



HAL
open science

La quantification de l'érosion hydrique à l'échelle de Kfar Qouq (Liban)

Hussein El Hage Hassan, Laurence Charbel, Laurent Touchart

► **To cite this version:**

Hussein El Hage Hassan, Laurence Charbel, Laurent Touchart. La quantification de l'érosion hydrique à l'échelle de Kfar Qouq (Liban). Colloque l'Eau et l'homme, UNESCO; L'Université Libanaise, Dec 2018, Beyrouth, Liban. hal-02126263

HAL Id: hal-02126263

<https://univ-orleans.hal.science/hal-02126263>

Submitted on 11 May 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Axe de L'eau
et L'espace
géographique**

**Axis of water
and geographical
space**

La Quantification De L'érosion Hydrique à L'échelle De Kfar Qouq (Liban)

Hussein El Hage Hassan¹ *hussein.1978@hotmail.fr*

Laurence Charbel² *Laurence.Charbel@gmail.com*

Laurent Touchart³ *laurent.touchart@univ-orleans.fr*

Résumé

L'érosion hydrique, forme de dégradation des sols, varie dans le temps et dans l'espace. Ce processus qui résulte de l'interaction de divers facteurs physiques : (l'agressivité climatique, la texture du sol...), peut être accentué par la conduite des activités humaines.

L'étude portera sur un secteur de Kfar Qouq, situé au piedmont du versant ouest de Jabal el Cheikh, touché par l'érosion aréolaire. À l'aide d'un SIG et l'équation universelle des pertes en terre (USLE), nous avons dressé la carte des pertes en terre. Le modèle adopté détermine les pertes en terre, à partir de: l'érosivité de pluie, l'érodibilité des sols, l'inclinaison et la longueur de la pente, la couverture du sol et les pratiques antiérosives. 93,8% de la région d'étude est soumise à des pertes supérieures à 100 t/ha/an. L'intensité des précipitations, les pentes fortes et le déboisement sont à l'origine de ces pertes. La validation des résultats est basée sur la réponse spectrale des zones érodées qui révèle une précision de l'ordre de 80 %.

Mots-clés : *érosion hydrique, SIG, dégradation du paysage, Kfar Qouq*

¹Université Libanaise, Laboratoire de recherche: CEDETE (EA 1210),

²Université Libanaise, Beyrouth, Liban.

³Laboratoire de recherche: CEDETE (EA 1210), Université d'Orléans, France.

Abstract

Water erosion is a form of soil degradation that varies in time and space. This process results from the interaction of various physical factors, mainly climatic aggressivity, soil texture, etc., and can be accentuated by man-made activities.

The study will focus on a section of Kfar Qouq, which is located at the foot of the western slope of Jabal el Cheikh and is affected by water erosion. A map of soil losses was prepared using GIS and Universal Earth Loss Equation (USLE). The adopted model determines soil loss from: erosivity of rainfall, soil erodibility, inclination and slope length, soil cover, and erosion control practices. 93.8% of the study area is subject to losses greater than 100 t / ha / year. Precipitation intensity, steep slopes and deforestation are responsible for these losses. The validation of the results is based on the spectral response of the eroded zones which reveals a precision of the order of 80%.

Key words: *water erosion, SIG, land degradation, Kfar Qouq*

1 Introduction

Les caractères semi-arides de la plaine de la Békaa, le climat méditerranéen qui se particularise par une période sèche et une autre pluvieuse et les pratiques culturales participent à placer au centre des inquiétudes de développement rural la question de l'érosion hydriques des sols.

L'insuffisance de données surtout météorologiques, pose un problème pour la recherche scientifique, nécessaires à l'application des équations classiques en pertes de sol. Afin de surmonter cette difficulté, un certain nombre de stratégies permet de contourner les obstacles rencontrés. De fait, la démarche présentée ici est largement méthodologique. Elle doit permettre d'estimer les pertes en sol sur un secteur avoisinant les 20 km² où l'hypothèse de travail est que le risque érosif est fort et assez mal pris en compte actuellement.

Quel est l'intérêt géographique du travail de recherche à une si grande échelle cartographique? L'équation universelle des pertes en terre (USLE) est-elle applicable ici et quelles sont ses difficultés d'utilisation dans le cadre d'un croisement avec un SIG ? Pour tenter d'apporter des réponses plus précises que d'autres études précédentes,

y compris des mêmes auteurs, l'emploi de l'équation a nécessité d'une part un travail préliminaire de reconstitution de l'intensité des précipitations, d'autre part un ensemble d'analyses d'échantillons de sols récoltés sur le terrain. La présentation du cadre d'étude sera focalisée sur l'intérêt du choix du secteur de Kfar Qouq. La méthodologie sera ensuite développée, mettant en évidence son originalité par rapport aux démarches existantes. L'estimation des pertes en terre sera exposée sous forme de résultats spatialisés, avant d'être discutée.

2 Cadre D'étude

Situé à l'extrémité sud-est de la plaine de la Békaa entre 33°30'30'' et 33°38'30'' de latitude Nord et 35°49'30'' et 35°59'30'' de longitude Est (Fig.1), le secteur d'étude s'étend autour de Rachaya, sur 130 km² (≈ 15 km de longueur et 10 km de largeur). L'altitude médiane est fixée à 1350 met la pente moyenne est de l'ordre de 8 degrés.

Sous l'effet d'un climat méditerranéen, la région est caractérisée par une période humide de novembre à avril et une période sèche de mai à octobre. Les précipitations varient entre 648 mm et 900 mm (1950 -2012).

Sur le plan géologique, les affleurements datent du Jurassique inférieur (J3) au Crétacé supérieur (C6) (Dubertret et Wetzel 1951). Les roches du Jurassique sont formées essentiellement de calcaire et de dolomie avec quelques épanchements volcaniques de l'Oxfordien (J5). D'autre part, les roches du Crétacé présentent différents faciès: calcaires, dolomies, marnes, grès, argiles et basaltes. Des dépôts du Quaternaire masquent les petits oueds du terrain. La zone d'étude est traversée par la faille de Rachaya, l'une des branches du fossé d'effondrement de la mer morte. Cette faille, le long de laquelle se développent certaines formes karstiques (lapiés et dolines), a engendré plusieurs failles parallèles.

La végétation, de type méditerranéen, est étagée en fonction de l'altitude. Les forêts dégradées et les terrains incultes marquent le paysage de cette région. Le contexte physique (le sol fragile, la pente escarpée et l'agressivité climatique) et l'ensemble des activités humaines (le déboisement, la surexploitation et le pâturage) ont occasionné les processus érosifs (El Hage Hassan et *al.* 2018a).

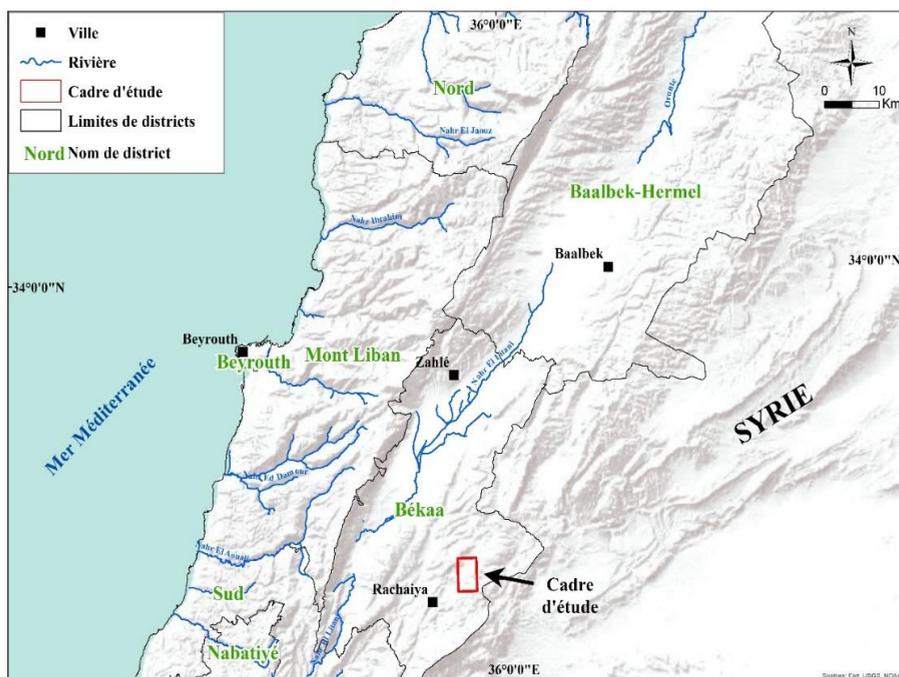


Figure 1 : Localisation du cadre d'étude

3 Matériels Et Méthode

Wischmeier et Smith (1960, 1978) ont proposé l'équation universelle des pertes en sol (USLE) qui vise à relier les éléments mesurables à des phénomènes physiques (Cerdan *et al.* 2006 ; El Hage Hassan *et al.* 2018b). L'équation universelle (USLE) nécessite des paramètres de calibration qui ne sont pas toujours disponibles. Malgré la fiabilité d'USLE, pour estimer les pertes de sol produites par l'érosion en nappe, il attribue une grande valeur au facteur topographique et néglige l'érosion linéaire et l'érosion en masse (Roose, 1996). Le modèle empirique USLE a fait l'objet de nombreuses analyses critiques Roose (1977, 1994). Plusieurs chercheurs, dans le bassin méditerranéen, se sont appuyés sur ce modèle pour estimer l'érosion hydrique (El Garouani *et al.* 2005). L'équation USLE combine les facteurs qui déterminent les pertes en sol (A) : la topographie (LS), l'agressivité climatique (R), l'érodibilité du sol (K),

le couvert végétal (C) et les pratiques antiérosives (P). La modélisation adaptée pour cette étude repose sur l'équation de Wischmeier et Smith (1960, 1978) qui se présente comme suit :

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

Où :

A = taux de perte en sol (t/ha/an),

R = érosivité de pluie,

K = érodibilité du sol,

LS = facteur de déclivité

C = la couverture végétale,

P = facteur exprimant les pratiques culturales

Pour mener ce travail, nous avons suivi les étapes suivantes :

- La détermination des différents éléments de la formule de Wischmeier et Smith et la collecte des données à l'échelle spatiale. Les problèmes rencontrés consistent dans l'insuffisance des données.
- L'intégration des facteurs d'USLE dans un SIG. Pour chacun de ces facteurs, une organisation des données a été réalisée afin d'établir la représentation cartographique de ces facteurs.
- La combinaison des cartes thématiques en format raster. Le résultat est une carte qui expose les pertes en terre pour chaque pixel, exprimé en t/h/an.

Pour atteindre l'objectif de cet article, nous nous sommes servis des données suivantes :

- Les cartes des sols de Rachaya et Zebadani à l'échelle de 1/50 000^e, publiées par le CNRS libanais.
- Les cartes topographiques (Rachaya, kfar Qoûq, Jib Jannine et Aita el Fokhar) de 10 m au 1/20 000^e, publiées en format raster par la direction des affaires géographiques de l'armée libanaise.

- Une image Ikonos (prise en août 2005) à l'échelle de 1/20 000.
- La pluviométrie à partir de données de Lebanon Reforestation Initiative (LRI), celles de l'Atlas climatique du Liban, IRAL (Institut de Recherche Agronomique Libanais) et de la station météorologique de l'aéroport de Beyrouth.

3.1 Les facteurs du modèle

A. L'érosivité de pluie (R)

Le pouvoir érosif résulte de l'intensité de la pluie qui demeure le facteur principal en relation avec les pertes en terre. Pour estimer l'érosivité de pluie, Wischmeier & Smith (1978), ont dressé l'équation suivante: $R = K E I_{30}$

KE =l'énergie cinétique des gouttes de pluie en Joules.

I =l'intensité maximale de la pluie pendant 30 minutes consécutives exprimée en mm / h.

L'application de cette équation nécessite des données climatiques sur des épisodes pluvieux. Pour combler le manque de données et afin d'employer le modèle empirique USLE, des formules alternatives intégrant les moyennes mensuelles et annuelles, ont été proposées par Fournier, 1960; Heusch, 1970 ; Arnoldus, 1980 ; Kalmen 1970, afin de calculer l'agressivité climatique. Etant donné que ces informations sont inexistantes et afin de calculer l'agressivité climatique, nous nous sommes basés sur la formule de Renard et Freimund, (1994) qui établit une relation entre (R) et la hauteur de pluie annuelle moyenne (P) :

$$R = 0.0483P^{1.610}, \quad \text{si } P \leq 850 \text{ mm}$$

$$R = 0.004105P^2 - 1.249P + 587, \quad \text{si } P > 850 \text{ mm}$$

Les précipitations moyennes mensuelles (P) sont calculées à partir des données climatiques, multi-sources (1950 -2012), (MTPT) à l'aide du logiciel ArcGis 10.3. Grâce à eux, nous avons dressé une carte en format raster qui renseigne la valeur R pour chaque maille variant entre 1435 et 1612 (fig.2).

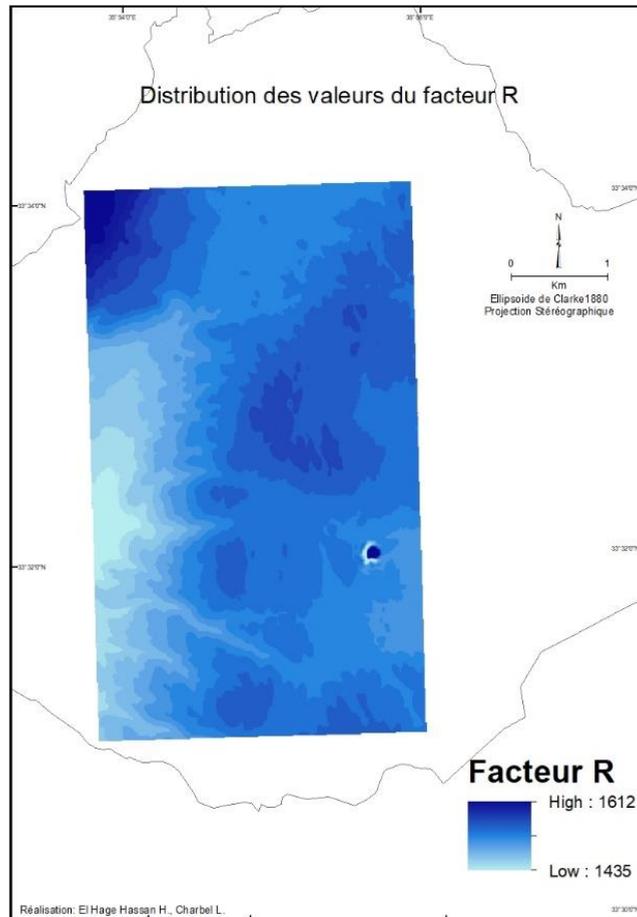


Figure 2 : L'érosivité de pluie (R)

B. L'érodibilité des sols(K)

L'érodibilité des sols (k) dépend de la texture, la structure et la matière organique (El Hage Hassan et *al.* 2013 ; 2016). Plus la cohésion des matériaux du sol est robuste, plus la résistance contre l'arrachement de ces particules et le transport est élevée (Morschel et *al.* 2004). Pour connaître ces paramètres, nous nous sommes servis des analyses réalisées sur plusieurs profils de sol dans la région d'étude par Darwish et *al.*, 2006 (granulométrie, structure de sol, perméabilité et matière organique). Certains relevés de terrain ayant été mal renseignés (lacune dans le pourcentage de sable fin), nous étions alors dans l'obligation de compléter l'étude d'érodibilité par des prélèvements des échantillons

sur le terrain d'étude. Ces prélèvements ont été analysés dans le laboratoire d'IRAL. Ensuite, nous avons déterminé le facteur K pour les différentes unités pédologiques présentes dans la région d'études à partir de l'équation proposée par Wischmeier et Smith (1978).

$$100K=2,1. M^{1,14}.10^{-4} (12-a) + 3,25 (b-2) + 2,5 (c-3)$$

M = facteur granulométrique = (% limon + % sable très fin) (100 - % argile)

a= matière organique

b = code de la structure du sol

c = code de la classe de perméabilité

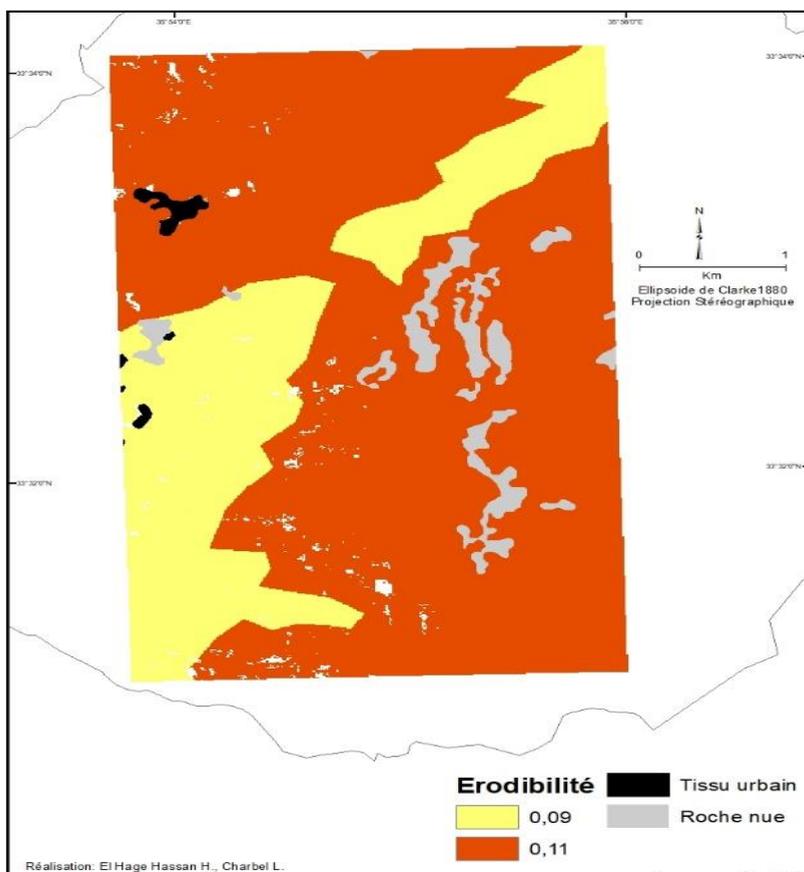


Figure 3: Érodibilité des sols.

Le facteur K a été estimé à 0,09 pour les sols ayant une texture loamy sand (Brown, 2003 ; Stone et *al.*, 2000) qui est moins sensible à l'agressivité climatique et occupe 24,5% de la surface totale. Ces sols sont observés sur les versants et dans la partie plane. En revanche, pour les sols ayant une texture clay et sandy clay loam, K est estimé à 0,11. Ces sols, plus fragiles à l'impact des gouttes de pluie, sont les plus fréquents et sont généralement localisés à l'est et à l'ouest du secteur d'étude. Ils occupent une place dominante de 75,5% par rapport à la surface totale (fig. 3).

C. La couverture du sol (C) et les pratiques culturales (P)

Un couvert végétal dense attribue au sol une protection mécanique (Duchaufour, 1970). La végétation est un facteur décisif pour contrôler l'érosion hydrique et améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol (Duchaufour, 1970 ; Bou Kheir, 2001 ; Charbel et *al.*, 2017;2018 ; El Hage Hassan, *al.* 2009, 2015).

La divergence du couvert végétal, dans le secteur d'étude, intervient sur son action protectrice vis-à-vis de l'érosion hydrique. Certaines zones disposent d'un couvert végétal continu, comme les surfaces boisées denses, qui assure une protection importante au sol mais elles occupent une superficie modeste dans le secteur en question. En revanche, les pertes en terre s'accroissent sous les surfaces boisées dégradées qui dominent 32% de la surface du secteur d'étude. D'autres cultures sont dégradantes comme les céréales qui occupent 18% de la région, et laissent les sols à nus pendant plusieurs mois notamment ceux les plus arrosés. Il en va de même pour les vergers et les vignobles qui n'assurent pas une protection régulière tout au long de l'année. En nous appuyant sur les tableaux de Wischmeier & Smith (1978), qui se basent sur la hauteur de la végétation, le taux de recouvrement et sur les connaissances bibliographiques de la région méditerranéenne (Sadiki et *al.*, 2004 ,2009, El Garouani et *al.*, 2008), nous avons évalué le facteur C (fig.4).

Tableau 1 : Coefficient du paramètre C en fonction de la vocation du sol.

Type d'occupation du sol	Pourcentage	Facteur c
Culture de plein champ	2,4	0,4
Forêt dégradé	23	0,7
Forêt dense	0,6	0,001
Terrain inculte	73	1
Vergers	16,3	0,34

Les pratiques culturales, qui contribuent à la déstabilisation du sol et le décapage de la couche superficielle, peuvent jouer un rôle important dans la conservation du sol contre la dégradation du sol. Les terrasses agricoles, le billonnage...sont des moyens de lutttes actives contre le phénomène érosif. Il est évident d'aménager la surface du sol, afin de contrôler les écoulements des eaux (Roose et *al.*, 2012).Les terrasses agricoles sont le moyen de lutte anti- érosif adopté à Kfar Quouq. Ces terrasses limitent la longueur de la pente et diminuent son inclinaison. Pour cette raison, deux valeurs ont été déterminées arbitrairement, $P = 0.25$ pour les terrasses agricole et $p = 1$ où les pratiques érosives sont absentes.

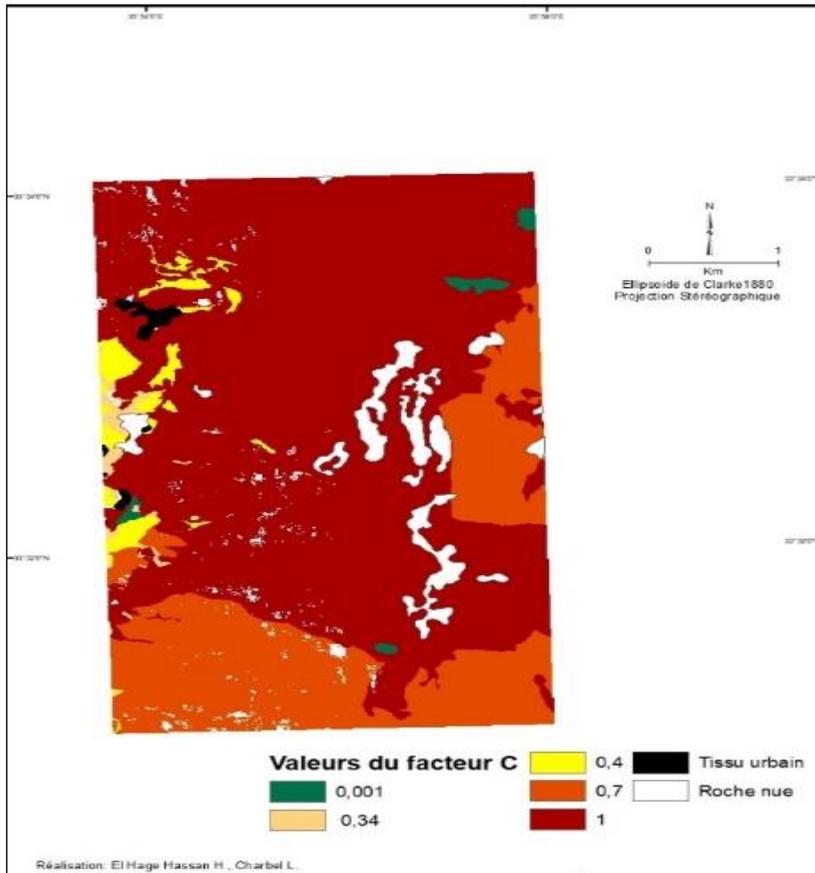


Figure 4 : Détermination des valeurs du facteur C

D. Facteur topographique (LS).

La pente caractérise l'importance de l'érosion, son action dépend du degré d'inclinaison et de sa longueur. Les observations précises sur le terrain, permet d'identifier localement des plages affectées par l'érosion aréolaire (El Hage Hassan, 2011, Payet et *al.* 2012). En fait, les modifications des pratiques culturelles peuvent provoquer le ruissellement et l'érosion du sol même sur une pente très faible (Veyret, 2005, Roose et *al.* 2004). Le comportement des sols à l'infiltration dépend de l'état de la surface du sol (Casenave et Valentin, 1989). Le modèle USLE, appliqué dans cette étude, combine uniquement la longueur et l'inclinaison de la pente.

$$LS = (\lambda/22, 1)^m (65, 4 \sin^2\theta + 4, 56 \sin\theta + 0,065)$$

λ = La longueur de pente en mètre,

θ = L'inclinaison de la pente en %,

m = Le facteur établi en fonction de la pente

($m = 0,5$ 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% et $m = 0,2$ si la pente est $< 1\%$.)

À partir de cette formule et à l'aide d'ArcGis 10.3, nous avons dressé une carte, composée d'une centaine de pixel qui expose une valeur du facteur LS estimée à partir de la combinaison des deux cartes : la longueur et le gradient de la pente. Les valeurs résultantes, sont réparties entre 1 et 28 (fig.5).

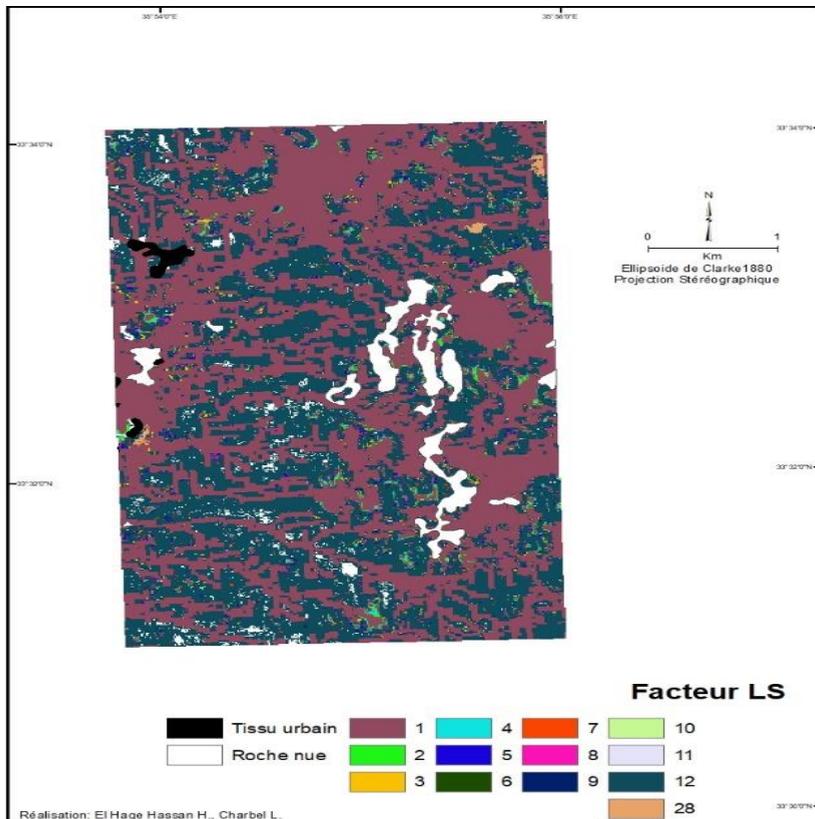


Figure 5 : Détermination des valeurs LS

4 Les Résultats

Le modèle exposé dans cette étude, rassemble les éléments de l'équation USLE (R, K, LS, C, P). La combinaison de ces éléments ont rendu le SIG indispensable pour estimer les pertes de sols pour chaque pixel. Quatre classes de perte en sol ont été retenues. Selon la carte de synthèse, le taux de perte en sol varie d'une zone à l'autre selon l'impact des facteurs déterminants l'érosion.

Les quantités de perte varient entre 0 et des taux supérieurs à 200t/ha/an. L'intensité des précipitations, les pentes fortes et le déboisement ont soumis 47% de secteur d'étude à des pertes en terre supérieur à 400t/ha/an de matériaux. 47,5% de la région d'étude subit des pertes qui varient de 100 à 200 t/ha/an. Ces pertes sont associées aux pentes moins fortes couvertes d'une végétation plus protectrices que les secteurs précédents. Sur les pentes moins raides et sur les replats, les pertes ont été estimées entre 50 et 100 t/ha/an (4%). Pour les pentes concaves, où le couvert végétal assure une protection au sol, les pertes sont inférieures à 50 t/ha/an. Ces surfaces ne dépassent pas les 2% de la surface totale. Cependant, la validation des valeurs quantitatives est basée sur la réponse spectrale des zones érodées (indice de brillance en utilisant l'image satellitaire de haute résolution spatiale Ikonos (1 m), qui révèle une précision globale du traitement de l'ordre de 80 % (fig.6).

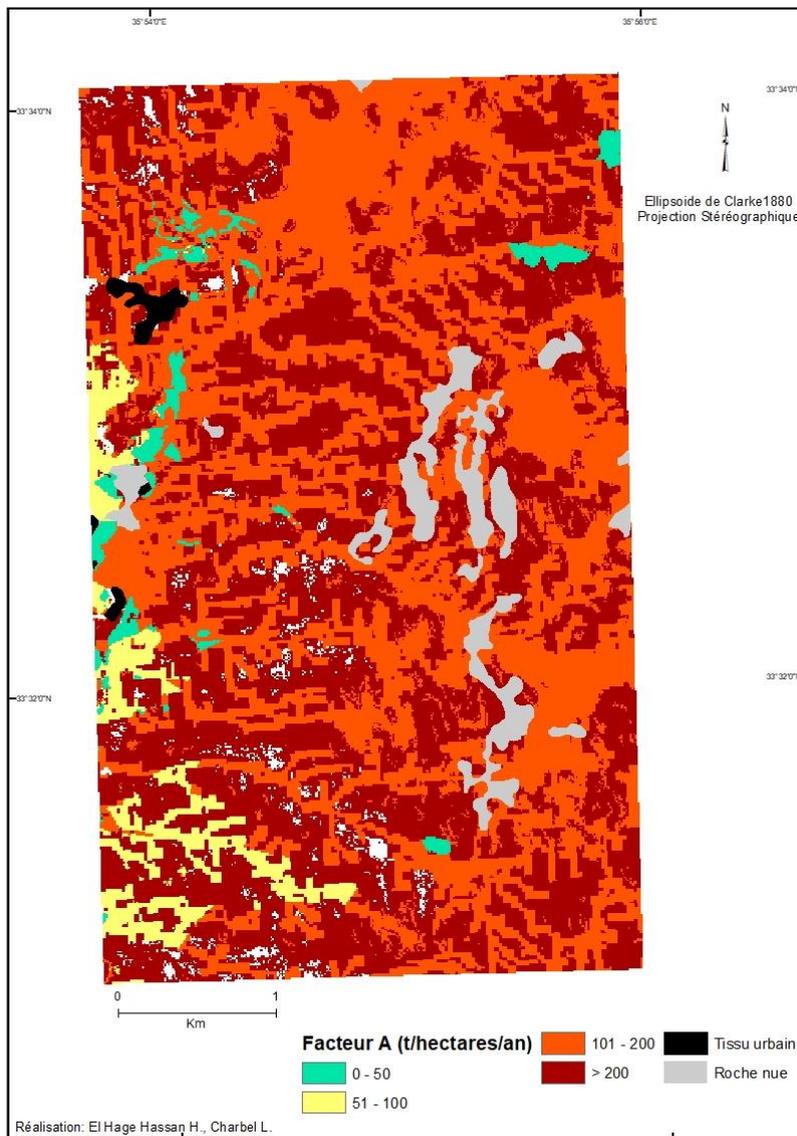


Figure 6 : Carte des pertes en terre

5 Conclusion

La sensibilité des sols à l'érosion dépend des sols, des saisons et des techniques culturales. L'étude menée à Kfar Qouq souligne l'impact combiné des facteurs naturels et des activités humaines sur la

dynamique érosive. La carte de synthèse met en évidence la quantité élevée de pertes en terre. USLE, a permis de cartographier les surfaces affectées par l'érosion en nappe. Pour la première fois au Liban, le modèle USLE a été appliqué pour quantifier l'érosion hydrique. Cela nous a permis de délimiter les secteurs érodés et d'établir des estimations chiffrées des pertes en terres. Malgré les avantages d'USLE, ce modèle ne permet pas d'estimer les pertes à l'échelle des averses. De même ce modèle, qui s'applique sur les pentes inférieures à 20%, néglige les secteurs de dépôt de sédiments. En revanche, ce modèle permet aux décideurs d'envisager des stratégies d'intervention dans le cadre du développement durable. Les efforts devraient porter sur la restauration des versants et l'instauration des techniques agricoles protectrices pour le sol. Enfin, la mise en œuvre du modèle USLE réclame un suivi au fil des années. Des études en station doivent être conçues pour faire des comparaisons entre les valeurs estimées des pertes et les valeurs mesurées sur le terrain.

Bibliographie

1. Arnoldus H.M.J. (1980): *An approximation of the rainfall factor in the USLE*. In: Assessment of erosion in USA and Europe, M. de Boodt et D.Gabriels édit. Édit. John Wiley, Chichester (Angleterre), p. 127-132.
2. Boukheir. R., Girardm. C., Shaban.A., Khawlie.M., Faour.G., Darwish.T. (2001) : Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban». Télédétection, vol. 2, n° 2, p. 79-90.
3. Brown, R.B.(2003) : *Soil Texture, Soil and Water Science* Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Fact Sheet SL29, 8 p.
4. Casenave A. et Valentin C. (1989) : *Les états de surface du sol dans la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration*. ORSTOM Paris, 229 p.
5. Cerdan O., Le Bissonnais Y., Souchère V., King C., Antoni V., Surdyk N., Dubus I., Arrouays D. et Desprats J.F. (2006) : *Guide méthodologique pour un zonage départemental de l'érosion des sols. Rapport numéro 3 : Synthèse et recommandations générales*. Rapport BRGM-RP-55104-FR, Orléans, 85 p.
6. Charbel L., El Hage Hassan H. (2017) : Modélisation de la perte de sol dans la forêt de Bkassine (Liban sud). Geo-Eco-Trop., 2017, 41, 31, n.s. 479-492.
7. Darwish T., Khawlie M., Jomaa I., Abou Daher M., Awad M., Masri T., Shaban A., Faour G., Bou Kheir R., ABDALLAH C. et Haddad T. (2006) : *Soil map of Lebanon 1/50000*. Édit. CNRS-Lebanon, Monograph Series 4, Liban, 367 p.
8. Dubertret L. et Wetzeln. (1951) : *Carte géologique au 1/50000. Feuille de Rachaya et Zebadani au 50000^e*. Ministère des Travaux Publics, Beyrouth, avec notice (sous la direction de L. Dubertret), 56 p. + 12 planches photographiques.
9. Duchaufour P. (1970) : *Précis de pédologie*. Paris: Masson, 481 p.
10. El Garouani A., Chen A., Lewis L., Tribak A., Abharour M (2008) : *Cartographie de l'utilisation du sol et de l'érosion nette à partir d'images satellitaires et du sig idrisi au nord-est du Maroc*. *Télédétection*, Editions scientifiques GB, 8 (3), pp.193-201.

11. Elgarouani A., Merzouk A., Jabrane R. et Boussema M.R. (2005) : Analyse spatiale de l'érosion en nappe et de l'infiltrabilité des sols dans le Pré-Rif marocain. Télédétection, vol. 5, n° 1-2-3, p. 69-80.
12. El Hage Hassan H., Charbel L., Touchart L. (2018 a) : Modélisation de l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant du Mhaydssé. Békaa-Liban, Vertigo. La revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Volume 18 numéro 1 | mai 2018.
13. El Hage Hassan H., Charbel L., Touchart L. (2018 b) : Modélisation et cartographie du risque érosif à Rachaya (Liban). Photo-Interprétation. European Journal of Applied Remote Sensing, Editions Eska, 2018, 54 (1), pp.16-27.
14. El Hage Hassan H., Touchart L., ArdillieR Carras F., Faour G. (2016) : Lutte contre l'érosion et aménagement agricole dans la plaine de la Békaa (Liban).M@ppemonde 117 (2015.1). 17p.
15. El Hage Hassan H., Charbel L., Touchart L. (2015) : Cartographie des conditions de l'érosion hydrique des sols au Mont-Liban : exemple de la région d'El Aaqouira », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 9, p. 141-156. DOI : 10.4000/physio-geo.4572.
16. El Hage Hassan H., Touchart L., Faour G. (2013) : La sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique dans l'ouest de la Békaa au Liban.M@ppemonde 109 (2013.1). 17p.
17. El Hage Hassan H. (2011) : Les Apports d'un SIG dans la connaissance des évolutions de l'occupation du sol et de la limitation du risque érosif dans la plaine de la Békaa (Liban). Exemple d'un secteur du Békaa el Gharbi. Orléans: Université d'Orléans, thèse de doctorat en géographie, 381 p.
18. El Hage Hassan H., Valadas B., Faour G. (2009) : Apports d'une méthode SIG et de la télédétection pour l'étude de la limitation du risque érosif des terres agricoles. Actes du congrès «Geotunis», Tunis, 16-20 décembre.
19. Fournier.F. (1960) : Climat et érosion. Édit. Presses Universitaires de France, Paris, 201 p.DOI : 10.1097/00010694-196108000-00029.
20. HEUSCH.B. (1970) : L'érosion du Pré-Rif (Maroc). Annales de la Recherche Forestière au Maroc, vol. 12, p. 1-176.
21. Kalman, R. (1970) : Ruissellement et érosion en nappe (Expérimentation au simulateur de pluie), Agriculture and Food (OMAFRA), [En ligne] URL : <http://www.giser.be/wp->

- content/uploads/2012/05/Annales de la Recherche Forestière au Maroc, vol. 12, Rabat, pp. 177-287.
22. Le Bissonnais Y., Thorette J., Bardet C. et Daroussin J. (2002) : *L'érosion hydrique des sols en France*. Rapport IFEN, INRA. 106p.
 23. Morschel, J. et D. Fox. (2004) : *Une méthode de cartographie du risque érosif : application aux collines du Terrefort Lauragais*. M@ppemonde, n° .76, 11 p, [En ligne] URL : <http://mappemonde.mgm.fr/num4/articles/art04404.pdf>.
 24. MTPT (1977) : *Atlas climatique du Liban. Tome I : Pluie, température, pression, nébulosité*. Édit. Ministère des Travaux Publics et des Transports, Service Météorologique, Beyrouth (Liban), 45 p. + planches (50 p.).
 25. Payet E., Dumas P. et Pennober G. (2012) : *Modélisation de l'érosion hydrique des sols sur un bassin versant du sud-ouest de Madagascar, le Fiherenana* », Vertigo Volume 11 Numéro 3 | décembre 2011. 24 p.
 26. Renard, K.G. et J.R. Freimund. (1994): *Using monthly precipitation data to estimate the R factor in therevised USLE*, Journal of Hydrology, n° .157, pp. 287-306.
 27. Roose.É., Sabirm., Arabi M., Morsli B. et Mazour M. (2012) : *Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb*. Physio-Géo [En ligne], Volume 6 ; DOI : 10.4000/physio-geo.2319. p. 43-69.
 28. Roose E. (1996) : *Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés de montagnes*. Réseau Erosion Bull. Montpellier : ORSTOM, 16: 87-97.
 29. Roose É. (1994) : *Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)*. Bulletin pédologique de la FAO, vol. 70, Rome (Italie), 420p.
 30. Roose.É. (1977) : *Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest, vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales*. Édit. ORSTOM, collection "Travaux et documents", Paris, 108 p.
 31. Rooseé. et Denonig. (2004) : *Recherches sur l'érosion hydrique en Afrique*. Revue et perspectives.Sécheresse, vol. 15, n°1, p. 121-129.
 32. Sadiki A., Bouhlassa S., Auajjar J., Faleh A et 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, n°26, p. 69-79.
33. Sadiki A., Faleh A., Zezere J.L. et Mastass H. (2009) : Quantification de l'érosion en nappe dans le bassin versant de l'oued Sahla Rif Central Maroc. Cahiers Géographiques n°6.12p.
34. Stone, R.P. ET D. Hillborn. (2000): *Universal Soil Loss Equation.* Ontario, Canada. Ontario Ministry of USLE-infosCanada.pdf.
35. USFS (2010): *Lebanon Reforestation Initiative (LRI).* Office of International Programs (IP) through the support and funding of the United States Agency for International Development (USAID).
36. Veyret Y. (2005): *La France. Milieux physique et environnement.* Armand Colin, Paris, 192p.
37. Wischmeierw.H. & SMITH D.D. (1978): *Predicting rainfall erosion losses.A guide to conservation planning.* Édit. US Department of Agriculture, Agriculture Handbook, vol. 537, 58p.
38. Wischmeierw.H. & Johnson C.B. & Cross B.U. (1971): A soil erosion erodibility monograph for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation, vol.26, n°5, p. 189-192.