



HAL
open science

Quantification De L'érosion Hydrique En Utilisant Le Modèle Rusle Et Déposition Intégrée Dans Un Sig. Cas Du Bassin Versant De L'oued Isly (Maroc Oriental)

El Hafid Driss, Akdim Brahim

► **To cite this version:**

El Hafid Driss, Akdim Brahim. Quantification De L'érosion Hydrique En Utilisant Le Modèle Rusle Et Déposition Intégrée Dans Un Sig. Cas Du Bassin Versant De L'oued Isly (Maroc Oriental). *European Scientific Journal*, 2018, 14 (5), pp.1857 - 7881. 10.19044/esj.2018.v14n5p373 . hal-01773206

HAL Id: hal-01773206

<https://hal.science/hal-01773206>

Submitted on 21 Apr 2018

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.

Quantification De L'érosion Hydrique En Utilisant Le Modèle Rusle Et Déposition Intégrée Dans Un Sig. Cas Du Bassin Versant De L'oued Isly (Maroc Oriental)

El Hafid Driss

Centre Régional des Métiers de l'Éducation et Formation – Oujda, Morocco

Akdim Brahim

Laboratoire d'Analyses Geo-Environnementales et d'Aménagement,
USMBA, Fès, Morocco

Doi: 10.19044/esj.2018.v14n5p373 [URL:http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n5p373](http://dx.doi.org/10.19044/esj.2018.v14n5p373)

Abstract

In Morocco, hydric erosion is the main factor in soil degradation. It is a dynamic and very complex phenomenon, linked to natural and anthropic factors that are difficult to control in time and space. Land degradation has visible impacts on the environment and hinders economic and social development. The consequences of erosion, both upstream and downstream of watersheds, are costly for the Moroccan economy.

The Oued Isly watershed is an elongated mountain basin with an area of 1312km². It is part of eastern Morocco. It is located in the south of Oujda city. Wadi Isly is characterized by irregular flow. Its flow increases during the winter and early spring. Extreme flows are recorded after exceptional and very intense rain in the Touissit and Guenfouda mountains. The watershed of Wadi Isly knows currently a very active erosive dynamic that affects all the slopes on both banks of the Oued Isly. Several factors contribute to the processes of soil degradation, such as climatic aggression and anthropogenic action.

The objective of this study is to estimate soil losses at the Wadi Isly watershed by the application of the universal soil loss equation (USLE) and the use of GIS and Remote sensing. This study also aims to discuss the amplifying factors of the erosive phenomenon in this semi-arid environment.

Keywords: Watershed, water erosion, GIS, Isly, Morocco

Résumé

Au Maroc, l'érosion hydrique constitue le principal facteur de la dégradation des sols. C'est un phénomène dynamique et très complexe, lié à

des facteurs naturels et anthropiques difficilement maîtrisables dans le temps et l'espace. La dégradation des sols a des effets visibles sur l'environnement et entrave le développement économique et social. Les conséquences de l'érosion, aussi bien en amont qu'en aval des bassins versants sont coûteuses pour l'économie marocaine.

Le bassin versant de l'oued Isly est un bassin montagnard allongé d'une superficie de 1312 km². Il fait partie du Maroc oriental. Il est situé au sud de la ville d'Oujda. L'oued Isly est caractérisé par un écoulement irrégulier. Son débit augmente au cours de l'hiver et le début du printemps. Des débits extrêmes sont enregistrés après des averses exceptionnelles et très intenses dans les montagnes de Touissit et Guenfouda. Le bassin versant de l'oued Isly connaît à l'heure actuelle une dynamique érosive très active qui touche la totalité des versants sur les deux rives de l'oued Isly. Plusieurs facteurs contribuent aux processus de la dégradation du sol, tel que l'agressivité climatique et l'action anthropique.

L'objectif de la présente étude est d'estimer les pertes en sol au niveau du bassin versant de l'oued Isly par l'application de l'équation universelle de la perte de sol (USLE) et l'utilisation du SIG et de la télédétection. Cette étude vise aussi à discuter les facteurs amplificateurs du phénomène érosif dans ce milieu semi-aride.

Mots-clés : Bassin, l'érosion hydrique, SIG, oued Isly, Maroc

Introduction

L'érosion hydrique constitue la première cause de la dégradation des sols au Maroc. Elle représente un risque naturel multidimensionnel et un défi environnemental de l'écosystème. Elle est parmi les phénomènes les plus préoccupants pour l'aménagement des bassins versants. Ce phénomène est très complexe ; il est lié à des facteurs naturels et anthropiques difficilement maîtrisables dans le temps et l'espace. Certaines régions du Maroc, souffrent de l'érosion hydrique en périodes d'averses et de pluies torrentielles, qui touchent la couche arable ou de surface. L'envasement des barrages devient alarmant car plus de 75 millions de mètres cubes des capacités des barrages sont perdues chaque année (MATEE, 2007). Le problème d'érosion hydrique au Maroc a fait l'objet de nombreuses études (Rahhou, 1999; Al Karkouri, 2003; Sadiki et al., 2004 ; Faleh, 2004; El Garouani, 2008 ; Abahrour, 2009, Tribak et al., 2009 ; Sbai et Kaouass, 2011 ; Elhafid et al., 2012; Markhi et al., 2015, Briak et al., 2016; Farris et al., 2016; Iaaich et al., 2016).

L'érosion hydrique est très active dans le bassin versant d'Oued Isly. Les facteurs contribuant aux processus de la dégradation des sols dans cette région semi-aride sont d'ordres physiques et anthropiques. La présente étude met en évidence l'aspect quantitatif et qualitatif des pertes en sols dans ce

bassin, à travers le modèle RUSLE (équation Universelle Révisée de Perte en Sol) dont les paramètres ont été essentiellement estimés par l'utilisation des SIG et des images de la télédétection. Cette méthodologie a permis d'établir la carte des zones vulnérables à l'érosion, de reconnaître les facteurs initiateurs du risque d'érosion à l'échelle du bassin versant de l'Oued Isly et discuter leurs paramètres explicatifs et les incidences pratiques des processus en cours.

Aire d'étude et méthodologie

Présentation de la Zone d'étude

Le bassin versant de l'oued Isly se rattache géographiquement au Maroc Oriental. Il est allongé entre les provinces de Jerada et Oujda. Ce bassin montagnard recouvre une superficie de 1312 km² avec un réseau hydrographique d'une densité de 1,35 km/km². Sur le plan topographique, le bassin comporte la partie Nord-Est de la chaîne de Jerada (les monts de Zekkara et de Touissit-Sidi Bou Beker) et la plaine de Guenfouda. Les altitudes varient de 570 à 1660 mètres et les pentes varient de 0 % à 57 %. La lithologie du bassin versant de l'oued Isly est essentiellement calcaire et calcaire-dolomitique avec des roches volcaniques récentes au SW d'Oujda vers Guenfouda. L'oued Isly traverse par un véritable couloir rétréci cette zone basaltique qui, vers le NW s'accroche aux chaînons jurassiques des Jbels Harraza et Mégrez (Laouina, 1978).

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques du bassin versant de l'oued Isly

Superficie du BV	1312 km ²
Périmètre du BV	169 km
Longueur total des cours d'eau	966,5 km
Coefficient K = S/P	7,76
Densité de drainage	1,35 km/km ²
Superficie de végétation	561 km ²

L'oued Isly qui traverse le périmètre urbain de la ville d'Oujda, est un affluent de l'oued Mouilah, lui-même affluent de l'oued Tafna en Algérie. Le régime hydrologique connaît globalement un écoulement pérenne en amont et un écoulement saisonnier et épisodique en aval. Le débit de l'oued Isly augmente en hiver et au début du printemps avec un débit moyen annuel qui ne dépasse pas 0,2m³/s à la station de Guenfouda. Son écoulement est marqué par des crues exceptionnelles et violentes qui provoquent des inondations catastrophiques. C'est le cas par exemple le 27 septembre 2005 (850 m³/s à la station de Guenfouda et 1040 m³/s à Oujda), ce qui menace la zone ouest de la ville d'Oujda.

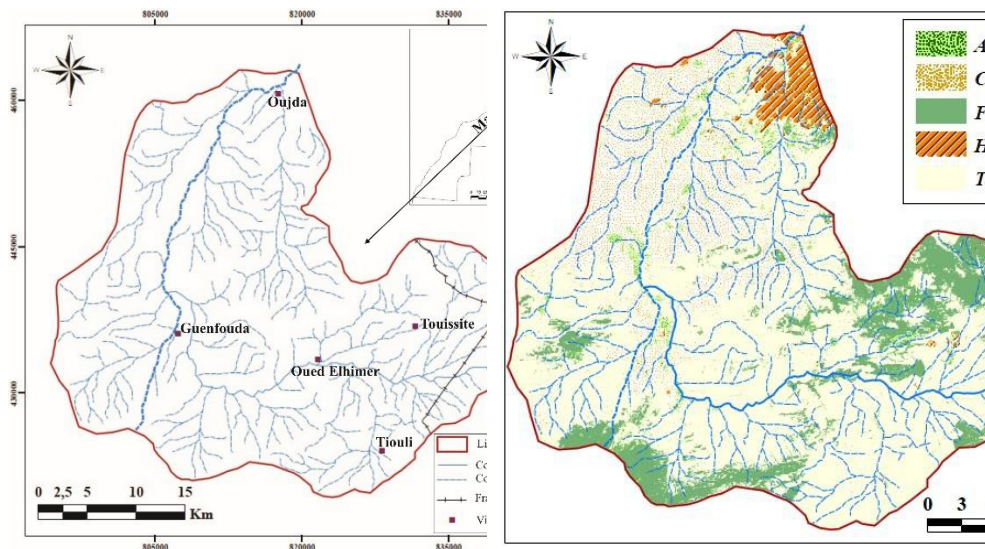


Figure 1 : Bassin versant de l’oued Isly

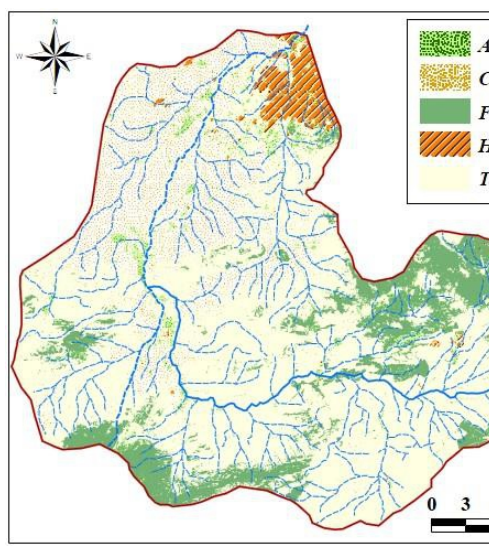


Figure 2 : Occupation du sol

Le climat est de type méditerranéen semi-aride. La moyenne annuelle des précipitations dans le bassin de l’oued Isly varie entre 310 mm à Oujda et 200 mm à Guenfouda. Le nombre de jours de pluie est en moyenne de 55j/an, avec des minima en juillet et août et des maxima en novembre, décembre et janvier. La concentration des précipitations est une caractéristique du climat de la région. Une forte proportion des précipitations annuelles peut tomber en quelques jours. Cette concentration pluviométrique déclenche souvent des crues violentes (Elhafid et al, 2004).

Le couvert végétal est bien dégradé au milieu et en aval du bassin et assez dense en amont sur les monts de Touissit et Jerada (Fig. 2). Il est constitué par des parcours et des arbres forestiers tels que le chêne vert, le thuya, le pin, le romarin, l’oléastre...

Les habitants ruraux du bassin d’Isly pratiquent une agriculture traditionnelle basée surtout sur la céréaliculture, l’arboriculture et le pâturage. Ils font aussi des travaux d’extractions minières dans les gisements de Touissit et Sidi Boubker et la contrebande à travers la frontière algéro-marocaine.

Méthodologie

La formule empirique de Wischmeier et Smith (1978) permet d’estimer le taux de perte en sol (USLE). Elle est le modèle mathématique combiné avec les techniques de SIG, utilisé souvent dans le monde pour quantifier les pertes en sol. Cette équation est basée sur de très nombreuses expérimentations sur parcelles agricoles aux USA. Elle se base sur 5 facteurs explicatifs de l’érosion hydrique. Ces facteurs sont l’agressivité climatique, l’érodabilité des sols, le facteur topographique intégrant la pente et la longueur

de pente, l'occupation des sols et les pratiques anti-érosives. Cette équation s'écrit :

$$A_{(t/ha/an)} = R * K * LS * C * P$$

- $A_{(t/ha/an)}$: Perte en sol par unité de surface et par an,
- R : Indice de pluie caractérisant l'agressivité climatique,
- K : Facteur d'érodabilité du sol,
- LS : indice combinant l'effet de la longueur L de parcelle et de la pente S ,
- C : Indice des pratiques culturales,
- P : Indice d'aménagement anti-érosif.

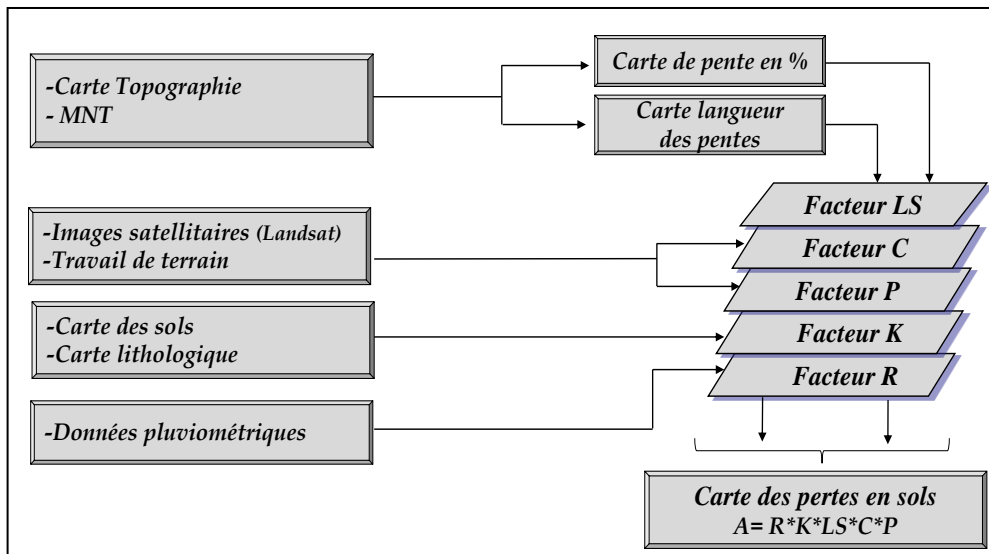


Figure 3 : Méthodologie adoptée

L'organigramme au-dessus (Fig. 3) présente la méthodologie adoptée pour estimer et cartographier l'érosion potentielle. Elle vise à élaborer, à l'échelle du bassin versant de l'oued Isly, une carte des pertes en sol. Cette carte prend en considération la plupart des facteurs figurant dans l'équation de Wischmeier et Smith (1978), eux même exprimés sous forme de cartes thématiques. Le croisement de ces cartes numériques à l'aide du SIG nous a permis d'estimer le taux des pertes en sol à l'échelle du bassin versant d'Isly.

Détermination des paramètres du modèle de Wischmeier et Smith Agressivité des précipitations (R)

Le R est un indice d'érosivité des pluies. Il caractérise le pouvoir érosif par l'intensité de la pluie ; Plus la pluie est intense et plus elle dure longtemps, plus elle endommage le sol. Arnoldus (1980) a développé une formule empirique qui n'implique que les pluies mensuelles et annuelles pour estimer le facteur R. Ce choix relève de la nature des données des précipitations

mensuelles disponibles dans les stations pluviométriques d'Oujda, Touissit et Guenfouda. Le facteur R s'exprime comme suit :

$$\text{Log } R = 1,74 * \log \Sigma(P_i^2/P) + 1,29$$

P_i: les précipitations mensuelles en mm

P: les précipitations annuelles en mm.

Les valeurs de R qui sont synthétisées à partir de la spatialisation des données pluviométriques à l'échelle du bassin versant de l'oued Isly (fig. 4) varient entre 44 et 56. Ces valeurs restent faibles par rapport à celles obtenues dans le Rif et le pré-rif et qui varient de 43 à 194 (Le Landis et al., 1995, Rahhou, 1999, Dhman et al., 1997 ; Sadiki et al., 2004, Tribak et al., 2009).

Erodabilité des sols (K)

L'érodabilité du sol K détermine la résistance des différents types de sols à l'érosion. Certains sols sont plus sensibles à l'érosion hydrique. Le facteur K est déterminé en fonction de certaines caractéristiques des sols qui sont : la texture, la présence de la matière organique, la perméabilité et la profondeur. Ils sont calculés selon la formule suivante :

$$k = [2,1 * 10^{-4} * (12 - MO) M^{1,14} + 3,25 * (S-2) + 2,5 * (P-3)] / 100$$

K : le facteur d'érodabilité

M : (% sable fin + % limon) (100 - % argiles)

MO : le pourcentage de matière organique

S : le code de structure

P : la classe des perméabilités

Tableau 1. Les valeurs du facteur K par type des sols

Type de sol	Facteur K
Sol forestier Rouge	0,45
Sol forestier Brun	0,23
Sol châtain érodé	0,50
Sol rouge encroûté	0,34

Les résultats obtenus du facteur K permettent de déterminer le degré de sensibilité des sols à l'érosion hydrique. Ils sont présentés sur le tableau 1 et montrent que les valeurs calculées varient de 0,23 t/ha/an pour les sols les plus résistants à 0,50 t/ha/an pour les sols les plus érodables.

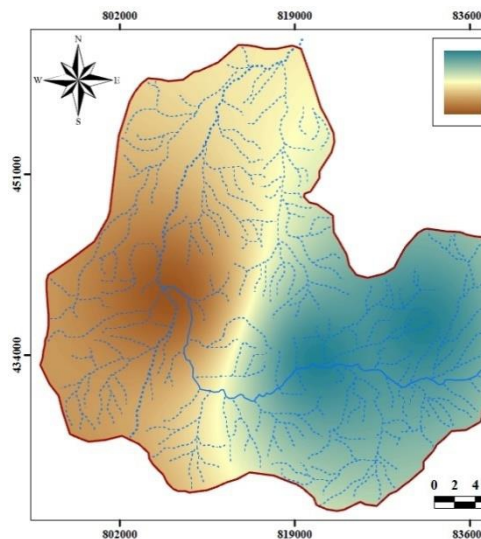


Figure 4 : Carte d'indice d'agressivité des pluies dans le Bassin de l'oued Isly

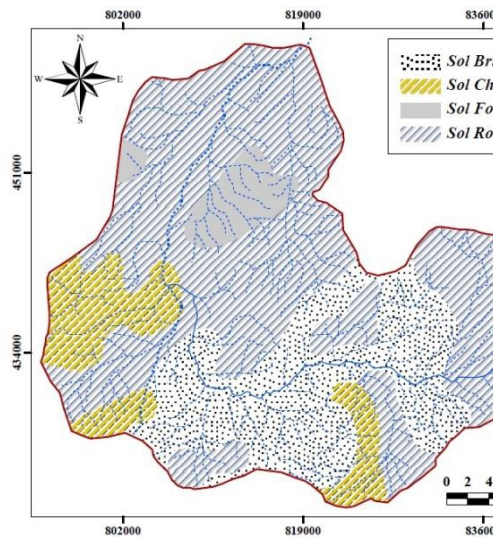


Figure 5 : Types de sols dans le Bassin de l'oued Isly

Facteur topographique (LS)

Le facteur LS est un indice topographique qui représente la morphologie du terrain. Il est calculé à partir du Modèle Numérique du Terrain (MNT) par superposition des cartes des longueurs des pentes et les gradients de pentes. La pente a une influence importante sur le processus de l'érosion hydrique. Elle aggrave l'effet du ruissellement des eaux de pluie. Les résultats obtenus pour LS varient entre 0,07 à 192,73. Les valeurs les plus fortes se localisent dans la partie amont du bassin de l'oued Isly et sur les collines avec des pentes très élevées (fig. 6). Les valeurs qui sont considérées faibles sont attribuées dans la plaine des Angad, aux dépressions et dans les lits du cours d'eau.

Occupation des sols (C)

Le facteur C est utilisé pour déterminer la densité du couvert végétal, l'efficacité relative à des principaux systèmes cultureux et la gestion des sols. Pour pouvoir évaluer les différentes unités de la couverture végétale à l'échelle du bassin de l'oued Isly, il est nécessaire d'établir une carte d'occupation des sols à partir d'un travail de terrain et de l'utilisation des données des images satellitales Landsat (2015). Les valeurs de C varient entre 1 pour une jachère nue et 0,001 pour un sol complètement couvert (Wischmeier et Smith 1978). Dans le bassin de l'oued Isly, on distingue quatre types d'occupation des sols (Tabl. 2).

Tableau 2. Les valeurs du facteur C par type des sols

Types d'occupation du sol	Facteur C
Forêt	0,08
Céréaliculture	0,28
Arboriculture	0,25
Terrains Nus	0,75

Les valeurs du facteur C varient entre 0,08 pour les terrains où existe la couverture végétale; 0,25 pour l'arboriculture; 0,28 pour la céréaliculture et les cultures annuelles et 0,75 pour les terrains nus (Fig. 7).

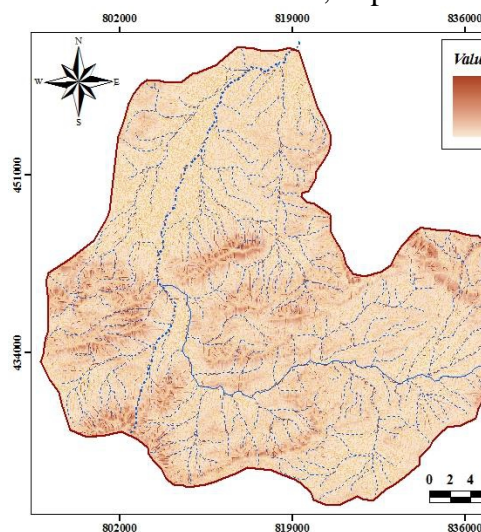


Figure 6 : Carte du facteur topographique (LS) du bassin de l'oued Isly

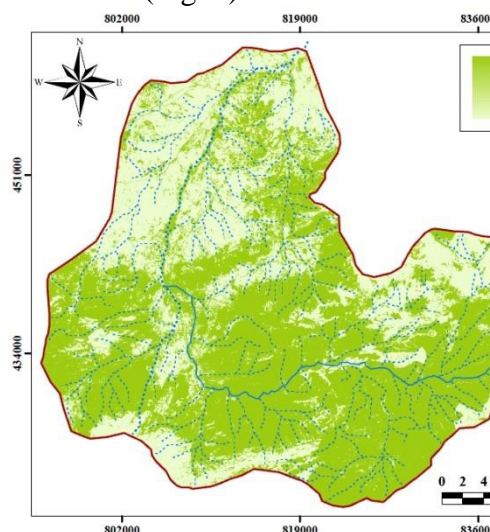


Figure 7 : Occupation du sol

Pratiques anti-érosives (P)

Le facteur P représente la protection du sol et les pratiques antiérosives réduisant la vitesse de ruissellement et diminuant ainsi le risque de l'érosion hydrique. Il varie en fonction des aménagements effectués. Dans le cas du bassin de l'oued Isly, les valeurs de ce facteur varient généralement entre 0,5 dans les zones aménagés et protégés et 1 où la protection et l'aménagement des sols et des versants sont presque absents.

Résultats et discussion

L'application de l'équation de Wischmeier et Smith (1978) dans le bassin versant de l'oued Isly a permis d'estimer les pertes en sols et de cartographier l'érosion potentielle. Cela a été fait par le croisement des différents facteurs du modèle USLE (Equation Universelle Révisée de Perte en Sol) par l'utilisation des outils de spatialisation du système d'information géographique (SIG) et de télédétection. Ceci nous a permis d'élaborer une

carte des pertes en sols spatialisée dans le bassin versant de l’oued Isly (Fig. 8).

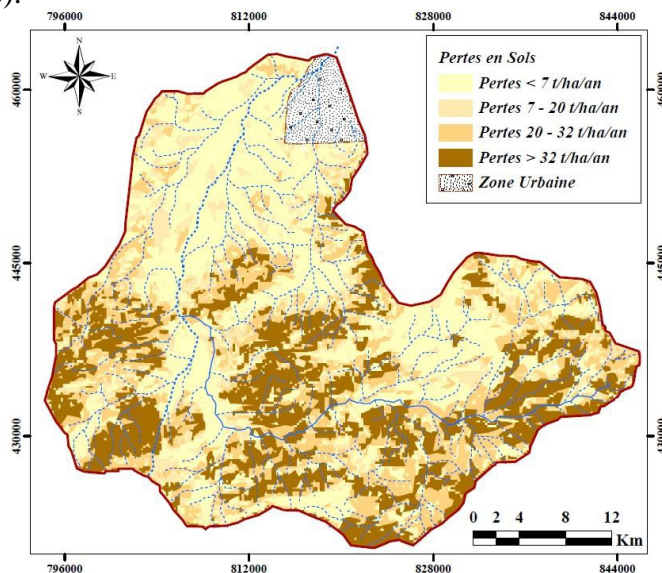


Figure 8 : Carte des pertes en sols dans le Bassin de l’oued Isly

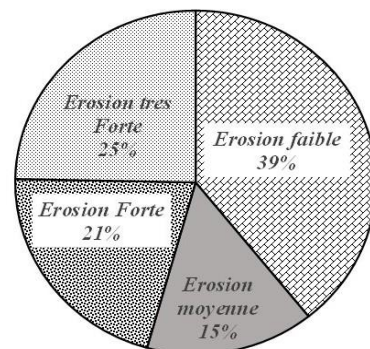


Figure 9 : Répartition des classes d’érosion dans le bassin de l’oued Isly

La méthodologie utilisée a permis, à la fin, d’établir la carte du risque d’érosion. Elle montre que les pertes totales annuelles du bassin versant de l’oued Isly sont de 28575 t/an et la perte en sol est en moyenne de 21,78 t/ha/an. Les pertes varient de 1,03 t/ha/an à 64,3 t/ha/an. Le taux de l’érosion calculé par le modèle USLE Wischmeier et Smith (1978), permet de connaître la répartition du risque érosif. Il varie d’une zone à l’autre du bassin versant selon l’influence des différents facteurs explicatifs qui contrôlent l’érosion qui sont la pente, l’agressivité climatique, le type et le taux du couvert végétal et l’action anthropique. L’analyse des résultats des pertes en sols annuelles figurent sur la carte (Fig 8). Ils montrent que les zones à grands risques érosifs se localisent sur les collines et les versants caractérisés par des pentes fortes et des substrats favorables. Elles représentent 46% de la surface du bassin de l’Oued Isly. Les terrains faiblement sensibles à l’érosion y représentent 39% (Fig. 9).

Les valeurs calculées par le modèle empirique d’évaluation des pertes en sol (USLE) de Wischmeier & Smith (1978) sont sujettes à discussion, mais la méthode est parmi les outils d’aide à la décision des aménageurs, car elle permet de simuler des scénarios de protection et de conservation des sols pour planifier les interventions de lutte contre l’érosion, surtout sur les versants où l’érosion hydrique est prédominante (El Hafid et al. 2012).

Ce modèle empirique n’évalue que les pertes en sol causées par l’érosion de surface. Il présente plusieurs limites et a été critiqué, car il a été

élaboré dans un contexte différent du nôtre. Malgré ces imperfections, il reste un outil de gestion et d'aménagement pour les décideurs. Ces limites doivent être considérées et adaptées en intégrant les SIG qui permettent d'une part, de quantifier les pertes annuelles en sols et d'autre part, de cartographier les zones à risque érosif qui nécessitant les stratégies d'intervention pour la protection du sol et de diminuer l'envasement de certains barrages collinaires. Les vérifications du terrain restent dans tous les cas fondamentales dans ce type d'approche.

Conclusion

L'étude présente les résultats d'un travail cartographique basé sur le croisement par superposition des cartes des principaux facteurs de l'équation universelle de pertes en sols (USLE) de Wischmeier et Smith (1978) par l'utilisation du SIG pour élaborer une carte du risque d'érosion hydrique. Les résultats de cette méthode ont permis de ressortir que le risque érosif est présent et visible dans l'ensemble du bassin de l'oued Isly. Ils illustrent une spatialisation logique, en relation avec plusieurs facteurs, dont essentiellement le relief et le type de substrat. En amont du bassin, les collines et les versants subissent une érosion plus forte alors que l'érosion réduite s'observe dans les vallées alluviales. La dégradation des sols dans le bassin de l'oued Isly a des effets visibles sur l'environnement (envasement total du barrage collinaire de Mestferki) et des conséquences socio-économiques négatives.

References:

1. **Abahror, M., 2009.** Évaluation quantitative de l'érosion hydrique dans le bassin du Prérif oriental : cas de l'oued Tlate. Thèse Doctorat en géographie. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah. Fès. 291 p.
2. **Al Karkouri J., 2003.** Dégradation du milieu naturel dans le bassin versant de Béni Boufrah (Rif central-Maroc): analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et de modélisation spatiale. Thèse de doctorat d'État. UM5, Rabat, 392p.
3. **Arnoldus H.J., 1980.** Methodology used to determine the maximum potential average soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, Bulletin F.A.O, 34p.
4. **Briak H., Moussadek R., Aboumaria Kh., Mrabet R., 2016.** Assessing sediment yield in Kalaya gauged watershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model. International Soil and Water Conservation Research, 2.3: 177–185.
5. **Chaker M., El Abassi H. et Laouina A., 1996.** Montagne, piedmont, plaine : investir dans les techniques traditionnelles de CES au Maroc oriental. In C. R., Eiji I. Scoones Et P. T Oulmin (édit.). Techniques

- traditionnelles de conservation de l'eau et des sols en Afrique. CTA – OCDCE, Karthala, pp. 75-86.
6. **Dhman L., Merzouk A., Sabir M. & Fenjiro I., 1997.** Cartographie des pertes en terre dues à l'érosion hydrique par utilisation d'un système d'information géographique et des images satellites. Cas du bassin versant de Telata. Atelier de travail sur la modélisation de l'érosion hydrique par « RUSLE ». Marrakech, 24-28 mars 1997, 52-65.
 7. **El Garouani, A. Chen, H. Lewis, L. Tribak, A et Abahrour, 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. Revue Télédétection, vol. 8, n° 3, pp 193-201.
 8. **Elhafid D., Akdim B. et Gilles E., 2004.** Echelle spatiale et genèse des risques hydrologiques en milieu urbain et péri-urbain : cas de la ville d'Oujda, Geomagreb, 2 : 1-10.
 9. **Elhafid, D. Julia, R et Akdim, B., 2012.** Erosion, aménagement et risque hydrologique dans le bassin versant de l'oued Sidi Yahya (Oujda, Maroc). Revue Géographie du Maroc N° 27, pp 79-90.
 10. **Elhafid, D et Akdim, B., 2015.** Quantification de l'érosion à l'échelle du bassin versant de Sidi Yahya (Maroc oriental). Actes du Colloque international «Géomatique et gestion des risques naturels». Oujda. 6–8 mars 2012. P 435 - 444.
 11. **Faleh, A., 2004.** Évaluation quantitative, qualitative et modulation de l'érosion hydrique dans le bassin d'Aknoul et Mergat (Prérief Orientale). Thèse doctorat d'état en géographie. Université Mohammed 1er Oujda. 375p (en arabe).
 12. **Farris A.Y. Okoua, Brice Tente, Yvonne Bachmann, Brice Sinsina, 2016.** Regional erosion risk mapping for decision support: A case study from West Africa. Land Use Policy 56 27–37.
 13. **Florsheim J.L., Pellerin B.A., Ohara N., Bachand P.A.M., Bachand S.M., Bergamaschi B.A., Hernes P.J. and Kavvas M.L., 2011.** From deposition to erosion: Spatial and temporal variability of sediment sources, storage, and transport in a small agricultural watershed. Geomorphology, 132: 272–286
 14. **Gartet A., El Fengour M., Gartet J. et Conesa G.C., 2009.** Dégradation de la qualité des eaux du barrage Sahla: traitement et gestion des risques de pollution (Province de Taounate, Rif – Maroc septentrional). Papeles de Geografia (Murcia), 49-50: 41-54.
 15. **Iaich H., Moussadek R., Baghdad B., Mrabet R, Douaik A., Derradji A., Bouabdli A., 2016.** Soil erodibility mapping using three approaches in the Tangiers province –Northern Morocco. International Soil and Water Conservation Research, 4, 3: 159–167

16. **Lahlou, A. 1986.** Envasement des barrages au Maroc. Edit Belvedere. Casablanca. 286 p.
17. **Le Landais F. & Fabre G. 1975.** Plan d'aménagement anti-érosif du bassin versant de l'oued Ouergha en amont du barrage El Ouahda. Rapport inédit, Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des Sols.
18. **Laouina, A., 1978.** Observation sur les dépôts de géomorphologie de la région d'Oujda Rev. Geogr- Maroc N°2 Nouvelle. Série pp29-58.
19. **Laouina, A. 1990.** Le Maroc Nord Oriental, Reliefs modelés et dynamique du calcaire. Publication du Rectorat de l'Université Mohammed 1^{er} Oujda. 605p.
20. **Laouina A. et Chaker M., 1979.** Sols et érosion dans la chaîne de Beni Snassen dans le Maroc oriental. Cahiers du CERES série Géographie, 4 pp 61-87.
21. **Laouina, A., Chaker, M et Nafaa, R. 2003.** Suivi et mesure de l'érosion hydrique des terres au Maroc, 15 ans de recherche et d'expérimentation. Revue .Géographie du Maroc, 1 et 2 : 79-98.
22. **Lautenbach S., Berlekamp J., Graf N., Seppelt R., Matthies M., 2009.** Scenario analysis and management options for sustainable river basin management: Application of the Elbe DSS. Environmental Modelling & Software 24: 26–43.
23. **Markhi, A., Laftouhi, N-E. Soulimani, A et Fniguire, F., 2015.** Quantification et évaluation de l'érosion hydrique en utilisant le modèle RUSLE et déposition intégrés dans un SIG. Application dans le bassin versant n'fis dans le haut atlas de Marrakech (Maroc). Revue European Scientific Journal. Octobre 2015 vol.11, N°.29, pp 340-356.
24. **Ministère de l'Aménagement du Territoire de l'Eau et de l'Environnement (MATEE), 2007.** Débat national sur l'eau, plateforme. Rabat. 66p.
25. **Naimi M., Tayaa M. et Ouzizi S., 2005.** Cartographie des formes d'érosion dans le bassin-versant de Nakhla (Rif occidental, Maroc). Sécheresse, 16 (1) : 79-82.
26. **Rahhou M. 1999.** L'érosion dans le Prérif central, zone interfluviale Leben-Sebou-Ouergha, un prolongement de l'évolution naturel, une production sociale. Thèse d'Etat, Univ. Mohammed V, Rabat. 676p.
27. **Sadiki H., Bouhlassa S., Aujjar J., Faleh, A. et Macaire J., 2004.** Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sols 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, pp: 69-79.

28. **Sbai A et Kaouass H, 2011.** Apports des SIG dans la cartographie de l'érosion des sols : Cas du Cap des Trois Fourches (Maroc nord-est). Colloque national : Systèmes environnementaux et prévision: approches et cas de figures. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah. Fès Sais. 31 mars – 1 avril.
29. **Tribak, A. El Garouani, A et Abahrour, M., 2009.** Evaluation quantitative de l'érosion hydrique sur les terrains marneux du Pre'Rif oriental (Maroc) : cas du sous-bassin de l'oued Tlata. Revue Sécheresse vol. 20, n° 4, pp 333-337.
30. **Vanmaercke M., Poesen J., Maetens W., Vente J. De, Verstraeten G., 2011.** Sediment yield as a desertification risk indicator. Science of the Total Environment 409: 1715–1725.
31. **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.
32. **Wischmeier W.H et Smith, D.D., 1981.** Predicting rainfall erosion losses. a guide to conservation planning. Supplement to Agriculture Handbook No. 537, USDA, Washington. 58 p.