

Cartographie des zones à risque d'érosion hydrique : Application au bassin versant d'oued Fergoug dans les monts des Béni-Chougranes en AlgérieSouidi Zahira¹, Hamimed Abderrahmane¹, Zaagane Mansour¹ et Donze Frédéric²*1- Université de Mascara, Laboratoire LRSBG, souidi.z@gmail.com**2- Université Joseph Fourier (UJF), Frederic.Donze@hmg.inpg.fr*

Résumé

L'érosion hydrique constitue un grave problème environnemental, agricole et social qui affecte et menace d'immenses espaces en Algérie. Les conséquences les plus importantes sont l'appauvrissement des sols, l'envasement des barrages en aval, le risque de désertification, l'abandon des terres et l'exode rural de la population. La présente étude, essaie à mettre en relief la nature et l'ampleur des facteurs et paramètres contribuant à la dégradation du sol (climat semi-aride, pluies irrégulières, sol friable, couverture végétale insuffisante) et par voie de conséquence le risque engendré dans les régions de moyenne montagne. L'objectif de notre travail est de développer une méthodologie utilisant le modèle USLE (Universal Soil Loss Equation), la télédétection et les systèmes d'information géographique (SIG) pour cartographier les zones à risque d'érosion hydrique dans les régions de montagne (Monts de Bénichougrane, Atlas Tellien, Algérie) et pour produire une carte de risque qui peut être utilisée comme document de référence pour les décideurs. La méthodologie adoptée consiste à intégrer, dans un SIG, trois facteurs favorisant l'érosion : la pente, la friabilité des matériaux et l'occupation des terres. La carte de risque d'érosion obtenue nous a permis de délimiter quatre zones de vulnérabilité à l'érosion hydrique : faible, moyen, fort et très fort. Les zones à risque d'érosion forte et très forte couvrent principalement les crêtes et la zone montagneuse en amont du barrage Fergoug validées par les observations terrain. La méthodologie présentée dans cette étude peut être généralisée à toutes les zones de moyenne montagne et elle permettra de mettre en place les zones de priorités d'intervention pour atténuer le risque d'érosion hydrique et l'envasement des barrages en aval.

Mots clés : Cartographie, érosion hydrique, USLE, SIG, télédétection, Algérie.

Introduction

L'Algérie connaît différentes formes de dégradation de son milieu naturel avec des particularités spécifiques à chaque territoire. Les crues exceptionnelles et certains phénomènes associés, notamment les inondations et l'érosion des terres, représentent des risques environnementaux et sociaux très graves. Dans certaines régions de l'Algérie, l'érosion hydrique des sols est l'un des processus majeurs à l'origine du façonnement de la surface de la terre et de la baisse de productivité des terres cultivables (Roose et *al.*, 2000).

L'érosion constitue un grave problème environnemental, agricole et social qui affecte et menace d'immenses espaces de notre pays (Heddadj, 1997). Les conséquences les plus remarquables sont : appauvrissement généralisé des sols, baisse de la fertilité et exode rural de la population (Benchetrit, 1972).

Plusieurs années de mesures du ruissellement et de l'érosion ont contribué à caractériser l'érosion sous son aspect quantitatif (Roose et *al.*, 1993a ; 1993b et 2000). Cependant, la spatialisation de ce phénomène s'avère nécessaire afin d'assurer une gestion

durable des sols dans un contexte d'insécurité climatique avec parfois l'occurrence de pluies torrentielles.

En effet, la télédétection et les SIG sont des outils performants pouvant servir à la collecte et à la combinaison des données (Puech, 1993). Ils se présentent de nos jours comme des outils complémentaires dans les systèmes interactifs d'aide à la décision (Roy et Bouyoussou, 1993). Pour ce faire, il est nécessaire de sélectionner les principaux facteurs de l'érosion, d'utiliser des données cartographiques qui permettent de les visualiser et de choisir un modèle qui s'adapte le mieux à la région étudiée.

Notre travail est basé sur l'intégration, dans un système d'information géographique (SIG), des données géospatiales provenant de la télédétection, de cartes diverses (topographiques, pédologiques et géotechniques) et d'observations de terrain. L'objectif principal, est de mettre en relief la nature et l'ampleur des facteurs et paramètres contribuant à la dégradation du sol du fait de la combinaison de plusieurs facteurs notamment les phénomènes naturels et anthropiques et aboutir à des cartes de synthèse qui nous permettent de délimiter et d'identifier les zones érodées.

I. Matériel et méthodes

I.1. Le site d'étude

La région d'étude fait partie de la région semi-aride, c'est un sous-bassin-versant de l'oued Fergoug situé dans les monts de Beni Chougrane (figure 1), d'une superficie de 170 km². Il fait partie du grand bassin versant de l'Oranie – Chott Chergui. Le sous-bassin-versant de l'oued Fergoug présente une forte sensibilité à l'érosion hydrique, particulièrement linéaire (Bouchtata et Bouchetata, 2006). Ce processus érosif est provoqué par des pluies agressives et concentrées pendant de courtes périodes. On constate aussi une lithologie fragile, représentée par des roches souvent tendres et un relief escarpé et fortement disséqué, présentant souvent de fortes pentes. La couverture végétale est profondément dégradée sous l'effet des facteurs anthropique.

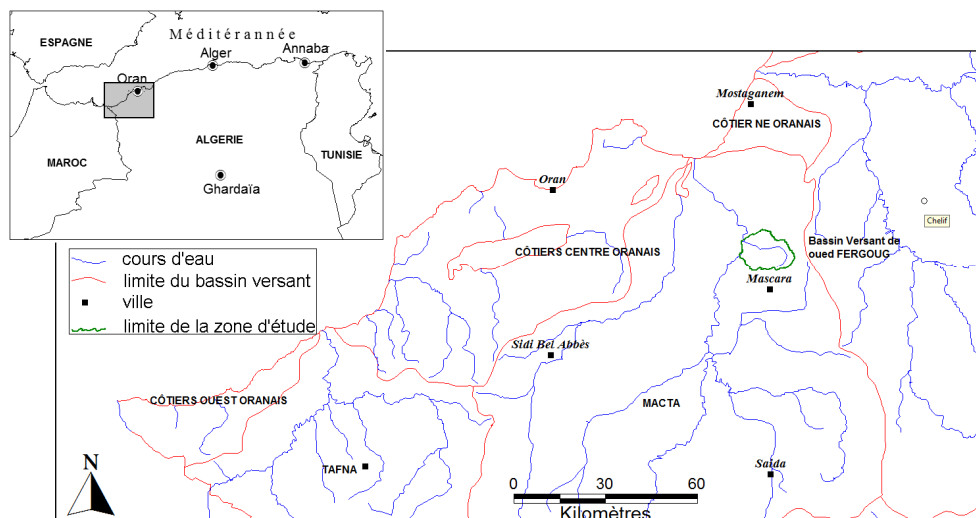


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.

I.2. Données et méthodologie

L'ensemble des données utilisées de la région d'étude (relevés pluviométrique annuel, carte topographique, carte géologique, NDVI tirée à partir des données de télédétection (image de printemps de l'année 2009) nous ont permis de constituer une base de donnée multisource. Cette base de données a permis de créer des couches thématiques en relation avec les différents facteurs gouvernant l'érosion hydrique et de réaliser une cartographie des risques d'érosion grâce à un Système d'information géographique (SIG).

L'approche méthodologique utilisée est inspirée de celle de Pouliot *et al.* (1993) qui est basée sur le modèle mathématique des pertes de sol de Wischmeier et Smith (1978), désigné sous le vocable de « *Universal Soil Loss Equation* » (USLE) dont l'expression est donnée par :

$$A = R. K. LS. C. P \quad (\text{Eq. 1})$$

Où : A = la perte en terre par unité de surface et par unité de temps ; R = le facteur d'érosivité des pluies ; K = le facteur d'érodabilité des sols traduisant leur résistance à la désagrégation ; LS = facteur topographique (la longueur et l'inclinaison de pente du terrain) ; C = le facteur du couvert végétal regroupant le couvert végétal, son niveau de production et les systèmes culturels qui y sont associés ; P = le facteur de pratique antiérosive.

La démarche adoptée est essentiellement qualitative et repose principalement sur l'étude des facteurs pertinents influençant le phénomène d'érosion hydrique (l'érosivité de la pluie, l'indice topographique, le NDVI et l'érodabilité des sols). Elle consiste en l'intégration, dans un SIG, des différents facteurs de l'érosion hydrique qui sont d'ordre climatique, topographique, pédologique et anthropique (action de l'homme sur le couvert végétal). Ces différents paramètres seront codifiés individuellement (pondération) et seront ensuite croisés sous le logiciel MapInfo selon le modèle d'érosion (Eq.1).

II. Résultats et discussion

II.1. Estimation des différents facteurs de l'équation USLE

Les données pluviométriques de 4 ans (1987 à 2009) collectées par l'Office Nationale de Météorologie (ONM) ont été utilisées pour le calcul du facteur R selon (Wischmeier et Smith (1978). Le facteur R varie de 17 à 191 MJ mm.ha-1.h-1.an-1. Les valeurs K en relation avec le type de sol ont été identifiées à partir de la capacité d'érosion des sols selon le nomographe établi par Foster (1982) en tenant compte de la taille des particules, la teneur en matière organique et de la classe de perméabilité. La moyenne des valeurs de K pour notre bassin versant est estimée à 0,07 t.ha.ha-1.h-1.mm.MJ-1. Le facteur LS est fonction de la longueur et de l'inclinaison des pentes. Le facteur LS a été dérivé à partir du modèle numérique de terrain (MNT) de la zone d'étude en utilisant la relation développé par Moore et Burch (1986). La valeur du facteur LS dans la zone d'étude varie de 0 à 598. L'indice de végétation normalisé NDVI), un indicateur de la vigueur et la santé de la végétation est utilisé pour générer l'image de la valeur du facteur C pour la zone d'étude (Zhou, 2008 ; Kouli *et al.*, 2009). Le facteur C varie entre 0,1 et 0,9. Le facteur de la pratique des travaux anti-érosifs (facteur P) est le rapport sol-perte (Renard *et al.*, 1997). Dans la présente étude, nous avons

fixé la valeur du facteur P à 1 sur l'ensemble du bassin versant compte tenu du manque d'information sur les travaux anti-érosifs de la région.

II.2. La couverture du sol

L'indice de végétation (NDVI) se révèle être un outil bien adapté pour différencier et hiérarchiser la densité des couverts végétaux (NDVI de 0,3 à 0,8). Il est aussi un bon indicateur pour le suivi régional de la végétation (Haddouche et *al.*, 2011). Le NDVI présente la particularité d'augmenter en présence de végétation dense. La carte d'indice de végétation NDVI ainsi obtenue sur la région d'étude (figure 2) montre que les fortes valeurs du NDVI, au dessus de 0,60 sont attribuées à la végétation dense. Les sols nus ont les faibles valeurs, en dessous de 0,2.

Nous pouvons classer les groupements végétaux de la zone d'étude en trois classes selon la classification de Roose (1977) :

- couvert végétal permanent : le couvert forestier (matorral clair arboré : faciès à *Tetraclinis articulata* et *Oleo lentisque* ; matorral dense arboré : faciès à *Tetraclinis articulata* ; matorral clair arboré : faciès à *Tetraclinis articulata* et *Quercus ilex*) les reboisements forestiers, les ripisylves (*Tamarix*), les cultures pérennes irriguées, les plantations viticoles et arboriculture fruitière.
- couvert végétal temporaire : les cultures annuelles (céréales, agriculture extensive et semi-intensive) et les terres labourables.
- couvert végétal incomplet : les pâturages et sols nus.

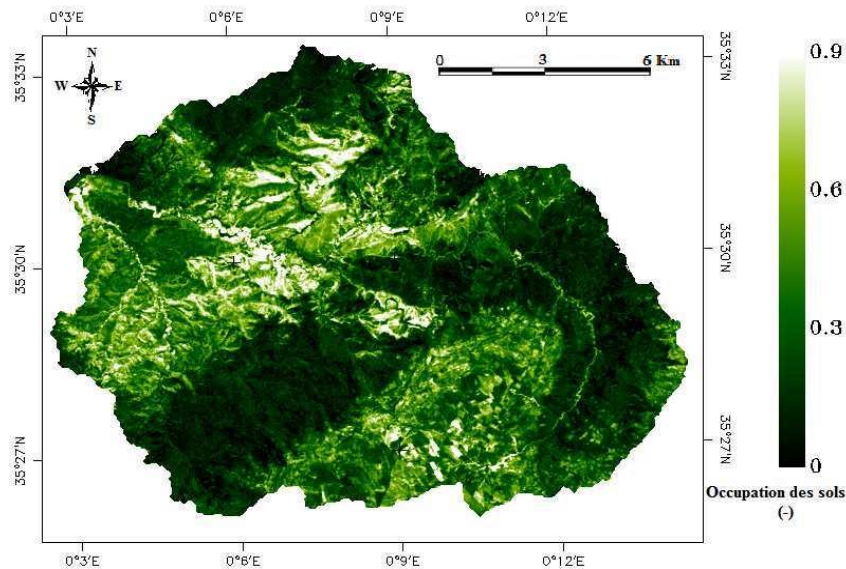


Figure 2 : Carte de la couverture végétale (facteur C) dans le sous bassin versant Fergoug (Monts des Béni Chougrane, Mascara, Algérie).

L'occupation actuelle des sols montre une nette prédominance des parcours et des cultures annuelles et une faible extension des espaces boisés (tableau 1). Elle s'est traduite par une diminution de la végétation forestière comparée aux années précédentes et une extension des zones agricoles et du pâturage (BENEDER, 2008).

Tableau 1. Superficies et pourcentages des classes d'occupation du sol.

Occupation du sol	Degré de protection	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
Sols nus	Non protecteur	1 462,81	11,92
Pâturages	Peu protecteur	4 678,53	38,37
Couvert végétal temporaire	Moyennement protecteur	3 109,16	25,51
Couvert végétal permanent	Fortement protecteur	2 949,50	24,20

II.3. Le risque d'érosion hydrique

Les résultats obtenus nous ont permis de générer la carte des risques d'érosion hydrique selon l'équation de USLE de Wischmeier (figure 3). La perte potentielle annuelle du sol (facteur A) a été estimée à partir des différents facteurs (R, K, LS, C et P) à l'aide d'une analyse spatiale avec le logiciel Map Info qui représente un scénario géo-environnemental de la zone d'étude. Le taux moyen de l'érosion des sols estimé pour notre sous-bassin versant varie de 0 à 552 t.h⁻¹.an⁻¹. La carte obtenue permet de mettre en évidence les dynamiques d'érosion sur le bassin versant de l'Oued Fergoug.

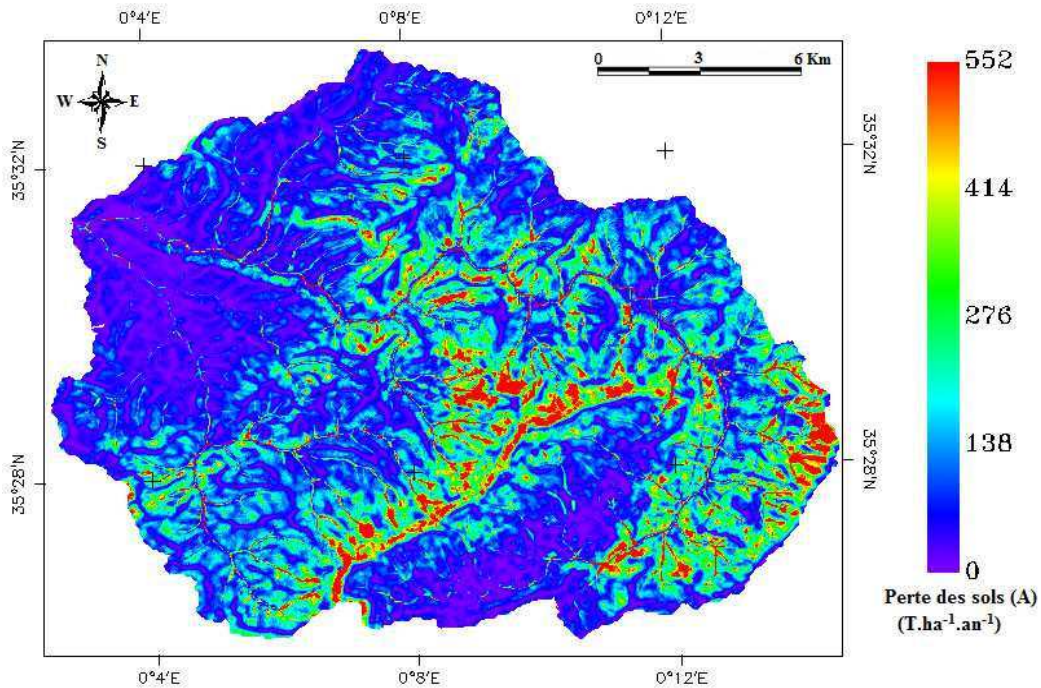


Figure 3 : Carte des pertes en sol (facteur A) à partir de l'équation USLE de Wischmeier dans le sous-bassin versant Fergoug (Monts des Béni Chougrane, Mascara, Algérie).

Nous pouvons classer la perte des terres et le degré de sensibilité à l'érosion pour notre zone d'étude selon le tableau 2. Nous constatons que malgré un couvert végétal peu protecteur (tableau 2) notre sous-bassin versant montre un degré de sensibilité à l'érosion en majorité faible sur les 83% de sa superficie totale.

Tableau 2: Perte en sol dans le sous-bassin versant de Fergoug.

Perte en sol (t/ha/an)	Degrés de sensibilité	Superficies érodables (km ²)
< 5	Très faible	87,15
5 à 12	faible	53,61
12 à 50	modéré	28,08
50 à 100	sévère	0,96
>100	Très sévère	0,20

D'une manière générale, c'est surtout les végétations dégradées, les sols dénudés, les sols fragiles (marne), les reliefs escarpés et des précipitations agressives qui contribuent fortement à augmenter l'emprise de l'érosion hydrique. La pente aussi un des facteurs clés de cette équation permet d'identifier quatre zones distinctes :

- les zones à faible risque d'érosion en aval du bassin versant, dans les vallées encaissées ; ces zones sont caractérisées par des pentes comprises entre 0 et 2 %, et une faible érodabilité ;
- les zones à risque moyen d'érosion sont caractérisées par des pentes comprises entre 2 et 8 %, un recouvrement végétal de forêt dégradée et une érodabilité moyenne ;
- les zones à fort risque d'érosion, ont des pentes supérieures à 12% et souvent sans aucune couverture végétale ;

Les résultats de l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'informations géographiques dans le bassin versant de Fergoug (Mascara) a montré que le bassin versant perd une grande partie des terres situées en amont. Cette perte constitue une érosion très élevée des sols sous un climat agressif avec des précipitations faibles mais à caractère orageux, d'où apparition des ravinements et des ravins sur des surfaces de terrains nus décapés sur des pentes fortes avec un indice d'érodabilité important. Le manque des ouvrages antiérosifs a permis aussi les sapements des berges qui constituent une menace permanente et la plus importante dans notre zone d'étude.

Conclusion

Le présent travail fait ressortir les zones les plus exposées à l'érosion. Le modèle USLE permet une estimation moyenne potentielle des pertes de sols au niveau de notre sous bassin versant. La méthode des pertes en sol sous SIG permet de mieux identifier les zones à fort risque d'érosion. Ces zones occupent les versants de montagne qui sont généralement des zones nues ou de cultures. La carte de risque d'érosion obtenue constitue un document d'aide à la décision qui va contribuer à l'utilisation rationnelle des terres de la région. La mise à jour de la base de données pourrait permettre un suivi et une surveillance des zones à risque. Mais une étude approfondie de l'érodabilité des sols et de l'érosivité des pluies à travers des mesures régulières de terrain contribuerait à un meilleur suivi de l'érosion des sols dans la région.

Références Bibliographiques

- Benchetrit M., 1972. L'érosion actuelle et ses conséquences sur l'aménagement de l'Algérie. Pub Univ. Poitiers, PUF XI, Paris, 216 p.
- BENEDER (Bureau d'étude National d'Etudes pour le développement Rural), 2008. Etude d'inventaire forestier national. Rapport sur la caractérisation des formations forestières, wilaya de Mascara, 11p.
- Bouchetata A., Bouchetata T. (2006). Propositions d'aménagement du sous bassin versant de l'oued Fergoug (Algérie) fragilisé par des épisodes de sécheresse et soumis à l'érosion hydrique. *Sécheresse* 2006, 17 (3), pp 415-424.
- Foster G.R., 1982. Hydrologic Modeling of Small Watersheds, Modeling the Erosion Process, ASAE Monograph N°5, pp. 297-380.
- Haddouche, I., Benhanifia, K. et Gacemi, M., 2011. Analyse spatiale de la régénération forestière post-incendie de la forêt de Fergoug à Mascara, Algérie. *Bois et forêts des tropiques*, 307 : 23-31.
- Heddadj D., 1997. La lutte contre l'érosion en Algérie. *Bull. Res. Éros.*, 17, 168-175.
- Kouli, M., Soupios, P., Vallianatos, F., 2009. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental Geology* 57, 483-497.
- Moore, I.D., Burch, G.J., 1986. Physical basis of the length slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society of America* 50 (5), 1294-1298.
- Pouilot J, Thomson KPB, Chevalier JJ, Boussema MR., 1993. Utilisation des données satellitaires comme aide à l'identification des zones à haut risque d'érosion. Sixième symposium canadien sur la télédétection, Sherbrooke, 7-10 juin 1993.
- Puech C., 1993. Détermination des états de surface par télédétection pour caractériser les écoulements des petits bassins versants. Thèse de doctorat, Université J.Fourier, 202p.
- 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). *Agriculture Handbook*, vol. 703. US Department of Agriculture, Washington, DC, pp. 1-251.
- Roose E, Chebbani R, Bouragaa L., 2000. Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. *Sécheresse*, 11 : 317-26.
- Roose E, Arabi M, Brahmia K, Chebbani R, Mazour M, Morsli B. 1993a. Recherches sur la réduction des risques d'érosion par la GCES en moyenne montagne méditerranéenne algérienne. *Cah Orstom Sér Pédol.* 28 : 289-308.

Roose E., Arabi M., Brahmia K., Chebani R., Mazour M. et Morsli B., 1993b. Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne : synthèse des campagnes 1984-95 sur un réseau de 50 parcelles. Cah. ORSTOM Pédol., 28, 289-308.

Roose, E., 1977. Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Travaux et Documents, éditions ORSTOM, n° 78 : 230 p.

Roy B. et Bouyoussou D., 1993. Méthodes multicritères d'aide à la décision. Economica Paris.

Wischmeier W.H. et Smith D.D., 1978. Prediction rainfall erosion losses, a guide to conservation planning Science.U.S. Dept. Agriculture.Agric. Handbook 537, 60 p.

Zhou, P., Luukkanen, O., Tokola, T., Nieminen, J., 2008. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. CATENA 75 (3), 319-325.