

Modélisation de l'érosion hydrique via les SIG et l'équation universelle des pertes en sol au niveau du bassin versant de l'Oum Er-Rbia

¹Mohamed Yjjou, ²Rachid Bouabid, ³Abdellah El Hmaidi, ⁴Ali Essahlaoui, ⁵Mourad El Abassi

¹Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Equipe de recherche Sciences de l'Eau et Ingénierie de l'Environnement, Laboratoire d'Ingénierie Géologique, BP. 11201, Zitoune, Meknès, Maroc.

²Ecole nationale d'Agriculture de Meknès km. 10, Route Haj Kaddour, B.P. S/40, Meknès, 50001, Maroc.

³Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Equipe de recherche Sciences de l'Eau et Ingénierie de l'Environnement, Laboratoire d'Ingénierie Géologique, BP. 11201, Zitoune, Meknès, Maroc.

⁴Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Equipe de recherche Sciences de l'Eau et Ingénierie de l'Environnement, Laboratoire d'Ingénierie Géologique, BP. 11201, Zitoune, Meknès, Maroc.

⁵Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Equipe de recherche Sciences de l'Eau et Ingénierie de l'Environnement, Laboratoire d'Ingénierie Géologique, BP. 11201, Zitoune, Meknès, Maroc.

ABSTRACT

The objective of the present work was to estimate soil losses in the oued Oum Er-Rbia watershed (SW Middle Atlas, Morocco). The adopted method is based on the use of Wischmeier model and geographic information system (GIS). The mean and maximum values of rainfall erosivity factor R were 90 and 119, respectively. The soil erodibility factor K is ranged from 0.01 to 0.54 (mean= 0.33). The topographical factor LS varied from 0 to 216 (mean= 16). The combination of different maps related to different parameters (R , K , LS , vegetation cover C and anti-erosive practices P) allowed obtaining the erosion map. The obtained results showed that the erosion affected the entire Oum Rbia watershed, but with different degrees. The mean of rate of soil loss was of 224 t / ha / year, with 45% of the basin area is subject to erosion between 50 and 400 t/ha/year mainly in areas characterized by a steep slope, high erodibility and low vegetation cover which reflects the importance of water erosion in the Oum Er-Rbia watershed.

Keywords - Oum Er-Rbia watershed, water erosion, Wischmeier model, GIS.

RESUME

L'objectif de ce présent travail est d'estimer les pertes en sol au niveau du bassin versant d'Oum Er-Rbia dans le sud-ouest du Moyen Atlas du Maroc par l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique. Le modèle de Wischmeier a été adopté pour la modélisation des principaux facteurs impliqués dans les phénomènes érosifs. Le bassin versant d'Oum Er-Rbia s'étend sur une superficie de 1528 Km², de forme très allongée du Nord-Est au Sud-Ouest. Il est caractérisé par une altitude qui varie de 662 m vers le Sud-Est à 2400 m vers le Nord-Est avec une moyenne de 1373 m et une pente oscillant entre 0 et 172 % avec une moyenne de 16%. Le facteur d'érosivité R est en moyenne de 90 avec une valeur maximale de 119. Le facteur d'érodibilité des sols varie de 0,01 à 0,54 avec une moyenne de 0,33. Le facteur topographique LS varie de 0 à 216 avec une moyenne de 16. La confrontation des différentes cartes de ces paramètres a permis de déduire la carte d'érosion à partir de laquelle, il ressort que le phénomène d'érosion touche l'ensemble du bassin versant d'Oum Er-Rbia mais à des niveaux différents. Ainsi, le taux moyen des pertes en sol est de 224 t/ha/an, avec 45 % de la superficie du bassin versant est soumise à une érosion comprise entre 50 et 400 t/ha/an enregistrée principalement au niveau des zones caractérisées par une pente forte, érodibilité élevée et un faible couvert végétal, ce qui témoigne de l'importance de ce phénomène au niveau du bassin étudié.

Mots Clés : Bassin versant d'Oum Er-Rbia, érosion hydrique, modèle de Wischmeier, Système d'Information Géographique.

Date of Submission: 11 August 2014



Date of Publication: 31 August 2014

I. INTRODUCTION

La dégradation des sols se définit comme étant un processus qui réduit le potentiel de production des sols ou la qualité des ressources naturelles. L'érosion hydrique constitue le principal facteur de la dégradation de la ressource sol. Les études réalisées sur l'envasement des grands barrages marocains montrent que le taux de comblement varie de 0,1 Mm³/an au niveau du barrage Smir à 10 Mm³/an au niveau du barrage Mohammed V.

Par ailleurs, plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer les risques d'érosion des sols. Ainsi, deux modèles de prédiction de perte en sol ou de l'érosion peuvent être utilisés compte tenu de leur adaptation universelle. Il s'agit du modèle R.U.S.L.E (équation Universelle Révisée de Perte en Sol) et du modèle de Williams pour prédire, respectivement, les pertes en sol au niveau des versants et la production de sédiments au niveau de l'exutoire des sous bassins versants. Vu l'importance de l'application de cette méthode conjuguée à l'utilisation des Systèmes d'Information Géographiques (SIG) dans les conditions marocaines, la présente étude propose d'évaluer l'ampleur du phénomène d'érosion au niveau du bassin versant Oum Er-Rbia et à le spatialiser en élaborant des cartes de risques érosifs. Ceci est réalisé à travers deux voies complémentaires :

- Cartographie des différents facteurs liés au processus érosif en utilisant les SIG qui permettent de stocker et de structurer les informations cartographiques de base, et d'intégrer les différentes caractéristiques du bassin versant ;

- Mettre en place une base de données interactive des facteurs de l'érosion, avec une localisation des zones susceptibles de produire les sédiments et évaluer les quantités de pertes en sols à l'hectare par l'intégration du modèle universel révisé des pertes en sol (RUSLE) de Wischmeier et Smith [1] dans les SIG.

II. CADRE GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

Le bassin versant du barrage El Hansali est drainé par le haut Oum Er-Rbia. Il s'étend sur une superficie de 1531 km². Il est localisé au sud-ouest du Moyen Atlas central au cœur de la province de Khénifra (Fig. 1). Il est limité à l'ouest par la meseta occidentale (massif central hercynien), au nord par le cause de Ajdir (calcaire et dolomie du Lias) et au sud-est par la plaine de la haute Moulouya [2]. Il se situe entre les longitudes 5°05' et 5°50'W et les latitudes 32°35' et 33° N. Il présente un caractère montagneux avec des altitudes qui varient entre 662 m et 2400 m. Il montre une diversité de reliefs, avec des formes structurales, des dépressions fermées, des ravins et des formes d'accumulation représentées par les terrasses alluviales.

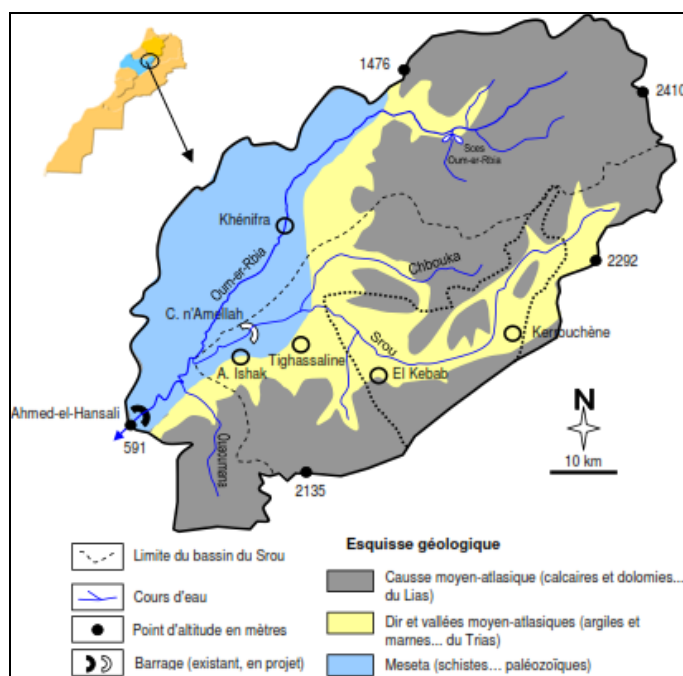


Fig. 1. Esquisse géologique avec situation géographique et réseau hydrographique du bassin versant du haut Oum Er-Rbia en amont du barrage El Hansali ([2] modifié).

III. METHODOLOGIE

III. 1. Caractéristiques géométriques et topographiques

L'**indice de compacité** caractérise la forme du bassin versant. Il est calculé par le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. Plus ce rapport est supérieur à 1, plus le bassin est de forme allongée.

$$I_c = 0,28 P / S^{1/2}$$

Avec I_c : Indice de compacité, P : Périmètre du bassin en Km, S : Surface du bassin en Km^2 .

Le rectangle équivalent est une transformation géométrique visant à convertir le périmètre du bassin en un rectangle de même contour et de même surface. Ainsi, les courbes de niveaux deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle. L'un de ses petits côtés du rectangle représente l'exutoire. La formule suivante est utilisée pour calculer les deux paramètres L et I du rectangle équivalent :

$$L = \frac{K\sqrt{A}}{1,28} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,28}{Kc} \right)} \right]$$

$$I = \frac{K\sqrt{A}}{1,28} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,28}{Kc} \right)} \right]$$

L et I représentent respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent, K : Indice de compacité et A la surface du bassin versant en Km^2 .

L'**hypsométrie**, en relation avec le relief, est considérée comme un facteur majeur reflétant l'aptitude d'un bassin versant au ruissellement. Elle est donnée par le rapport de la somme de la surface élémentaire par l'altitude moyenne correspondante sur la surface totale du bassin versant. Elle est calculée par la formule suivante :

$$\bar{H} = \sum \frac{H_i a_i}{A}$$

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau en m ;

a_i : surface élémentaire comprise entre deux courbes de niveaux en Km^2 ;

A : Surface du bassin versant en Km^2 .

La **penne** est désignée comme un facteur capital qui favorise l'érosion. Dans cette optique, certains indices ont été déterminés. L'indice de penne global est le rapport de dénivelée entre l'altitude dépassée par 5 % de la superficie du bassin et celle dépassée par 95 % de superficie, à la longueur du rectangle équivalent.

$I_g = D/L$ avec D : étant la dénivelée simple. L : longueur du rectangle équivalent. Cet indice présente la relation entre l'altitude et le rectangle équivalent.

Le paramètre Dénivelée spécifique " D_s " est utilisé pour corriger l'indice de penne global par rapport à la surface du bassin versant suivant la formule suivante :

$$D_s = I_g \cdot A^{1/2}$$

III. 2. Quantification des pertes en sol par l'érosion hydrique

La quantification des pertes en sol par l'érosion hydrique a été réalisée en adoptant l'Equation Universelle Révisée des Perte en Sol (RUSLE) : $A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$.

A est le taux annuel de pertes en sol en t/ha/an, R est le facteur de l'érosivité des pluies, K est l'érodibilité des sols, LS est un facteur sans dimension qui représente l'inclinaison (S en %) et la longueur de penne (L en m), C est un facteur sans dimension qui représente l'effet de la couverture végétale, P est aussi un facteur sans dimension qui tient compte des techniques culturales anti-érosives telles que le labour en courbes de niveau [1].

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

Dans le but de mieux comprendre le phénomène d'érosion en relation avec la forme et le comportement du bassin versant, les caractéristiques suivantes ont été déterminées : Indice de compacité, les caractéristiques du relief et les caractéristiques hydrographiques.

4.1. Caractéristiques géométriques

Le périmètre du bassin est de 329 Km et la surface est de 1531 Km². L'indice de compacité est de 2,35 et reflète donc un bassin de forme très allongée. Par conséquent, le temps de concentration des eaux est très court. En ce qui concerne le rectangle équivalent, la longueur et la largeur sont respectivement de 82 km et de 20 km.

De point de vue hypsométrique, le relief est considéré comme un facteur majeur reflétant l'aptitude d'un bassin versant au ruissellement. Les principales caractéristiques du bassin versant sont (Fig. 2) :

- les deux tranches suivantes [1200, 1400], [1400, 1800], occupent plus de 40 % de la surface du bassin versant. Ce qui montre le caractère montagneux du bassin [3], [4] et [5].
- Les altitudes les plus basses s'étendent sur la partie aval du bassin versant.

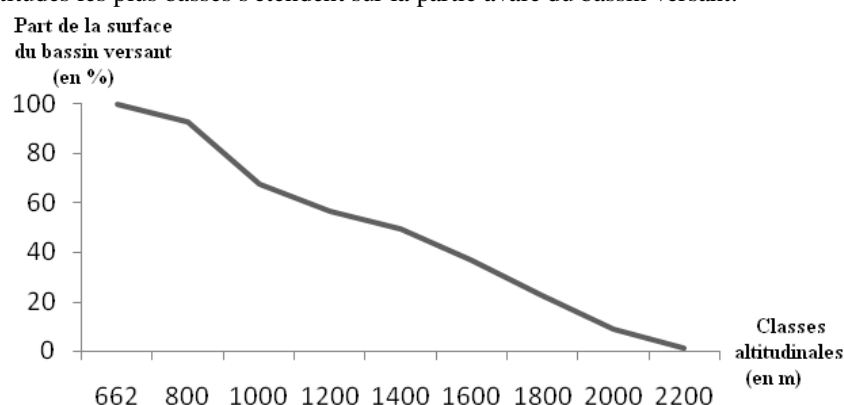


Fig. 2. Courbe hypsométrique du bassin versant du haut Oum Er-Rbia en amont du barrage El Hansali.

De point de vue pente, sept classes ont été identifiées. La classe 5-15%, éparpillée sur tout le territoire, représente 43 % de la surface du bassin versant (Fig. 3). La classe 15-25 est localisée surtout dans l'amont et au centre du bassin versant sur une superficie de 34905 ha soit 23% de la surface du bassin versant. Les pentes dépassant 25% sont localisées dans l'amont sur une superficie de 28171 ha soit 18,5 % du bassin versant. Ces résultats montrent le caractère accidenté du bassin versant de l'Oum Er-Rbia [3], [4] et [5].

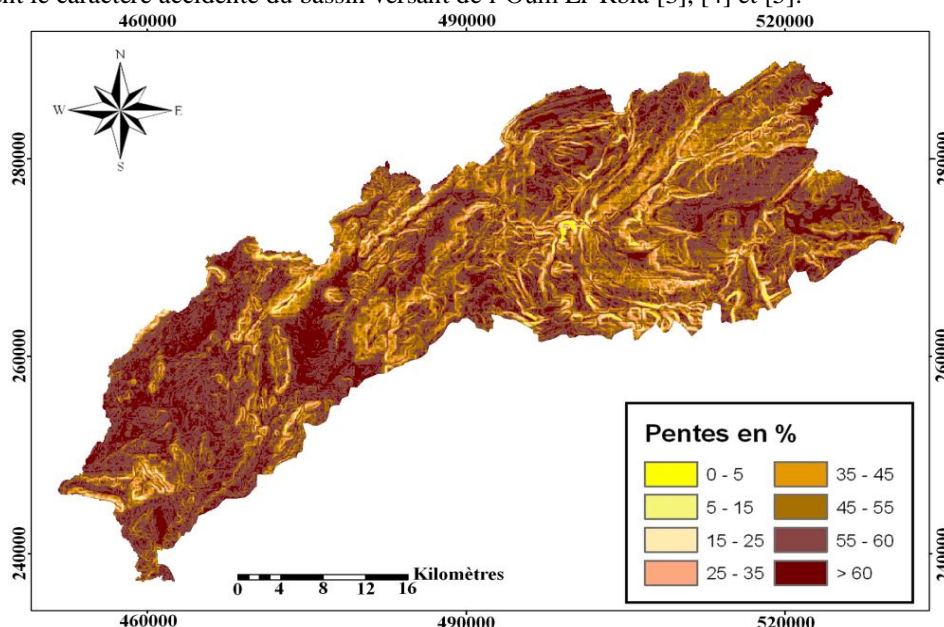


Fig. 3. Carte des pentes du bassin versant du haut Oum Er-Rbia en amont du barrage El Hansali.

4.2. Effet de l'érosivité climatique (R)

La carte d'érosivité, synthétisée à partir de la spatialisation des stations hydrologiques, montre que la valeur du facteur R varie de 67 à 119 (Fig. 4). Les valeurs élevées sont enregistrées au centre du bassin, alors que les valeurs les plus faibles sont enregistrées à l'aval et à l'amont. En effet, les valeurs de R subissent un double gradient du centre vers l'amont et du centre vers l'aval.

La répartition géographique des différentes classes du facteur d'érosivité des pluies par rapport à la superficie totale du bassin est la suivante [3], [4] et [5] :

- 93 % de la superficie du bassin est soumise à une érosivité de 70 à 119.
- Seulement 7 % de la surface du bassin versant est soumise à une faible érosivité.
- 24 % du bassin versant étudié est soumise à une érosivité de 100-119 témoignant ainsi d'une érosivité modérée.

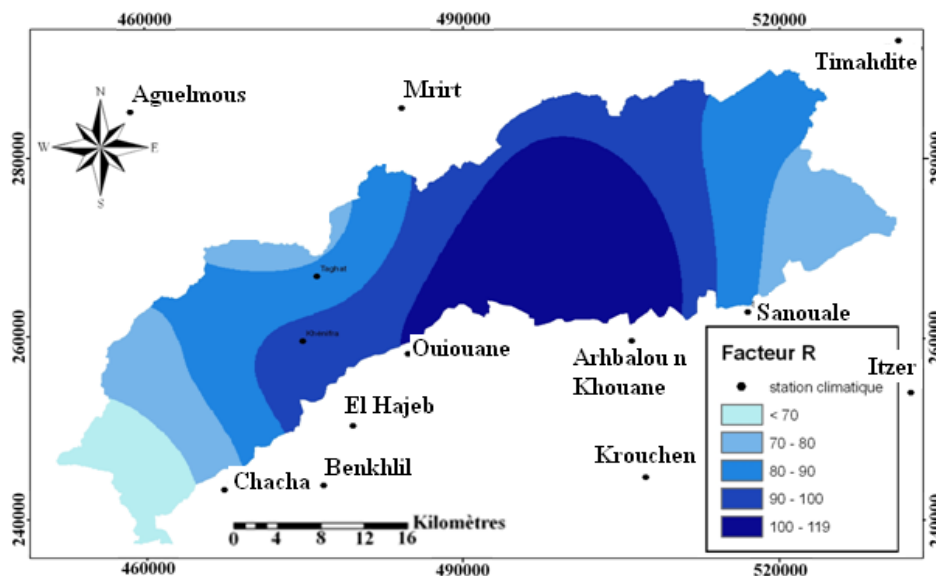


Fig. 4. Carte de l'indice d'érosivité des pluies R du bassin versant du haut Oum Er-Rbia en amont du barrage El Hansali.

Ces résultats sont proches de ceux obtenus par la DREF-NE [6] dans une étude réalisée sur le bassin versant d'Oued Beht limitrophe au bassin d'Oum Er-Rbia. Ainsi, il est rapporté, dans cette étude que l'agressivité pluviale est très concentrée dans l'intervalle 70 à 100 avec 86%. Par contre, la classe de forte érosivité dépassant 100 ne représente que 1,2% du bassin versant contre 24 % dans le cas du bassin versant d'Oum Er-Rbia. Aussi, les valeurs obtenues sont élevées comparativement à celles du bassin versant de l'oued Boussouab dans le Rif oriental rapportées par Sadiki et al. [7], qui ont trouvé que R varie de 31,2 à Anguied au Sud-Est du bassin à environ 60 au Nord-Ouest et à celles du Rif central (bassin versant de l'oued Leben) avec des valeurs allant de 43 à 87,56 [8]. Cependant, ces valeurs restent faibles par rapport à celles du bassin versant de Telata avec des valeurs de R variant entre 215 et 228 [9]. Enfin, selon la classification de Marnique [10], le risque d'érosivité au niveau du bassin versant d'Oum Er-Rbia reste faible à modéré. Par conséquent, le facteur R pourrait entraîner l'apparition et le développement du phénomène de l'érosion linéaire.

4.3. Effet de l'érodibilité des sols (K)

Les résultats obtenus montrent que plus de la moitié des sols du bassin versant (59%) possèdent une érodibilité très élevée atteignant des valeurs comprises entre 0,4 et 0,5 (Fig. 5). Seulement 22% de la surface du bassin possède une érodibilité faible inférieure à 0,2 [3], [4] et [5].

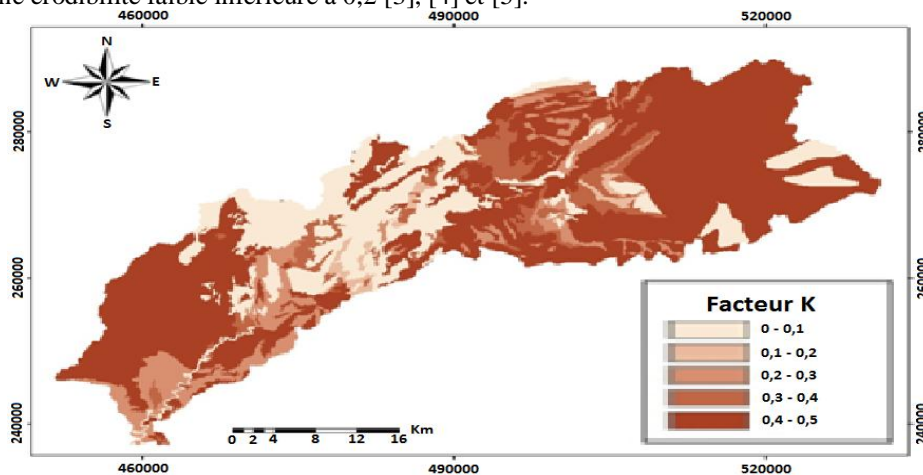


Fig. 5. Carte de l'érodibilité des sols du bassin versant d'Oum Er-Rbia.

La lecture simultanée de la carte pédologique et de la carte de la répartition de l'érodibilité montre que les valeurs de K diffèrent selon le type du sol. Ainsi, les vertisols, représentés essentiellement par les unités pédologiques 25 à 29, présentent une faible érodibilité (0,10-0,20). Alors que les sols peu évolués présentent une érodibilité élevée atteignant la valeur de 0,4. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Elbouqdaoui et al. [11] dans une étude réalisée sur le bassin versant de l'oued Srou. Ces auteurs ont conclu que les vertisols présentent une faible érodibilité (0,10-0,20), alors que les sols peu évolués présentent une érodibilité élevée (0,30-0,40). De même, El Idrissi [12] rapporte que les sols peu évolués du bassin de l'Oum Er-Rbia sont localisés surtout sur des versants à fortes pentes limitrophes des vallées où la dégradation des sols est très poussée. Dans une étude menée sur l'érosion dans la région de Wallonne, Goor [13] montre que les sols limoneux sont plus sensibles à l'érosion hydrique. Cet auteur a expliqué cette sensibilité par le fait que les particules limoneuses (2-50 μm) présentent une faible cohésion entre elles, ce qui facilite leur détachement et favorise la formation d'une croûte de battance. En effet, ces particules de petites tailles sont facilement transportables par les eaux de ruissellement.

4.4. Effet du facteur topographique (LS)

La distribution du facteur topographique (LS) montre que 62 % de la superficie du bassin versant fait partie de la classe 5 à 30 (Fig. 6). Par conséquent, la majeure partie dudit bassin est soumise à un grand risque d'érosion [3], [4] et [5].

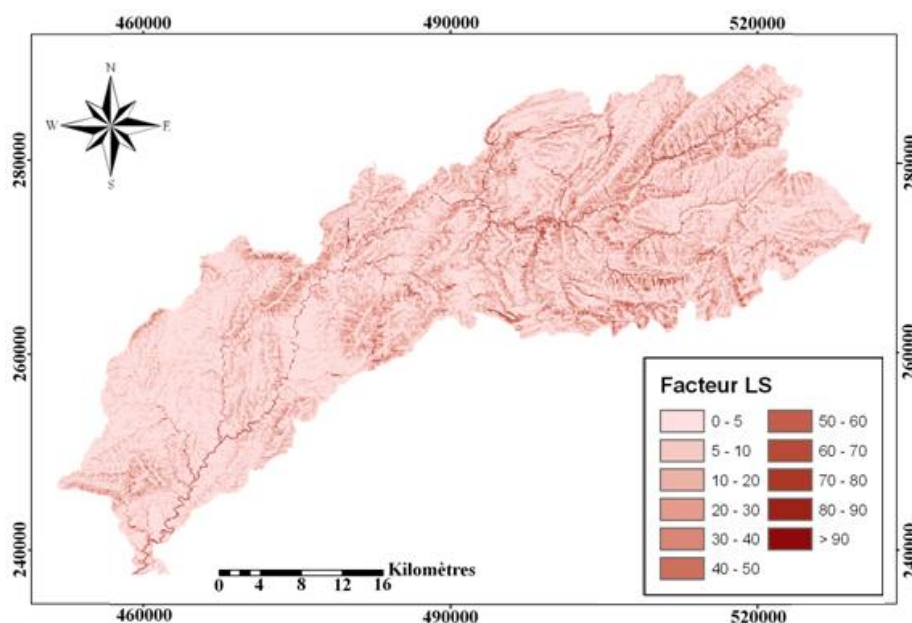


Fig. 6. Carte du facteur topographique LS au niveau du bassin versant du haut Oum Er-Rbia en amont du barrage El Hansali.

Ces résultats diffèrent de ceux obtenus au niveau du bassin versant de l'Oued Beht qui prouvent que 71% de la superficie fait partie de la classe 0-10. Par conséquent, le facteur LS montre un faible rôle dans la quantification de l'érosion au niveau du bassin de l'Oued Beht, à l'inverse du bassin de l'Oum Er-Rbia où ce facteur favorise fortement l'ampleur de l'action érosive. El Bouqdaoui, [11], avait montré que l'érosion augmentait de façon exponentielle avec le degré de pente et que l'exposant moyen approchait la valeur de 1,4. Il avait également conclu que les pertes en sol étaient fonction de la longueur de la pente. De même, Ibrahim [14] a rapporté que lorsque l'inclinaison de la pente augmente, l'énergie cinétique des pluies reste constante mais le transport s'accélère vers le bas à cause d'une augmentation de l'énergie cinétique du ruissellement. Au Maroc, et plus précisément au niveau du bassin versant de l'oued Boussouab dans le Rif oriental, Sadiki et al., [7] ont trouvé que le facteur LS varie de 0,48 à 87,9 et que les pertes moyennes en sol augmentent linéairement avec l'inclinaison des pentes. Ils ont obtenu un coefficient de corrélation $R^2=0,98$, ce qui témoigne selon ces auteurs de l'importance de l'inclinaison des pentes dans le processus d'érosion en nappe au niveau dudit bassin. En effet, 55% de la surface du bassin versant de l'oued Boussouab présente des pentes supérieures à 15%.

4.5. Effet du couvert végétal

Les résultats obtenus montrent que 64 % de la superficie du bassin présente un taux de couverture végétale très faible et seulement 12 % de cette superficie est bien protégée avec $C < 0,2$ (Fig. 7). Ceci est expliqué essentiellement par la dominance des terrains de parcours dégradés et les zones de cultures qui sont

considérés très sensibles à l'érosion [3], [4] et [5]. De même, une étude réalisée sur le bassin de l'Oued Beht a révélé que 70% de sa superficie présente un taux de couverture faible à très faible et la protection n'est constatée que sur 15 % du bassin versant [6]. Ainsi, il est conclu que l'érosion potentielle au niveau de ce bassin versant est fortement accélérée. Dans le même sens, Goor [13] a montré que le risque d'érosion hydrique est plus élevé lorsque les sols sont occupés par des cultures de type sarclé peu couvrantes ou des plantes pastorales dégradées, suivies des cultures de type non sarclé, plus couvrantes, puis des prairies et des forêts denses où le risque est minimal. Il faut noter aussi que le travail du sol influence la sensibilité du sol à l'érosion. Généralement les cultures nécessitent un affinement de la couche superficielle du sol, ce qui peut entraîner la formation d'une croûte de battance qui en cas de forte pluie, réduit l'infiltration et accélère par conséquent le ruissellement.

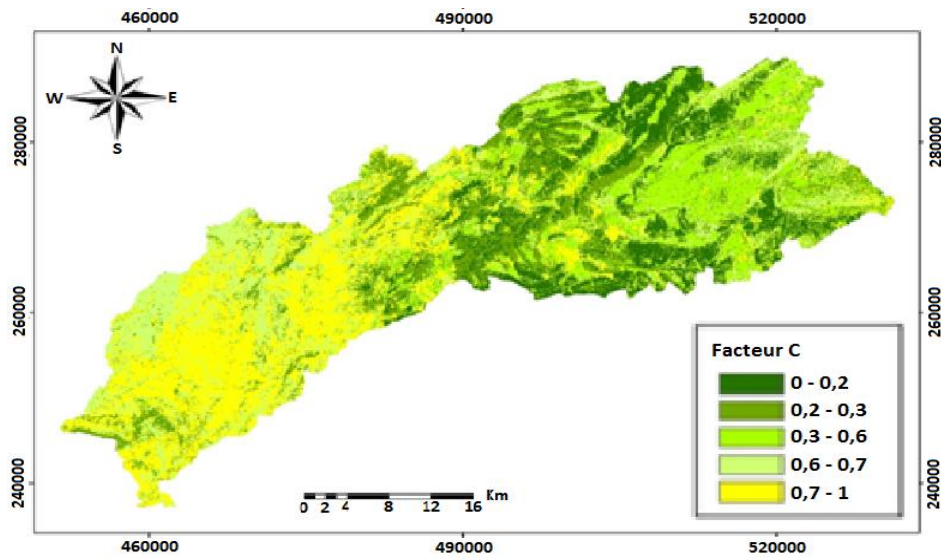


Fig. 7. Carte du facteur C au niveau du bassin versant d'Oum Er-Rbia.

4.6. Evaluation des pertes en sol

La réalisation des cartes des principaux facteurs intervenant dans l'érosion hydrique des sols a permis d'obtenir la carte des pertes en sols en tout point du bassin versant d'Oum Er-Rbia (Fig. 8). Ainsi, les pertes sont de l'ordre de 50-400 t/ha/an, soit 54 % du territoire [3], [4] et [5], ce qui témoigne de la forte érosion dépassant les seuils de tolérance de Wischmeier [1]. Cependant, les faibles pertes en dessous du seuil de tolérance (<7 tonnes/ha/an) ne concernent que 9,19 % de la superficie du bassin versant étudié.

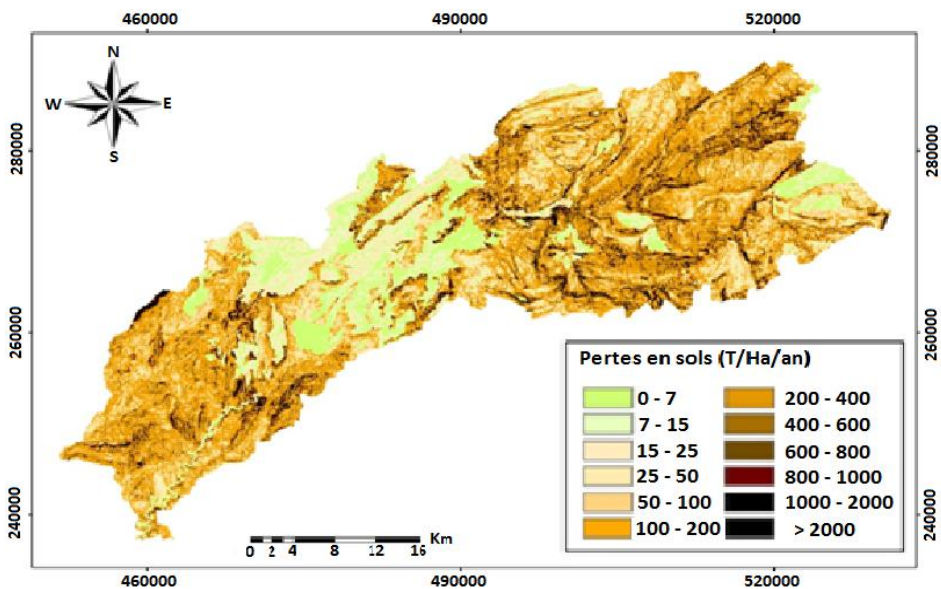


Fig. 8. Carte des pertes en sols du bassin versant d'Oum Er-Rbia.

Ces résultats sont proches de ceux obtenus sur le bassin versant de l'Oued Beht qui présente une forte érosion (entre 50 et 400 t/ha/an) sur 45 % de son territoire tandis que les faibles pertes (<7 t/ha/an) ne couvrent que 12,7% seulement [6]. Au niveau du bassin versant de l'oued Srou, affluent de l'oued Oum Er-Rbia, Elbouqdaoui et al. [11] ont rapporté que la superficie vulnérable au risque d'érosion élevé, très élevé et extrêmement élevé, représente 43 %. Ce qui témoigne selon ces auteurs de l'influence des précipitations sur les phénomènes érosifs. De même au niveau du bassin versant Telata, Menouk et al. [15] ont montré que les pertes les plus élevées sont enregistrées sur les superficies affectées par les mouvements de masses avec des pertes moyennes de 524 t/ha/an. Ils ont constaté aussi que ces endroits connaissent une intense érosion en nappe à cause d'une humidité assez élevée, une pente très raide et une lithologie très friable dominée par les marnes. La carte résultante montre aussi que pour le bassin de l'Oum Er-Rbia, les pertes en sol présentent une structure spatiale hétérogène selon la topographie, le couvert végétal, l'érosivité des pluies et l'érodibilité des sols. En effet, l'ensemble du bassin versant subit le phénomène d'érosion (Fig. 8). Les valeurs les plus élevées (supérieures à 200 t/ha/an) sont enregistrées au niveau de l'amont et l'aval du bassin, alors que les valeurs moyennes (entre 50 et 100t/ha/an) s'observent sur la partie centrale. Ceci est expliqué essentiellement par:

- En amont, la dominance des sols peu évolués manifestant une érodibilité élevée atteignant 0,4, contribue à accentuer les pertes en sols ;
- Au niveau de la partie centrale du bassin, la dominance des vertisols, présentant une faible érodibilité (0,10-0,20), contribue à réduire les pertes en sols ;
- La faible couverture végétale à l'aval du bassin versant, avec un facteur C de 0,6 à 1, favorise l'érosion en nappes malgré une faible pente ;
- La forte pente au niveau de l'amont du bassin versant conduit à des pertes importantes, malgré la présence de la forêt.

Ces résultats sont très concordants avec ceux du bassin versant de Boussouab [1] caractérisé par une augmentation anormale des pertes moyennes de la classe 0,2-0,3 du facteur C. Ces résultats s'expliquent par le fait que malgré la présence d'une végétation, la proportion de surface des sols se trouvant sur des pentes fortes (> 35 %) conduit à des pertes importantes. Des résultats similaires ont été observés au niveau du bassin versant de Tigrida avec présence d'une forte érosion sous forêt sur pente forte malgré la présence d'un taux de recouvrement important [16].

V. CONCLUSION

La quantification des pertes en sol au niveau du bassin versant de l'Oum Er-Rbia a été réalisée à l'aide de l'Equation Universelle des Pertes en Sol (USLE) intégrée dans un Système d'Information Géographique. La méthode utilisée, malgré ses limites, apporte une aide importante aux décideurs pour simuler des scénarios d'évolution de la région et planifier les interventions de lutte contre l'érosion.

Les résultats obtenus montrent que les sols du bassin versant de l'Oum Er-Rbia subissent l'effet de plusieurs facteurs favorisant le phénomène d'érosion à savoir l'importance des pentes, le faible couvert végétal et l'érodibilité des sols. Ils indiquent également que le bassin versant de l'Oum Er-Rbia est soumis à une forte érosion avec des pertes variant de 50 à 400 t/ha/an, touchent 54% du territoire. Les faibles pertes en dessous du seuil de tolérance (< 7 t/ha/an) ne concernent que 9% de la superficie du bassin versant.

Cette situation grave est favorisée par les facteurs d'érosion qui se conjuguent aussi pour accélérer l'érosion, les pentes fortes (62% de la surface du bassin versant de l'oued Oum Er-Rbia présente un facteur LS entre 5 et 30), une dégradation alarmante du couvert végétal et des sols très érodables (59 % des sols montrent un facteur K > 0,4).

Les mesures préconisées en vue de limiter l'impact de l'érosion concernent soit le phénomène d'érosion lui-même, soit les pertes en sol. Dans le premier cas, il s'agit surtout de mesures préventives visant à réduire les risques d'érosion. Dans le second cas, les mesures mises en œuvre sont surtout de type correctif visant à limiter les conséquences de l'érosion des terres en aval. Par ailleurs, le choix des mesures à appliquer doit tenir compte des spécificités du milieu en particulier de l'érodibilité du sol, de la pente des parcelles et de l'érosivité climatique.

Enfin, le présent travail a délimité, à échelle moyenne, les zones à risque d'érosion hydrique et les facteurs déterminants de la dégradation des terres. Par conséquent, le choix d'une zone à analyser en détail à grande échelle qui devrait constituer une zone de référence représentative de l'ensemble du bassin versant s'impose pour affiner les résultats et délimiter les zones les plus exposées aux risques d'érosion afin de protéger le milieu naturel, d'éviter la pollution de l'eau, l'envasement du barrage Ahmed El Hansali, situé à l'aval du bassin versant et de limiter les flux de migration de la population.

REFERENCES

- [1] W.H. Wischmeier and D.D. Smith, Predicting rainfall erosion losses - a guide for conservation planning Science, *U.S. Dept. of Agriculture. Agric. Handbook*, Washington, D.C., 1978, 537p.
- [2] M.I. El Jihad, Les difficultés de gestion des ressources « naturelles » et de développement rural dans un milieu anthropisé : l'expérience du Projet Oued Srou (Maroc central), *Norois*, 3, 216, 2010, 25-45.
- [3] M. Yjjou, *Modélisation de l'érosion hydrique via le SIG et l'équation universelle de perte en sol au niveau du bassin versant d'Oum Er-Rbia*, Mémoire de Master en sciences des sols et environnement, Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Meknès, 104p, 2009.
- [4] M. Yjjou, R. Bouabid, A. El Hmaidi and A. Essahlaoui, Modélisation de l'érosion hydrique via le SIG et l'équation universelle de perte en sol au niveau du bassin versant d'Oum Er-Rbia, *International conference of GIS-Users, Taza GIS-days, Fès, Proceeding Book*, 2012a, 433-435.
- [5] M. Yjjou, R. Bouabid, A. El Hmaidi and A. Essahlaoui, Caractérisation topographique et climatique via le SIG du bassin versant du haut Oum Er-Rbia en amont du barrage El Hansali (SW du Moyen Atlas, Maroc), *Journal of Hydrocarbons Mines and Environmental Research*, 3, 2, 2012b, 104-109.
- [6] DREF du Nord-Est, *Etude d'aménagement du bassin versant d'Oued Beht en amont du barrage El Kansera*, Direction Régionale des Eaux et Forêts, Fès, 2007.
- [7] A. Sadiki, S. Bouhlassa, J. Auajjar, A. Faleh and J. Macaire, 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, 2004, 69-79.
- [8] M. Rahhou, *L'érosion dans le Prérif central, zone interfluviale Leben-Sebou-Ouergha, un prolongement de l'évolution naturelle, une production sociale*, Thèse doctorat d'Etat, Université Mohammed V, Rabat, 1999, 300p.
- [9] A. Merzouk and H. Dahman, Shilling land use and impact on sediment yield in the Rif mountains. *In advanced in geocologie*, 31, by CATENA VERLAG, 350447, Reiskirche, 1998.
- [10] L.A. Manrique, Land Erodibility assessment methodology, LEAM, Using soil survey data based on soil taxonomy, *University of Hawaii, Editorial and publication Shop, Honolulu, Hawaii USA*, 1988, 28p.
- [11] K. Elbouqdaou, H. Ezzine, M. Badrahou, M. Rouchdi, M. Zahraoui and A. Ozer, Approche méthodologique par télédétection et SIG de l'évaluation du risque potentiel d'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Srou (Moyen Atlas, Maroc), *Geo-Eco-Trop*, 29, 2005, 25-36.
- [12] R. EL Idrissi, Etude des sols en vue de la mise en valeur agricole, Province de Khénifra, *Projet de développement agricole intégré, Ministère de l'Agriculture et de la Réforme Agraire, Institut National de la Recherche Agronomique*, D. P. A., Khénifra, Maroc, Rapport et cartes, 1986.
- [13] F. Goor, L'érosion hydrique des sols dans la région wallonne (année 2005) chapitre [11] les sols et l'environnement terrestre, <http://environnement.wallonie.be>, 2005.
- [14] S. Ibrahim, *Application du 210Pb comme une alternative à l'utilisation du 137Cs pour l'étude de la redistribution du sol sur des transects cultivés et non cultivés, Bassins versants El Hachef et Raouz, nord du Maroc*, Thèse de doctorat en Sciences, Université Abdelmalek Essaadi, Tanger, Maroc, 2005.
- [15] A. Merzouk, I. Fenjiro and A. Laouina, Cartographie de l'évolution des formes d'érosion dans le Rif occidental (Maroc) : étude multitempore utilisant un SIG bassin versant. In : De Noni Georges (ed.), Lamachère Jean-Marie (ed.), Roose Eric (ed.). Etats de surface du sol et risques de ruissellement et d'érosion. *Bulletin - Réseau Erosion*, 16, 1996, 444-456.
- [16] S. BENAMAR, *Quantification de l'Erosion au Niveau du Bassin de Tigrigra par l'Equation Universelle de Perte en Sol*, Mémoire de Master en sciences des sols et environnement, Université Moulay Ismail, Faculté des Sciences, Meknès, 84p, 2009.