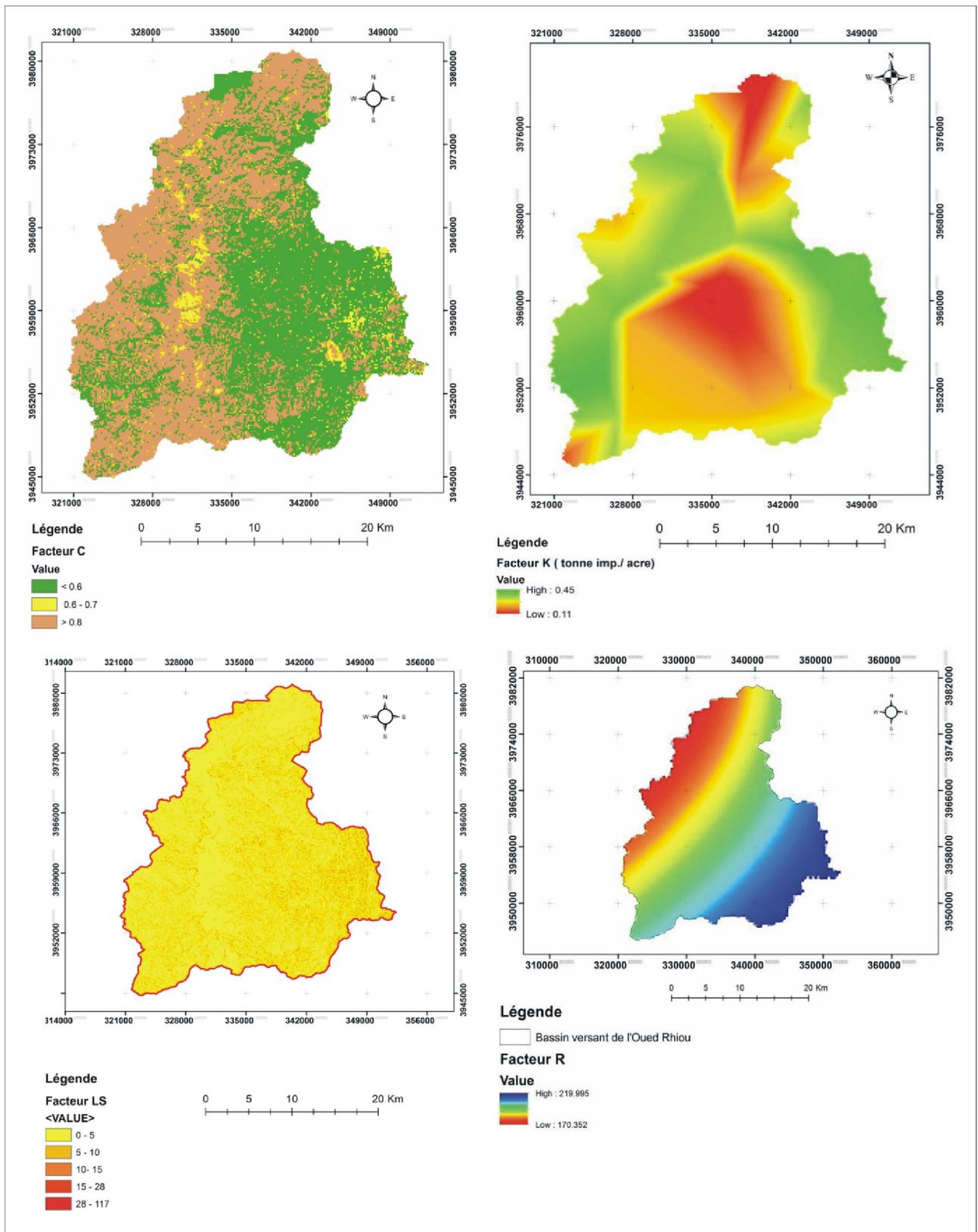


Figure 4 : Facteurs C, K, Ls et R du modèle USLE.

Tableau 2 : Variation de K en fonction du type de sol sur le bassin versant de l'oued Rhiou.

Sol	Texture	Facteur K (t/ha)
Sols bruns calcaires	LAS	0,22
Sols fersiallitiques	LAS	0,46
Vertisols	AL	0,36
Sols minéraux bruts d'érosion	SL	0,11
Colluvions	AL	0,27

LAS : texture limono-argilo-sableuse. AL : texture argilo-limoneuse. SL : texture sablo-limoneuse. La texture a été déterminée à l'aide du triangle USDA.

Le facteur de protection du sol est défini comme un ratio de la perte en sol sur des terrains cultivés sous des conditions spécifiques par rapport à la perte en sol correspondante sur un terrain en jachère (WISCHMEIER & SMITH, 1978). Afin d'estimer les valeurs du facteur *C* dans la région d'étude, on a utilisé la régression entre deux valeurs extrêmes. Ces valeurs sont tirées du diagramme expérimental d'estimation du facteur *C* de GITAS *et al.*, (2009). La droite de régression trouvée est: $C = 0.9167 - NDVI \cdot 1.667$. La carte du facteur *C* (Fig. 4) est générée en utilisant la droite de régression trouvée à l'aide du module « Spatial Analysis » d'ArcGIS 10.0.

La majeure partie du bassin est caractérisée par des valeurs du facteur *C* supérieures à 0,8 (tableau 3). Ces zones sont des îlots de sols nus ou en jachère. La seconde classe en importance est constituée de valeurs variant de 0,6 à 0,7. Les régions dans lesquelles se situe cette seconde classe sont principalement localisées au sud et sud-ouest. En général, ces zones sont associées aux grandes cultures céréalières et fourragères. Les zones représentant les valeurs inférieures à 0,6 sont généralement couvertes de massifs forestiers et de formations de maquis/garrigue ou de matorral.

Tableau 3 : Coefficient d'occupation du sol *C* en fonction du type d'occupation du sol.

Type d'occupation du sol	Facteur C
Sol nu	> 0,8
Mosaïque de cultures	0,6 - 0,7
Forêt	< 0,6

Le facteur *P* prend en compte les pratiques de conservation du sol qui concernent toutes les techniques culturales mises en œuvre pour diminuer le ruissellement et l'érosion, telles que le labour en courbes de niveau, GCES (gestion conservatoire des eaux et des sols). Les informations dérivées des enquêtes et des visites de terrain ont montré que ces mesures de protection du sol n'ont pas été réalisées, une valeur de « 1 » a été arbitrairement affectée au facteur *P* (Fig. 5).

La phase de prétraitement a permis la production d'une base de données de type vectoriel et raster spatialement cohérente exploitable sous l'interface Arcgis 10.0. La digitalisation, l'extraction de la zone d'intérêt, le géoréférencement et la création de tables attributaires ont constitué les principales étapes de prétraitement des données.



Figure 5 : Labours et cultures dans le sens de la pente sur des marnes dans le bassin versant de l'oued Rhiou.

Suite à l'hétérogénéité spatiale des informations utilisées (tableau 4) et à la taille du bassin versant, une maille identique de 100 m a été adoptée pour toutes les couches géographiques. Cette étape de rééchantillonnage a pour raison de structurer les données à la même résolution spatiale. La méthode d'interpolation utilisée est du « plus proche voisin » et elle consiste à attribuer à chaque point cible une combinaison des valeurs des points sources les plus proches de son homologue par la transformation inverse. Cette dernière a pour avantage de ne pas modifier les valeurs des cellules. Cette étape permet le croisement des données pixel à pixel et la superposition parfaite des couches d'informations. Le système de projection commun pour l'ensemble des données est le système WGS 84, UTM 32 Nord.

Tableau 4 : Format et échelle des données.

Type de données	Facteur associé	Format	Échelle/Taille du Pixel
Aster DEM	LS	Raster (Géo Tif)	30 m
Modélisation climatique	R	Raster (ESRI grids)	30 m
Carte lithologique et analyse des échantillons des sols	K	Vecteur (Shape)	1/250 000 ^{ième}
Image satellitaire 2014 Landsat 8	C	Vecteur (Shape)	15m

RESULTATS

Les résultats apportés dans le cadre de cette étude permettent de mettre en évidence les dynamiques d'érosion en nappe et rigoles sur le bassin versant de l'oued Rhiou. Le modèle USLE apporte une estimation moyenne potentielle des pertes de sols, fournie pour chaque maille de 100 m du bassin versant. D'une manière générale, la végétation dégradée, les sols dénudés, les sols fragiles (marne et vertisol), les reliefs escarpés et des précipitations agressives contribuent fortement à augmenter l'emprise de l'érosion hydrique. La carte de perte des sols (Fig. 6) montre que les valeurs varient entre 0 et > 33 t/ha/an, selon les zones du bassin versant. La moyenne de perte est évaluée à 25,26 t/ha/an ce qui est considéré comme élevé selon (SADIKI *et al.*, 2004, ARABI & ROOSE, 1989).

Cette dernière a été confirmée par les travaux de TECSULT (2005) et TOUAIBIA (2010) qui estiment une moyenne de 20,62t/ha/an dans le bassin versant de l'oued Rhiou entre 1993-2000 et 25 t/ha /an dans les bassins versants Kef Eddir, Chellif, Lag, qui sont similaires (même nature géologique et même occupation du sol) au bassin de l'oued Rhiou respectivement.

Les valeurs maximales d'érosion > 33,6 t/ha/an sont observées et localisées selon la carte des pertes de sol (Fig.6) dans les badlands et dans des terrains pentus avec des ravinements très poussés selon notre enquête sur le terrain et correspondent généralement à des marnes ou à des sols peu évolués peu protégés et situés sur de fortes pentes (Fig.7)

A l'échelle du bassin versant, les surfaces les plus sensibles représentent 65360ha susceptibles de délivrer des sédiments contribuant à l'envasement du barrage Gargar, au cours d'une année. Le modèle USLE ne tient pas compte des processus des matériaux sédimentaires, majoritairement dépendant de la compétence des cours d'eau. Cette estimation ne donne en aucun cas une prédiction des apports, mais renseigne sur la quantité de matériaux potentiellement fournis par le bassin versant et présente donc sa dégradation actuelle. La distribution statistique montre que 89,09% de la superficie du bassin versant révèle une sensibilité faible à modérée à l'érosion (tableau 5) tandis que 4,87 % une sensibilité très élevée (supérieure à 33,6 t/ha/an). La carte des classes des pertes en sol moyennes annuelles atteste d'une grande fragilité de la partie ouest et sud-ouest du bassin taillée essentiellement dans les sols brun calcaire et les vertisols où les valeurs supérieures à 33 t/ha/an sont dominantes (Fig.7). Ces dernières concernent environ 3184 ha, soit 4,87 % de la superficie totale du bassin. Les faibles pertes (< 7 t/ha/an) dominent surtout sur les versants du bassin couverts d'un matorral à base de chênes verts et de reboisements à base de résineux.

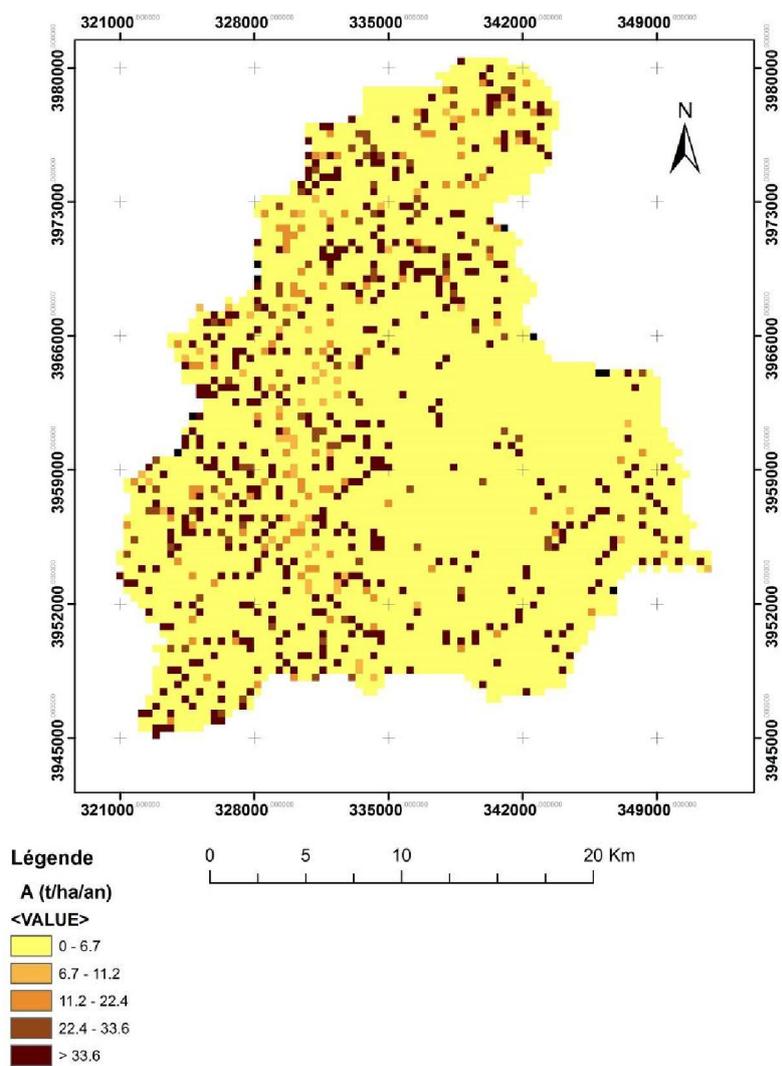


Figure 6 : Estimation des pertes de sols par l'équation USLE selon la classification établie par STONE & HILBORN (2000).



Figure 7 : Erosion linéaire sur les sols marneux et brun calcaire.

Tableau 5 : Sensibilité des surfaces à l'érosion (ha).

Surface totale	Faible à modérée	Moyenne	Elevée	Très élevée
65360	58232	2424	1520	3184
100 %	89,09%	3,71 %	2,33 %	4,87%

DISCUSSION

Malgré la baisse des précipitations sur 26 ans depuis 1979, une tendance vers la sécheresse (Fig. 10) et une forte moyenne de l'évapotranspiration réelle de 358 mm/an selon la simulation de SWAT, les ruissellements et écoulements ont significativement augmenté depuis 35 ans dans le bassin de l'oued Rhiou.

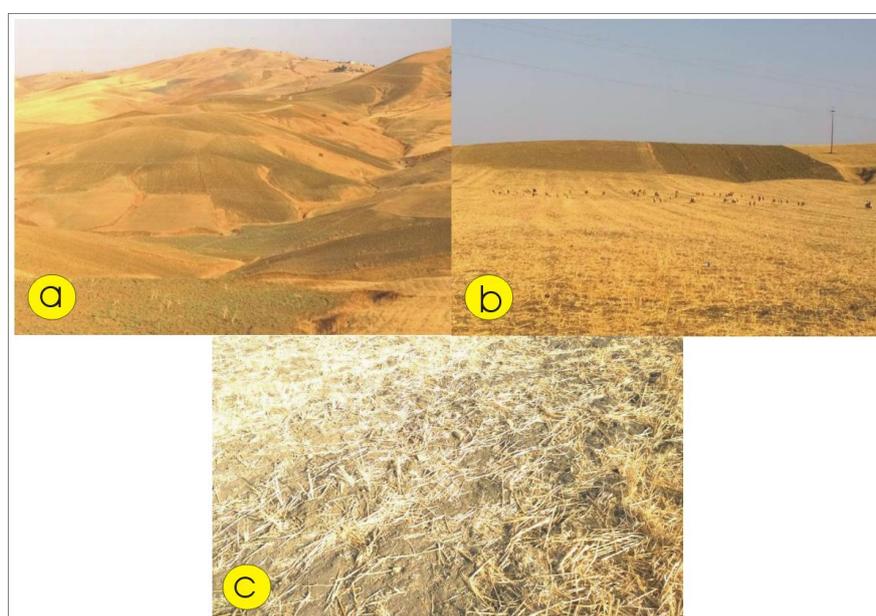


Figure 8 : Jachères d'été et tassement du sol par le surpâturage.
a. Bassin versant du barrage Gargar en jachère d'été.
b. Pâturage sur chaume.
c. Tassement du sol par le piétinement des cheptels.

Hypothèse logique : la diminution de la pluie engendre une diminution du ruissellement. Ce n'est pas ce qu'on observe, d'où la nécessité d'un diagnostic plus poussé.

C'est l'effet conjoint des activités humaines et du climat sur les états de surface qui est à l'origine de cette variabilité hydrologique, car les états de surface ont changé considérablement en affectant la dynamique des processus d'infiltration et de ruissellement dans le bassin versant (Fig. 8, 11,12)

Les pertes de sols moins importantes sont associées au couvert dense tel que les forêts de résineux. A l'inverse, les valeurs plus élevées sont assignées aux sols nus ou sous couvert dégradé ; cela est bien expliqué par HADEF (2013) suite à des analyses granulométriques et minéralogiques soit 62% de la composition de la vase du barrage de l'oued Rhiou est une argile (montmorillonite à 70%, smectites à 30%), quasiment en provenance de sols très sensibles à l'érosion (vertiques et marneux) respectivement sous occupation de sols nus et agriculture céréalière mise après récolte en jachère d'été labourée dans le sens de la pente (pratique traditionnelle souvent observée dans le bassin versant de l'oued Rhiou) provoquant une destruction de la couverture résiduelle et le tassement du sol par le

pâturage des animaux (Fig. 8). Le potentiel de dégradation du sol par suite de l'érosion hydrique augmente par l'action des premières pluies automnales torrentielles. L'analyse de la pluviométrie journalière maximale enregistrée en 30 jours (Px30J) pour le mois de septembre entre 1979 et 2014 sous l'hypothèse que c'est le début de la saison pluviale pour le bassin versant du barrage Gargar a montré des pics de précipitation (≥ 20 mm) supérieurs à la moyenne 12,31 mm. Deux indices basés sur les 95^{ème} et 99^{ème} percentiles communément utilisés pour l'étude des événements extrêmes (MANTON *et al.*, 2001 ; GRIFFITHS *et al.*, 2003 ; DE LONGEVILLE *et al.*, 2016) sont calculés à partir des données journalières sur une période de trente ans, (1979-2009) (Fig. 9). Cette exigence permet de se conformer aux normes de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Le 95^{ème} percentile correspond à un événement pluviométrique intense. Le 99^{ème} percentile correspond à un événement pluviométrique extrême. Le résultat de l'analyse montre que le 95^{ème} percentile est de l'ordre de 20 mm/jour ainsi que le 99^{ème} percentile est de l'ordre de 33 mm/jour. Ce dernier, selon la figure 9 démontre que le mois de septembre est le plus redoutable pour le ruissellement et l'érosion hydrique suite à la coïncidence des événements intenses (20 mm/ jour) et d'événements extrêmes (33 mm/ jour) avec l'état de surface du bassin versant (jachère d'été et tassement du sol par le pâturage). Cela est confirmé par MORSLI (1996) qui montre que le déclenchement du ruissellement dans le bassin versant de Beni Chougrane au nord-ouest de l'Algérie similaire au bassin versant du barrage Gargar (même nature lithologique) sous occupation de jachères d'été a nécessité au moins 20 mm lorsque le sol est sec: au début de l'automne, le déclenchement du ruissellement nécessite un cumul pluviométrique de plus de 22mm sur sol sec. Par contre, lorsque le sol est humide et dégradé par les gouttes de pluie, le ruissellement peut se déclencher même pour des pluies de hauteur ou d'intensité très faible. Ainsi, les risques majeurs de ruissellement sont observés lors des averses exceptionnelles (intense et extrême) sur les bassins versants du nord-ouest de l'Algérie.

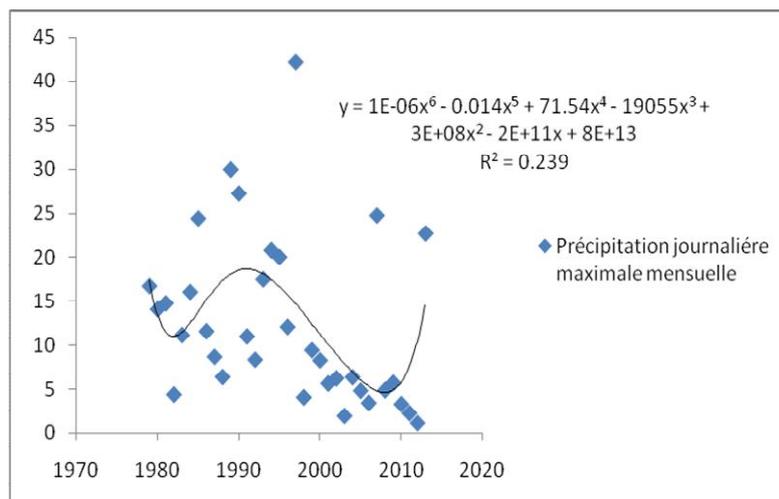


Figure 9 : Précipitations journalières maximales (en mm) du mois de septembre entre 1979 et 2014

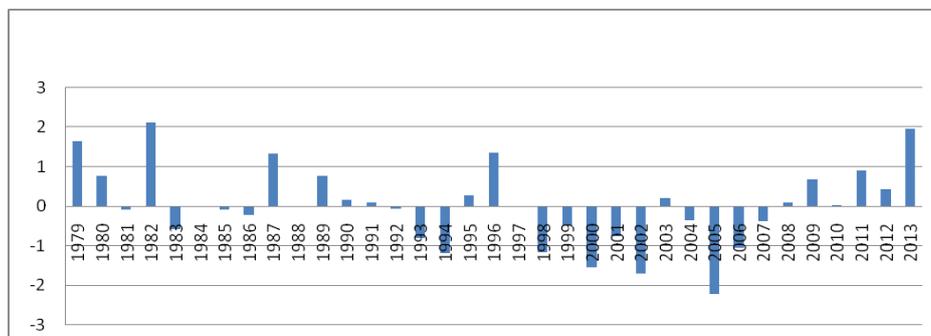


Figure 10 : Indice normalisé de précipitation (1979-2013)

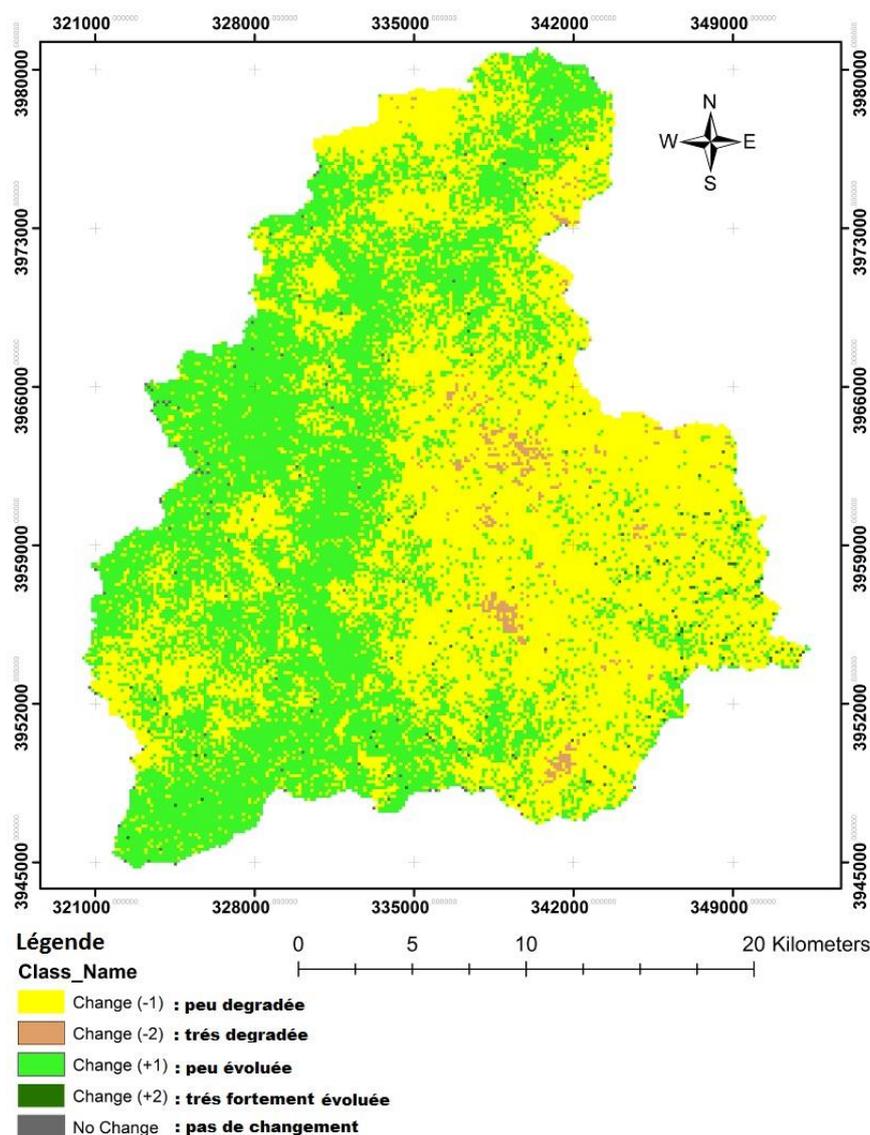


Figure 11 : Changement d'occupation du sol entre 1985 et 2014. Bassin versant de l'oued Rhiou

Dans le nord-ouest de l'Algérie et spécifiquement dans le bassin versant de l'oued Rhiou, la généralisation de la dégradation des écosystèmes forestiers (Fig. 12) est favorisée par les incendies des forêts et la difficulté de régénération de la végétation imputée aux conditions climatiques sévères (KACI, 2014). Il faut ajouter à cela la pression anthropique croissante sur les écosystèmes naturels (Fig. 11) induite par la politique de libéralisation économique et de désengagement de l'Etat, entamée en Algérie depuis la dernière décennie (1990-2000) qui a donné lieu à une course pour l'appropriation et l'exploitation individuelles des terres sans que les services techniques puissent assurer le suivi et l'encadrement nécessaires à ce mouvement. Les ressources naturelles semblent être victime d'un système de décision écartelé entre des acteurs économiques, sociaux et politiques très différents et compétitifs, visant des objectifs et des intérêts contradictoires. En ajoutant l'effet conjugué de l'essor démographique (la multiplication du nombre d'éleveurs ainsi que le besoin accru en alimentation de la population) et la décision économique en matière de subventions et de prix des intrants et équipements destinés à l'agriculture par le biais de la politique de renouveau rural et la sécurité alimentaire (PPDRI : projet de proximité de développement rural intégré) qui vise l'amélioration des conditions de vie des populations rurales et de l'emploi et des revenus par la diversification des activités économiques sans l'intégration de la gestion des risques naturels.

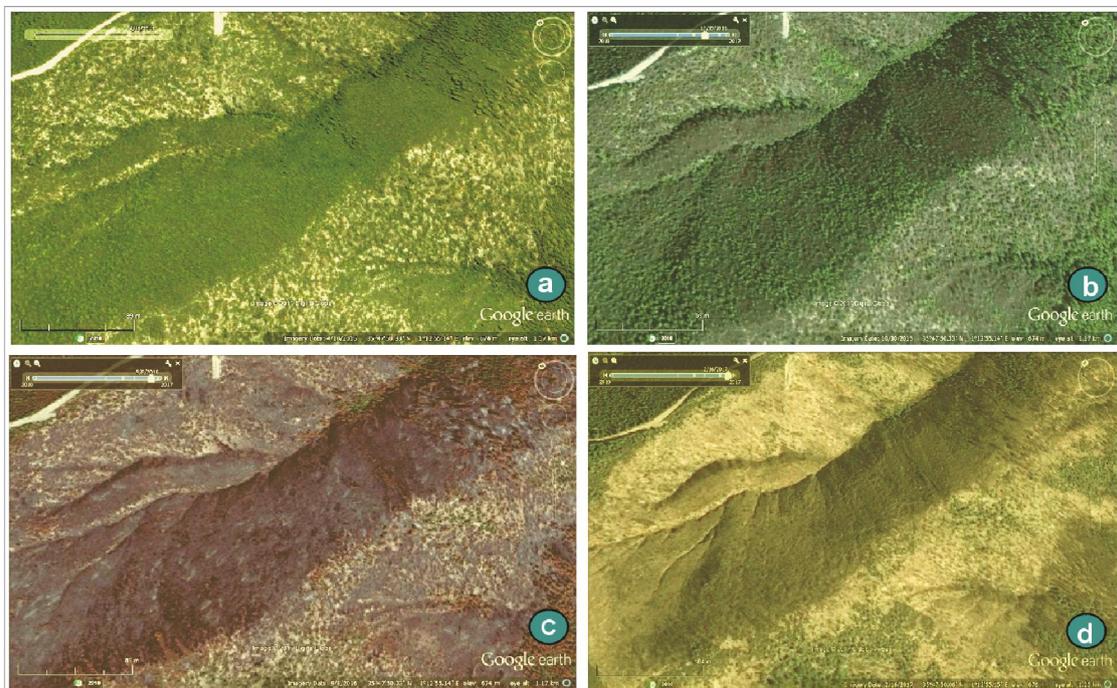
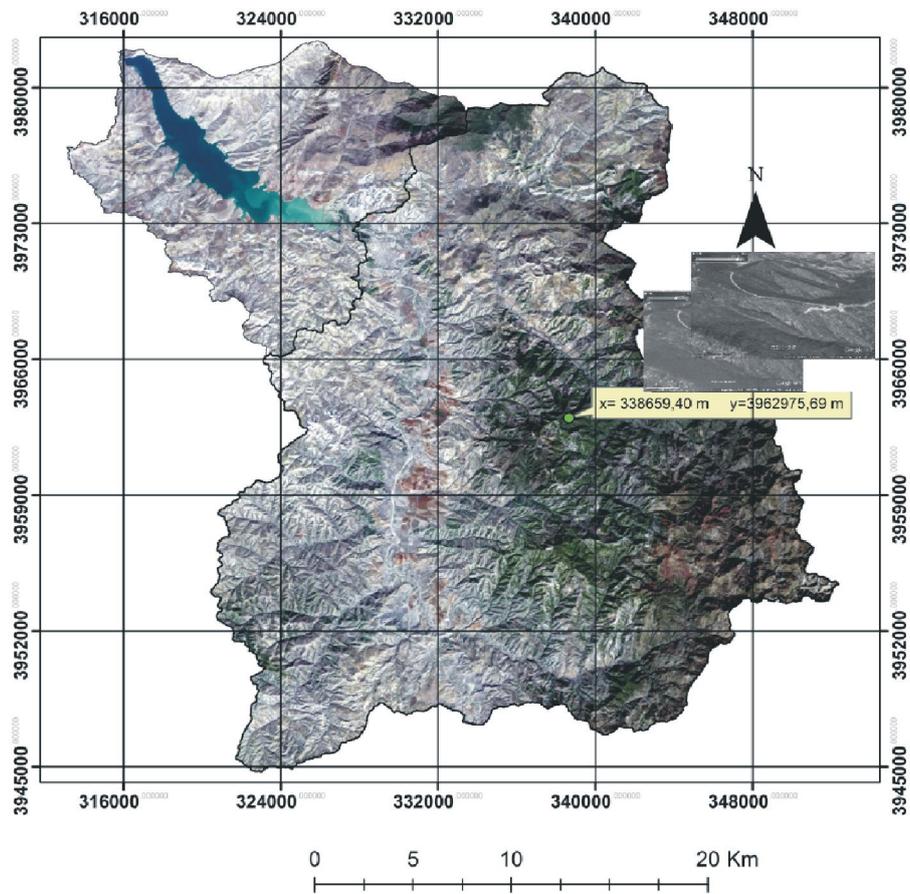


Figure 12 : Dégradation irréversible du massif forestier du bassin versant de l'oued Rhiou par défrichage et incendies de forêts (Images Google Earth entre 2006 et 2011).

- a.** 10.04.2015 : Etat initial de la forêt **b.** 30/10/2015 : Défrichage
c. 09/08/2016 : Incendie de forêt **d.** 16/02/2017 : Phénomène de ravinement

Le processus du développement a provoqué une nouvelle dynamique dans les écosystèmes naturels. La surexploitation des terres en matière d'agriculture et fourrages n'assure plus les besoins des troupeaux (une diminution du nombre de cheptels), engendrant une augmentation des prix des protéines animales, d'où une mutation de la conduite des éleveurs et agriculteurs vers l'appropriation de terres illicites dans les forêts (cas du bassin versant de l'oued Rhiou) en provoquant des incendies de forêts (Fig. 12), des défrichements et de la déforestation (les facteurs K , C se modifient fréquemment). Le *cover crop* (déchaumeuse à disques) induit une situation irréversible en détruisant la végétation naturelle et en pulvérisant l'horizon superficiel rendu très sensible à l'érosion hydrique. L'ampleur du problème est difficile à quantifier (Fig 12,13). En période de sécheresse, le recours aux aliments concentrés subventionnés par l'Etat est devenu systématique pour les éleveurs, ce qui s'est traduit, sous la pression de facteurs politiques (sécurité alimentaire), économiques (subvention, PPDR, crédits) et sociaux (essor démographique), par l'extension des superficies agricoles dans des zones à risque d'érosion.

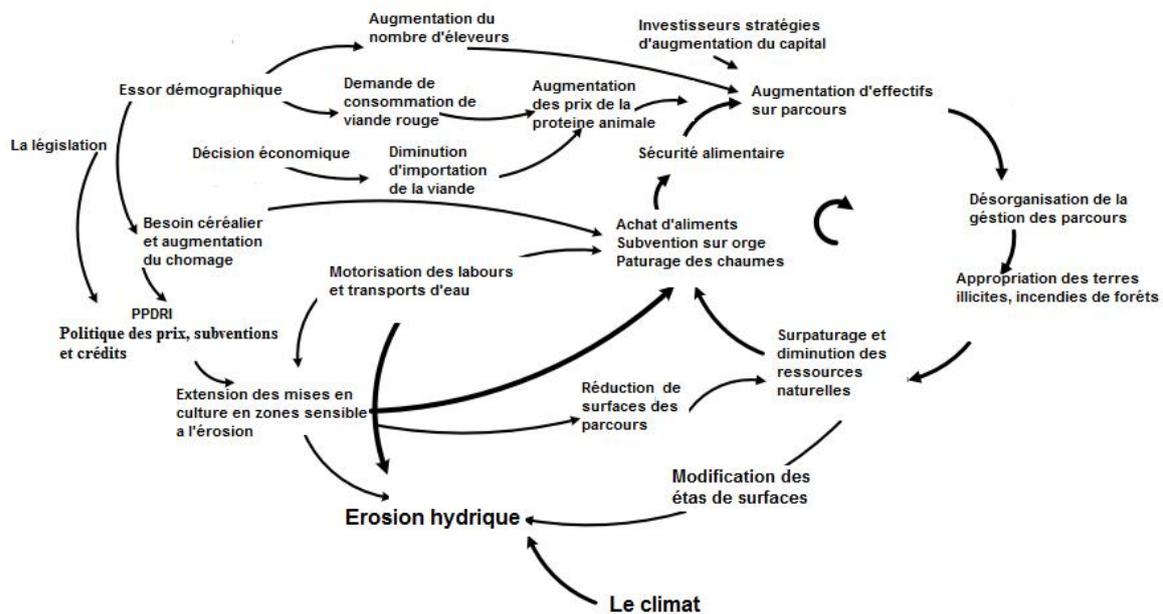


Figure 13 : Effet de la décision économique algérienne sur la dégradation des écosystèmes naturels.

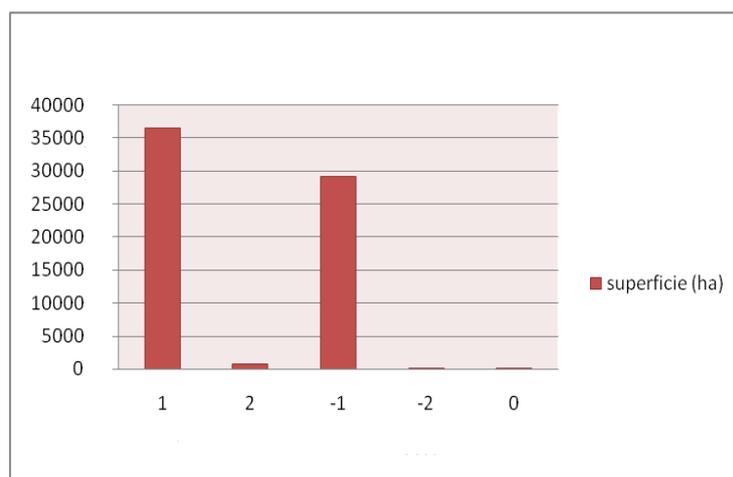


Figure 14 : Indices de changements d'occupation du sol (1985-2014) dans le bassin versant de l'oued Rhiou.

Les figures 11 et 14 montrent que les superficies d'occupation de sol (+1), qui ont peu évolué en végétation, et (+2) qui ont très fortement évolué en végétation depuis 1985, ont approximativement

les mêmes superficies que les zones dégradées (-1), peu dégradées et très dégradées (-2) (outil de traitement des images satellitaire à l'aide de l'option « change détection » du logiciel ENVI 4.7), ce qui peut être probablement expliqué par l'avancée de l'agriculture céréalière au détriment des superficies forestières et l'émergence de l'agriculture irriguée dans des zones défavorisées et sensibles à l'érosion. En effet, la grande partie des terres destinée à la céréaliculture couvre environ 5% de la superficie totale du bassin versant. Ces terres ont été mises en culture suite à l'irrigation mécanisée par aspersion non contrôlée, ce qui a permis de passer d'une superficie de 13647 ha entre 1936-1944 à 20235 ha pour 2003 - 2007 (DSA, 2014). Cette situation favorise l'augmentation de l'impact du phénomène de splash et du ruissellement (la durée des arrosages est non étudiée) sur des terrains déjà sensibles naturellement à l'érosion (lithologie et pente élevée) avec augmentation de la salinité du sol (DOUAOUI, 2005) suite à une forte évapotranspiration qui favorise les espèces dégradées halophytes au détriment de la végétation naturelle (facteur C très faible).

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'appliquer un modèle largement diffusé : le modèle USLE, à un contexte particulier, afin de montrer la dynamique érosive et les dégradations à l'échelle du bassin versant. Ainsi, une modélisation de l'érosion hydrique des sols a été réalisée afin d'évaluer la contribution des bassins versants dans l'envasement des barrages malgré la raréfaction des données, à l'échelle du bassin versant de l'oued Rhiou.

Les cartes de synthèses de l'équation USLE du bassin versant sont un outil de travail précieux lors d'une planification éventuelle de la lutte anti-érosive. En effet, celles-ci ont été conçues pour qu'elles soient un outil simple mais efficace. Elles procurent rapidement des informations sur la répartition spatiale de tous les types d'érosion. Ces informations permettent aussi d'identifier les zones prioritaires d'intervention. En perspective, vu la dynamique rapide de l'occupation du sol, il serait possible d'envisager un suivi dans le temps et dans l'espace des facteurs C, K, R afin d'affiner l'estimation des pertes de sols.

BIBLIOGRAPHIE

- ARABI M., 2006. Aménagement antiérosif sur petits bassins versants expérimentaux en milieu semi-aride algérien. *Z. Geomorphology NF* 50-2 : 209-220.
- ARABI M. & ROOSE E., 1989. Influence de quatre systèmes de production en région méditerranéenne de moyenne montagne algérienne. *Bull. Réseau Erosion, ORSTOM*, Montpellier 9: 39-51.
- BOGGS, G.S., DEVONPORT, C.C., EVANS, K.G., SAYNOR, M.J. & MOLIÈRE, D.R., 2001. « Development of a GIS based approach to mining risk assessment », *Supervising Scientist Report*, n° .159, Environment Australia, Darwin, 49 p.
- BOULAINÉ J., 1957. Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d'Etat de l'Université d'Alger, 582 p.
- COHEN, M. & REY, F., 2005. « Dynamiques végétales et érosion hydrique sur les marnes dans les Alpes françaises du Sud », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1 : 31-44.
- DE LONGUEVILLE, F., HOUNTONDJI, Y.C., KINDO, I., GEMENNE, F. & OZER, P., 2016. Long-term analysis of rainfall and temperature data in Burkina Faso (1950-2013). *International Journal of Climatology*, 36 : 4393-4405.
- DOUAOUI A., 2005. Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chéiff. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct. d'Etat, INA Alger, 230 p.
- DSA, 2014. Direction des services agricoles de la wilaya de Relizane. Document interne, non publié, 20p.
- DUMAS, P., PRINTEMPS, J., MANGEAS, M. & LUNEAU, G., 2010. « Developing Erosion Models for Integrated Coastal Zone Management. A Case Study of New Caledonia West Coast », *Marine Pollution Bulletin*, .161: 519-529.
- FENGYIN, YE., SICHOUX, L., BARRIOT, J.P. & DUMAS, P., 2010. Modeling the erosion of shield volcanoes : The Tahiti island case, Proceedings Interpraevent, International Symposium in Pacific Rim. Taipei, Taiwan, 690-699.
- GITAS, I.Z., DOUROS, K., MINAKOU, C., SILLEOS, G.N. & KARYDAS, C.G., 2009. Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *EARSL e Proceedings* 8, 1: 40-53.

- GRIFFITHS, G.M., SALINGER, M.J. & LELEU, I., 2003. Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific Convergence Zone. *International Journal of Climatology*, 23: 847-869.
- HADEF B., 2013. Caractérisation de la vase de dragage du barrage de l'oued Rhiou et valorisation en tant que matériau de construction. Thèse Doct. d'Etat, Alger, 230 p.
- JABBAR, M.T. & CHEN, X., 2005, « Soil degradation risk prediction integrating RUSLE with geoinformation techniques, the case of northern Shaanxi province in China », *American Journal of Applied Sciences*, 2 : 550-556.
- KACI M., 2014. L'application des images LSA SAF pour la détection des causes et feux de forêts dans la wilaya d'Ain Defla Algérie .TFE, Master spécialisé en Gestion des Risques naturels, Université de Liège, Belgique, 140 p.
- MANTON, M.J., DELLA-MARTA, P.M. & HAYLOCK, M.R., 2001. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998. *International Journal of Climatology*, 21: 269-284.
- MATI, B.M., MORGAN, R.P.C., GICHUKI, F.N., QUINTON, J.N., BREWER, T.R. & LINIGER, H.P., 2000, « Assessment of erosion hazard with the USLE and GIS : A case study of the Upper EwasoNg'iro North basin of Kenya » *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* , 2 : 78-86.
- MORSLI B., 1996. Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne – Cas des monts de Beni-Chougrane . Thèse de Magister INA El Harrach Alger, 102p
- RENARD, K.G. & FREIMUND, J.R. , 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE, *Journal of Hydrology*, 157: 287-306.
- ROOSE, E., 1977. Application of the Universal Soil Loss Equation of Wischmeier and Smith in West Africa , *Soil Conservation Society of America*, Ankeny, Iowa : 50-71.
- SADIKI, A., BOUHLASSA, S., SAÏDATI, J., AUAJJAR, A., FALEH & MACAIRE, J.J. , 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, .26 : 69-79.
- STONE, R.P. & HILLBORN, D., 2000. Universal Soil Loss Equation, USLE. Ontario Ministry of Agriculture, food and Rural Affairs (OMAFRA) : 8p.
- TECSULT, 2005. Étude de la protection des bassins versants de l'ensemble des barrages en études d'Avant Projet Détaillé (lots nos 1 à 4) et des bassins versants des barrages en exploitation Barrages Lag, Cheliff et Kef-Eddir, 52p.
- TOUAIBIA B., 2010. Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. *Sécheresse* ; 21: 1-6.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D., 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. AGU* 39: 285-291.
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D., 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning . *Agriculture Handbook*, 537, Department of Agriculture Science and Education Administration, Washington, District of Columbia USA. U.S., 62p.
- YACONO, X., 1955. Colonisation des plaines du Chéouli (de Lavignerie au confluent de la Mina). Tome 1, imprimerie Imbert , Alger, 346p.