

Role of land use and WSC management evolutions on the erosion behaviour of the Rmel watershed

Rôle de l'évolution de l'occupation des sols et des aménagements CES sur le comportement érosif du bassin versant de Rmel



T. HERMASSI^{1*}, H. EL AMAMII, W. BEN KHELIFA¹

¹National Institute for Rural Engineering, Water and Forests-Tunisia
University of Carthage

*Corresponding author: taoufikhermassi@yahoo.com

Abstract – Soil erosion and degradation have major impacts on the natural environment and agricultural development in semi-arid regions. Erosion results in loss of soil fertility and retention capacities, a decrease in crop yields and a decline in the income of the rural populations. It also leads to dam's sedimentation, canals clogging, water salinization and environmental pollution. Aware of the seriousness of this phenomenon, the Tunisian government has invested heavily in soil and water conservation techniques.

The aim of this work is to estimate the impact of land use changes and water and soil conservation interventions on water erosion at the Rmel watershed using RUSLE model and multi-temporal data. This watershed is located in the North-East of Tunisia and covering an area of 675 km².

A diachronic comparison method was developed and an object-oriented classification approach was used. This approach has yielded satisfactory results and has proved effective in the case of complex land-use regions. The results obtained allowed to identify the temporal and spatial evolution of land use and WSC interventions in the watershed for a ten-year period (2000 to 2010). It appears clearly a spatial expansion of cereals and WSC interventions and a decrease in rangelands and forests.

The combination of this quantitative information with topography, soil types and rainfall data showed a qualitative link between these two factors and water erosion at the watershed scale. This relationship can also be improved by providing complete statistical data on the factor's evolution during the studied period.

Keywords: Water erosion, Rmel, land use, WSC implementation, RUSLE.

Résumé – L'érosion et la dégradation des sols ont des conséquences majeures sur le milieu naturel et le développement agricole dans les régions semi-arides. L'érosion entraîne une perte de la fertilité des sols et leurs capacités de rétention, une chute des rendements des cultures et une diminution du revenu des populations rurales. Elle entraîne également la sédimentation des barrages, le colmatage des canaux, la salinisation des eaux et la pollution de l'environnement d'une manière générale. Conscient de la gravité de ce phénomène, l'état tunisien a beaucoup investi dans le domaine de la conservation des eaux sols.

L'objectif de ce travail consiste à estimer, en utilisant le modèle RUSLE et à partir de données multi-temporelles, l'impact des changements de l'occupation du sol et des aménagements de conservation des eaux et du sol sur l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant d'Oued Rmel situé au Nord-Est de la Tunisie et couvrant une superficie de 675 km².

Une méthode de comparaison diachronique a été utilisée et une approche de classification orientée-objets a été retenue. Cette approche a donné des résultats convenables et a montré son efficacité dans le cas des régions à occupation du sol complexe. Les résultats obtenus ont permis d'identifier l'évolution temporelle et spatiale de l'occupation du sol et des aménagements CES du bassin versant pour une période de dix ans (de 2000 à 2010). Il ressort une expansion spatiale des céréales et des aménagements CES et une diminution des parcours et des terrains forestiers.

La combinaison de ces informations quantitatives aux données topographiques, pédologiques et pluviométriques a montré un lien qualitatif entre ces deux grandeurs et l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant. Cette relation pourra également être quantifiée lorsqu'on disposera des données statistiques complètes sur l'évolution des facteurs étudiés durant la période étudiée.

Mots clés : Erosion hydrique, Rmel, occupation des sols, aménagements CES, RUSLE.

1. Introduction

Parmi les différentes formes de dégradation des sols, l'érosion constitue le facteur le plus important qui affecte la productivité agricole et le bien être des populations rurales particulièrement dans les pays en voie de développement, en l'occurrence la Tunisie, où l'agriculture n'est pas seulement une activité économique mais aussi un moyen pour vivre. Hormis, certains sols situés dans des endroits hautement fragiles où la dégradation peut être non réversible, l'érosion des sols est dans la plupart des cas gérable et réversible. Toutefois, il existe une différence entre la réversibilité physique et la réversibilité économique. En effet, au-delà d'un certain « seuil » d'érosion, le sol peut être réversible sur le plan physique mais pas sur le plan économique : sa reconstitution devient si élevée qu'un agriculteur rationnel ne s'y engage pas. Il n'y a alors aucun intérêt ni pour l'agriculteur ni pour le planificateur de laisser l'érosion des terres atteindre des niveaux avancés. Ceci est d'autant plus vrai que, due à la fois à ses dommages internes et externes, l'érosion des sols se traduit par des implications environnementales, économiques et sociales qui touchent la société dans son ensemble et pas seulement l'exploitation agricole.

Ainsi, la quantification et la cartographie de la perte des sols, engendrés par l'érosion hydrique, deviennent une nécessité. Elles constituent un outil d'aide à la décision pour le planificateur afin de déterminer les zones d'intervention prioritaire dans le cadre de la stratégie nationale de conservation des eaux et des sols. La détermination des zones d'intervention prioritaires est de plus en plus une nécessité actuellement en Tunisie compte tenu de la limitation des fonds disponibles pour la protection de l'environnement.

C'est dans ce contexte que se situe l'objectif de ce travail. Il consiste à effectuer une estimation quantitative de l'érosion hydrique et étudier l'impact des actions anthropiques sur le comportement érosif du bassin versant d'Oued Rmel, situé en Tunisie centrale, où il a été observé que les pertes en terre observées à l'échelle de ce bassin et qui sont à l'origine de l'envasement de la retenue du barrage en aval, sont fortement influencées par les aménagements, le mode d'occupation des sols et les pratiques culturelles adoptées. Les différents types de fonctionnement érosif et la cartographie de l'érosion ont été réalisés en utilisant des modèles empiriques se basant sur l'équation universelle des pertes en sols (RUSLE). Plusieurs scénarios ont été utilisés pour le calage des paramètres en tenant compte à la fois de l'évolution des surfaces aménagées mais aussi de l'évolution des occupations des sols sur toute la période d'observation. Le modèle RUSLE semble ainsi sous-estimer légèrement l'érosion spécifique à l'échelle du bassin versant.

Ce travail a montré que l'utilisation du SIG pour l'analyse et le traitement des données cartographiques numériques, a rendu facile et rapide l'élaboration de la carte d'érosion qui fournit des informations synthétiques et systématiques sur l'intensité, la répartition spatiale du phénomène de l'érosion hydrique.

2. Matériel et méthodes

2.1. Site d'étude

Le bassin versant de l'oued Rmel se situe sur la côte orientale de la Tunisie, à environ 80 km au sud de Tunis. Ce bassin versant totalise une superficie de 675 km² à son exutoire au niveau du site du barrage. Il est caractérisé par une altitude maximale de 1295 m NGT et une altitude minimale de 20 m NGT.

Ces limites topographiques sont constituées de lignes de crêtes des Jebel Jenaini (400 m), Jebel Zouaouine (477 m), Jebel Zaghouan (1295 m), Jebel Naoura (534 m), Jebel Mdeker (464 m).

Le bassin versant d'oued Rmel se caractérise par un relief relativement accidenté, surtout au niveau des massifs montagneux de direction sud-ouest / nord-est et par des pentes moyennes à fortes, il est classé à relief fort selon la classification de l'ORSTOM.

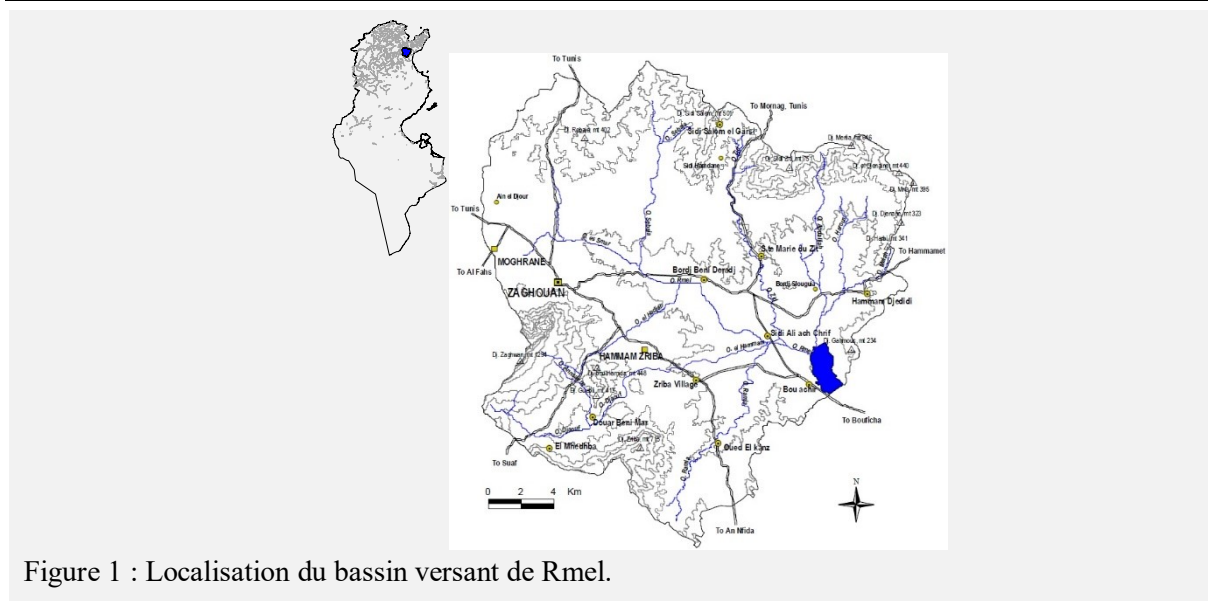


Figure 1 : Localisation du bassin versant de Rmel.

Les principaux types de sol qui occupent le bassin versant Rmel sont les complexes du sol (35%), les sols bruns calcaires et les rendzines (30%) et les sols peu évolués d'apport (19%).

Les terres du bassin versant sont occupées par des céréales (56%) des oliveraies (13%) et des forêts (13%) et des parcours (11%).

Le bassin versant Rmel est caractérisé par une dominance des roches meubles formées d'alluvions récentes dans la dépression centrale de l'oued, et une alternance des roches meubles et des roches cohérentes de part et d'autre de l'oued principal. Le remplissage est formé surtout par des sédiments du grès, argile du Quaternaire plus récent, ainsi que les formations salifères formées de marnes et d'argile gypseux (PAP CAR, 2005). Le bassin versant de Rmel est caractérisé par une pluie torrentielle très aléatoire engendrant de fortes crues sporadiques causent des dégâts énormes.

2.2. Présentation du RUSLE

L'équation universelle de perte en sol (USLE) a été développée dans les années 1960 par Wischmeier et Smith à l'échelle de la parcelle. Avec des recherches supplémentaires, les chercheurs ont continué à améliorer l'USLE, ce qui a conduit au développement de l'équation universelle révisée de perte de sol (RUSLE). RUSLE a plusieurs améliorations dans les facteurs déterminants de l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant (Renard et al., 1997).

Selon ce modèle, l'érosion est une fonction multiplicative de l'érosivité des précipitations (facteur R), l'érodibilité des sols (facteur K), le facteur topographique combiné (facteur LS), la couverture végétale (facteur C) et les pratiques anti-érosion (facteur P).

L'équation RUSLE a été utilisée pour déterminer la perte annuelle moyenne en sol A (t/ha/an) en fonction de six facteurs d'érosion :

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

Où R est le facteur d'érosivité des précipitations (MJ.mm/ha.h.an), K (t.ha.h/ha.MJ.mm) est le facteur d'érodibilité du sol, L est la longueur de la pente (m), S la pente de la pente (%) (LS: facteur topographique), C est le facteur de la couverture végétale (sans dimension) et P un facteur de conservation (sans dimension).

2.3. Base de données

La base de données utilisée dans ce travail est composée de :

- Le facteur LS a été calculé à partir GDEM (Global Digital Elevation Model). Ces données sont acquises en 2011 avec une résolution de 30 m, elles ont été publiées par le ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie (METI) du Japon et par Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace des États-Unis (NASA).

- Pour le facteur R, les données pluviométriques sont collectées sur 17 stations pluviométriques sur le bassin de Rmel.
- L'occupation du sol est extraite des données de la carte agricole basée sur des images satellite (Landsat 2000 avec une résolution de 20 m), et des données récentes digitalisées à partir de Google Earth sur des images satellitaires de 2010.
- Le facteur K a été obtenu à partir de la carte agricole 2000 basée sur l'étude pédologique de Zaghouan (Ben Ayed, 1966), l'étude pédologique de Nadhour (Guyol, 1969) et l'étude pédologique du périmètre de la région du Djougar pont du Fahs (Dumas, 1964).
- Les aménagements de conservation des eaux et du sol ont été obtenus à partir de la carte agricole 2000 et ont été digitalisés à partir de Google Earth sur des images satellitaires de 2010.

3. Résultats et Discussion

Pour l'estimation du potentiel de perte de sol, on a utilisé le modèle RUSLE détaillé ci-dessous :
Pour le calcul du facteur érosivité de la pluie, nous avons utilisé la formule d'Arnoldus (1980). Les valeurs de R subissent un gradient croissant de l'amont vers l'exutoire du bassin versant. Le bassin versant est soumis à une agressivité climatique élevée correspondante à une classe de R supérieure à 80 MJ.mm/ha.h.an. Les valeurs de R varient entre 82 et 117 MJ.mm/ha.h.an, avec une moyenne établie à 94,5 MJ.mm/ha.h.an, la (Fig. 6) montre la distribution spatiale du facteur R.

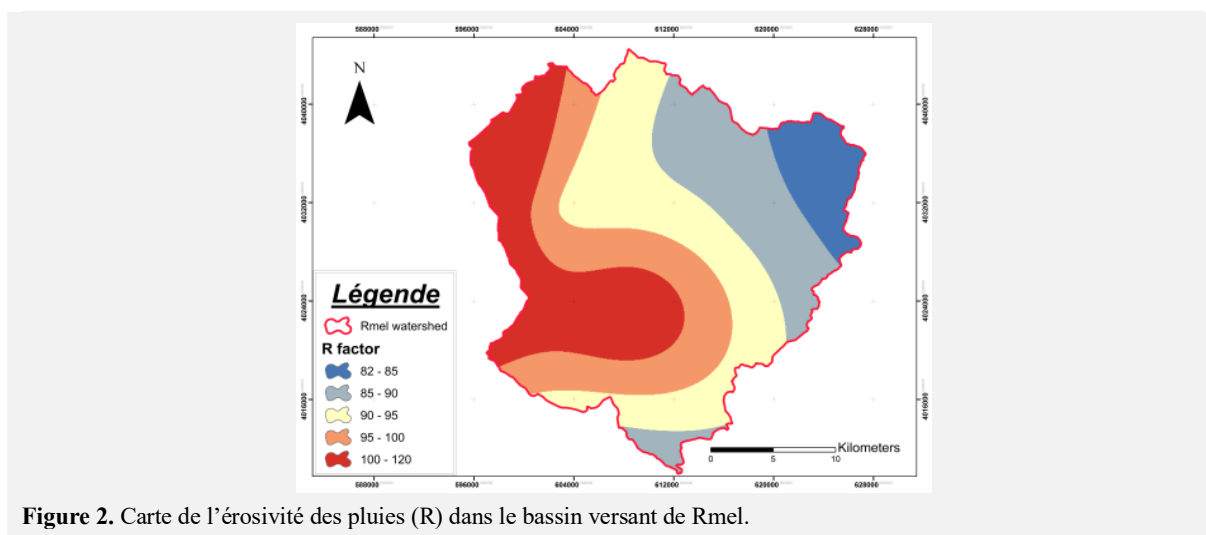


Figure 2. Carte de l'érosivité des pluies (R) dans le bassin versant de Rmel.

Le Facteur LS est calculé par la méthode Moore et al. 1991. La longueur et l'inclinaison de pente influencent d'une manière importante le processus de l'érosion. Les valeurs de l'indice LS varient entre 0 et 62, les faibles valeurs de LS concernent principalement les plaines.

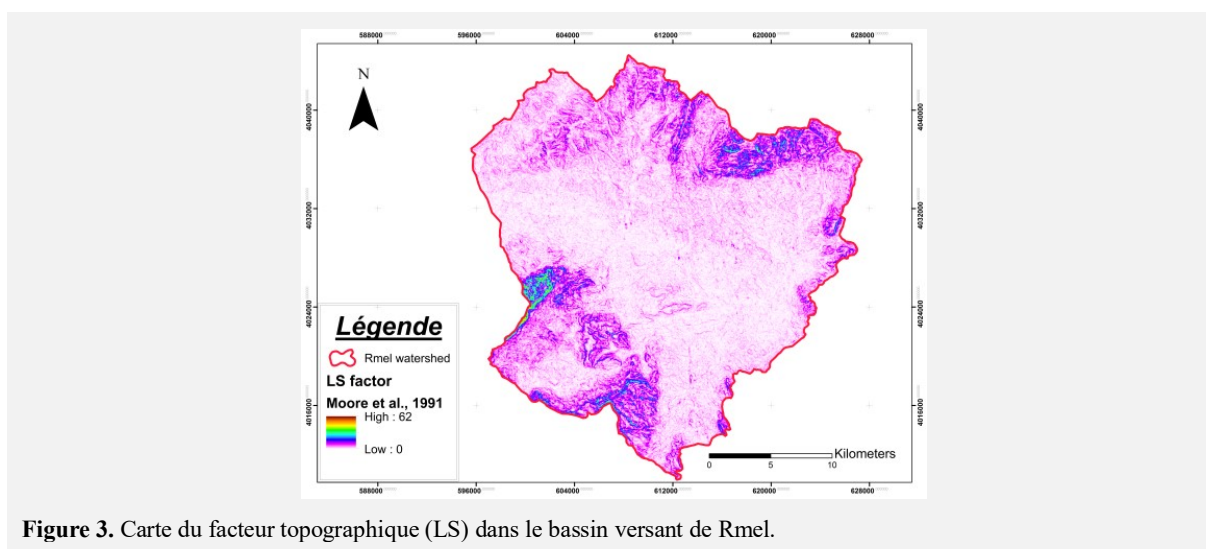
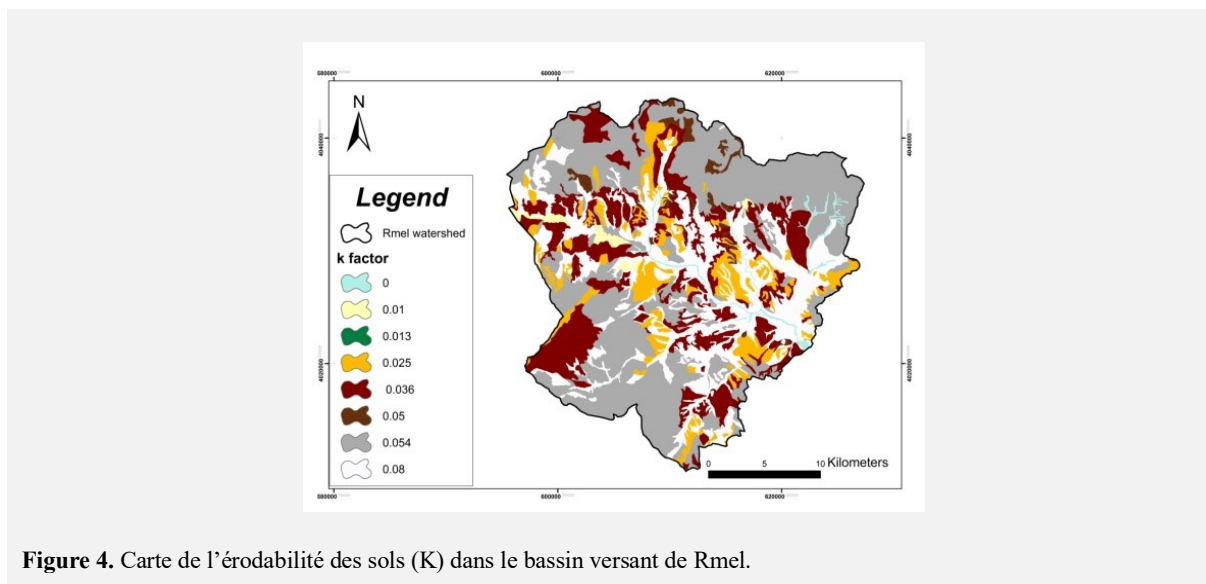
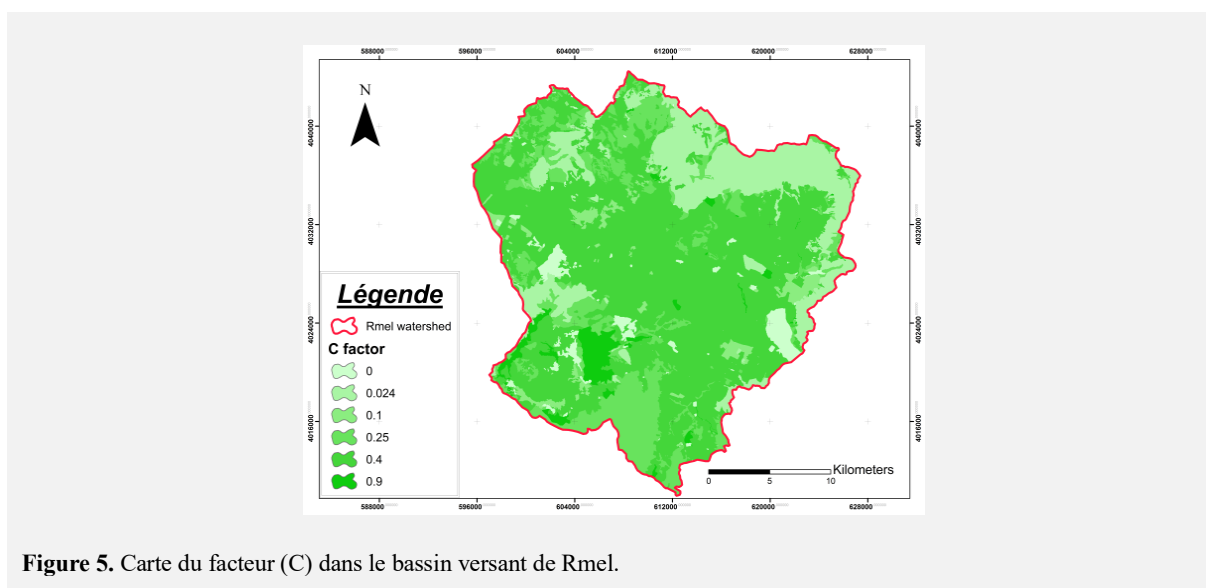


Figure 3. Carte du facteur topographique (LS) dans le bassin versant de Rmel.

Les valeurs du facteur K pour le modèle RUSLE sont déterminées à partir de la carte des sols. En effet, les valeurs de chaque type de sols ont été déduites à partir de la littérature (Zante *et al.*, 2003 ; Collinet *et al.*, 2001 ; Dangler *et al.*, 1976 ; Masson, 1971 ; Dumas, 1965 ; Hermassi *et al.*, 2014).



Afin de déterminer la valeur de facteur C pour chaque type de couvert végétal, on a effectué une étude bibliographique des travaux élaborés en Tunisie. En effet, à partir des études effectuées sur le modèle RUSLE de Collinet *et al.* (2001) sur le site de Zanfour, Zante *et al.* (2003) sur le site d'Abdssadok et Hermassi *et al.* (2014) sur les sites de Rajjela et Ettieur.



Pour le bassin versant de Rmel, les valeurs du facteur P sont définies dans la littérature de Masson (1971) et Wischmeier *et al.*, (1978).

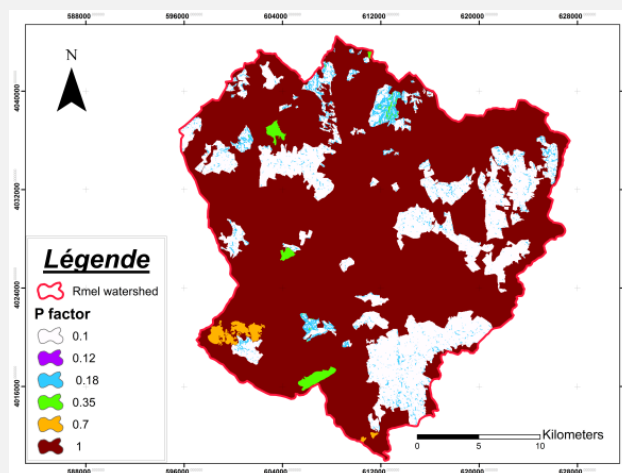
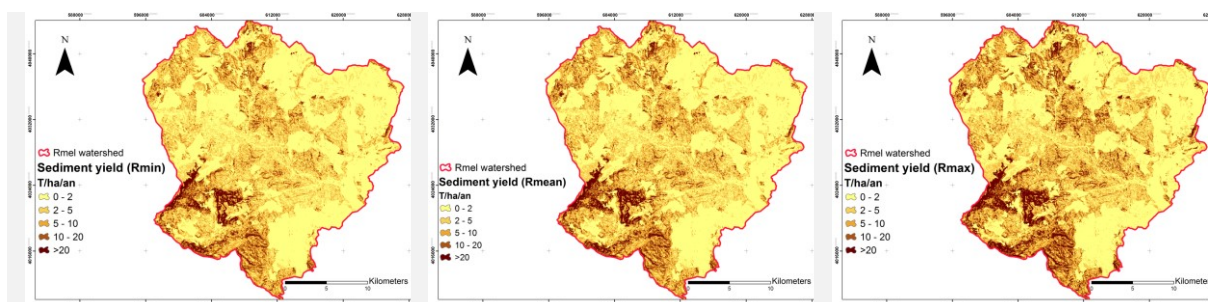


Figure 6 : Carte du facteur anti-érosive (P) dans le bassin versant de Rmel.

Le taux de l'érosion résulte de la combinaison des facteurs du modèle RUSLE, notamment l'agressivité de la pluie R, l'érodibilité des sols K et l'effet combiné du degré et de la longueur de la pente LS, la couverture végétale C et les pratiques antiérosives P. Sa détermination permet de connaître la répartition et l'intensité du risque érosif au niveau du bassin versant de Rmel.

La combinaison et le traitement sous SIG de ces facteurs présentés a permis d'élaborer à l'échelle du bassin du Rmel la carte de l'érosion potentielle ou du risque érosif. Les valeurs de l'érosion potentielle (t/ha/an) obtenues à l'échelle du bassin ont ensuite été regroupées en 5 classes de valeurs. En se référant aux cartes des différents facteurs, la concentration des fortes vulnérabilités à l'érosion aux piémonts des massifs montagneux qui représentent des zones peu protégées par le couvert végétal et d'autre part ils présentent des niveaux d'élévation moyennement forts. Aussi, les autres zones vulnérables concernent principalement des sols peu évolués d'apports alluviaux profonds mais très érodables ou les sols calcimagnésiques avec une occupation des sols en céréales ou en parcours. En simulant les pertes en sols pour des valeurs minimales (82,2), moyennes (94,5) et maximales (117,3) de l'érosivité de la pluie, l'érosion moyenne est respectivement 4,2 T/ha/an, 4,9 T/ha/an et 5,4 T/ha/an. Le modèle RUSLE sous-estime légèrement l'érosion spécifique à l'échelle du bassin versant estimée à environ 5,25 T/ha/an.



(a) Carte correspondant à une érosivité de pluie minimale

(b) Carte correspondant à une érosivité de pluie moyenne

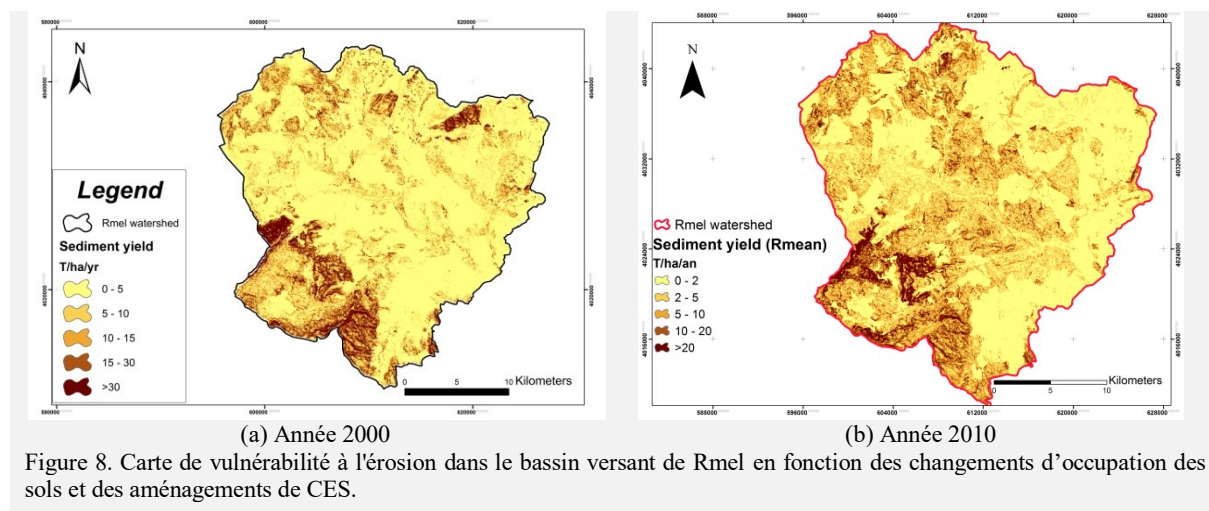
(c) Carte correspondant à une érosivité de pluie maximale

Figure 7. Carte de vulnérabilité à l'érosion dans le bassin versant de Rmel.

Ce résultat peut être expliqué par le fait que l'érosion est principalement provoquée par les événements extrêmes lors des années assez pluvieuses et surtout caractérisées par des averses intenses et que la valeur moyenne de l'érosion spécifique mesurée sur plusieurs années peut dissimuler le fonctionnement érosif surtout à l'échelle des grands bassins versants.

Dans cette étude on s'est proposé aussi de montrer la gravité et l'évolution de l'érosion à travers l'analyse des deux principaux facteurs qui sont responsables dans le bassin de Rmel, à savoir l'occupation des sols et les aménagements de conservation des eaux et du sol.

En ce qui concerne l'évolution des facteurs interagissant avec l'érosion au cours du temps, on a déterminé l'évolution de l'occupation du sol et des aménagements en utilisant deux dates (2000 et 2010). La comparaison entre deux périodes différentes permet d'apprécier la dynamique de l'occupation des sols. Les changements entre l'année 2000 et l'année 2010, concernent principalement l'expansion des terrains couverts par les cultures annuelles (céréales) en dépend des parcours et des forêts. L'érosion moyenne pour les années 2000 est estimée à 3,3 T/ha/an alors que la simulation de l'érosion pour l'année 2010 a estimé cette valeur à 4,5 T/ha/an (figure 8).



Le comportement érosif du bassin versant peut-être expliquer plus par le changement de l'aptitude des sols (occupation des sols) que par les aménagements de conservation des eaux et du sol qui ne concernent en grande partie que les zones céréalières sur les terrains à fortes pentes.

Les résultats de simulation du modèle RUSLE appliqué au bassin de Rmel montrent que le modèle RUSLE a une forte applicabilité ; Ce modèle peut être utilisé pour simuler le processus d'érosion mais également la spatialisation des zones vulnérables à l'érosion dans ce bassin. La précision de la simulation dépend beaucoup des facteurs utilisés. Malgré des limites des données sur les intensités de précipitations et de caractérisation des sols, les résultats semblent cohérents et acceptables.

4. Conclusion

La cartographie d'érosion à l'échelle du bassin versant fournit de nombreuses informations concernant le potentiel de production de sédiments par érosion hydrique et la spatialisation des zones vulnérables. Les simulations ont permis de ressortir que l'érosion hydrique est présente et visible dans l'ensemble du bassin de Rmel. Les versants à fortes pentes subissent une érosion plus forte alors que les vallées sont moins touchées par cette érosion hydrique.

L'occupation des sols et les aménagements de conservations des eaux et du sol sont les facteurs qui permettent d'évaluer dans quelle mesure les activités anthropiques auront de l'importance dans les processus d'érosion puisque l'une des problématiques environnementales directement en lien avec ces activités est l'érosion des sols. Afin de contrôler ou même de prédire le phénomène de l'érosion, le modèle RUSLE représente un outil d'analyse spatiale de plus en plus utilisés. Des résultats intéressants ont été obtenus quant à la répartition de l'érosion d'origine anthropique. Malgré que les cartes réalisées manquent de précision, de grandes tendances sont observables.

Au niveau du bassin versant de Rmel, les méthodes d'analyse spatiale sont utilisées lors de l'inventaire des zones prioritaires et de la réalisation des travaux de conservation des eaux et du sol. La modélisation pourrait aussi être mise en avant-plan pour favoriser l'approche participative et la sensibilisation des agriculteurs face au phénomène de l'érosion.

5. Références

- Arnoldus HMJ (1980)** Methodology used to determine the maximum potential average soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, Bulletin FAO, 34.
- Collinet J, Zante P, Balieu O, Ghesmi M (2001)** Cartographie des risques érosifs sur le bassin versant du barrage collinaire de Zanfour (Nord Dorsale tunisienne). Tunis: CRDA du Kef, IRD, 39 p. + annexes.
- Dangler EW, El Swaify SA, Ahyja LR and Burnett AP (1976)**. Erodibility of selected Hawaii soils by rainfall simulation. USDA ARS and Univ. Hawaii Agric. Expt. Sta. Publ. ARS – 35. 113pp.
- Dumas J (1964)** Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques ORSTOM Tunis, série pédologie, 3, 307-333.
- Hermassi T, Cherif MA, Habaieb H (2014)** Etude du transport solide au niveau du bassin versant de Merguellil, Tunisie Centrale : Cas des bassins versants d'Etliour et de Rajela". The International Water Journal La Houille Blanche. Issue Number 4, 2014. pp. 88 - 96. doi : <http://dx.doi.org/10.1051/lhb/2014043>.
- Masson JM (1971)** L'Érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthodes expérimentales pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ. Montpellier : Université des Sciences et techniques du Languedoc-Montpellier 2, thèse de doctorat, 213 p. + annexes.
- Moore ID, Grayson RB, Ladson AR (1991)** Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrological Processes, Vol.5, No.1
- Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK and Yoder DC (1997)** Predicting soil erosion by water-a-guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washington, Handbook, 404 p.
- Wischmeier WH, Smith DD (1978)** Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agricultural Handbook No. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC, 58.
- Zante P, Collinet J, Leclerc G (2003)** Cartographie des risques érosifs sur le bassin versant de la retenue collinaire d'Abdessadok (nord dorsale tunisienne), Institut de Recherche pour développement, Tunisie, pp 13-18+ annexes.