

[01114] ETUDE DE LA SENSIBILITÉ À L'ÉROSION HYDRIQUE DANS LE BASSIN VERSANT D'OURIKA (HAUT ATLAS, MAROC)

Modeste Meliho¹, Abdellatif Khattabi², Abdenebi Zine El Abidine²

¹ Institut Scientifique, Rabat, Maroc, melmos44@yahoo.fr

² Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc, ab_khattabi@yahoo.com

ABSTRACT

The Ourika watershed is a sub basin of the Tensift river basin, located on the northwest of the High Atlas. Its ecosystems have suffered throughout their history important changes under the influence of several factors, including human factors and environmental constraints. The objective of this research is to study the sensitivity of the basin to water erosion. To approach this objective, we used the method of predictive mapping PAP/RAC, validated by field observations. The results of the study of sensitivity to erosion revealed that 75% of the watershed has high to very high sensitivity to erosion. A proportion of 50% of the area of the basin is of a high sensitivity to erosion and 25% of a very high susceptibility to erosion. These areas corresponds to the land with steep slopes, to lands covered with herbaceous plants, or degraded forests. Moderate sensitivity to erosion concerns 18% of the basin area and corresponds to lands with low and moderate slopes, and/or lands occupied by a dense canopy or appropriate agricultural practices. Only 7% of lands are with low sensitivity to erosion and they are mainly dense forestlands or lands covered with tree crops.

Keywords: Watershed of Ourika, predictive mapping, water erosion, sensitivity, High Atlas.

RESUME

Le bassin versant d'Ourika est un sous bassin du grand bassin de Tensift situé sur le versant nord-ouest du Haut Atlas de Marrakech. Ses écosystèmes ont subi au cours de leur histoire, d'importants changements sous l'action de plusieurs facteurs dont notamment les facteurs anthropiques et les contraintes écologiques. L'objectif est d'étudier la sensibilité du bassin à l'érosion hydrique par la méthode de la cartographie prédictive PAP/CAR, validée par des observations sur le terrain. Les résultats de l'étude de la susceptibilité à l'érosion révèlent que 75% du bassin versant est d'une sensibilité à l'érosion élevée à très élevée. Une proportion de 50% de la superficie du bassin est d'une sensibilité élevée à l'érosion et 25% d'une susceptibilité très élevée à l'érosion. Ces zones concernent les terrains à fortes pentes, à cultures ou matorrals qui possèdent soit un couvert végétal herbacé ou dégradé, avec des labours sur des terres en pente et à formation superficielle peu résistante. Les unités moyennement sensibles à l'érosion occupent 18% de la superficie du bassin et correspondent aux affleurements à pente modérée à faible, et/ou sont occupés par un couvert végétal dense, ou des sols où les pratiques culturales sont appropriées. Par contre, les classes des sols à risque très faible (7% du bassin) sont localisées principalement au niveau des arboricultures et des forêts denses.

Mots clés : Bassin versant d'Ourika, cartographie prédictive, érosion hydrique, sensibilité, Haut Atlas de Marrakech.

1. INTRODUCTION

La dégradation des terres prend mondialement de l'ampleur sur plus de 20% des terres cultivées, 30% des forêts et 10% des prairies (Bai *et al.*, 2008). L'érosion hydrique est la principale forme de dégradation des terres dans le monde (Pimentel *et al.*, 1995 ; Nanna, 1996 ; Flanagan, 2002). Plus de 56% de dégradation des terres est due à l'érosion hydrique qui augmente la perte de productivité des terres (Elirehema, 2001). Elle affecte négativement la production agricole et forestière, la qualité des eaux et les infrastructures (Vrieling, 2006).

Dans la région méditerranéenne, les sols sont sensibles aux risques d'érosion. Ils sont exposés à de fortes et intenses précipitations, provoquant un phénomène de ruissellement marqué, accéléré par une topographie vallonnée ou montagneuse associée à un faible couvert végétal (Albergel *et al.*, 2010).

Au Maroc, l'érosion des sols prend annuellement de plus en plus d'ampleur en ce sens que, ces dernières décennies, l'espace naturel marocain a subi des altérations considérables. En effet, les dégradations spécifiques dépassent 20 t/ha/an dans les versants du Rif au Nord, entre 10 et 20 t/ha/an dans le Pré-Rif, entre 5 et 10 t/ha/an dans les Moyen et Haut Atlas et moins de 5 t/ha/an dans les autres régions (Ghanam, 2003). De plus, les retenues de barrages perdent annuellement l'équivalent de 75 millions m³ de leur capacité de stockage suite à l'envasement des retenues résultant de l'érosion. Cette perte correspond à une possibilité d'irrigation de l'ordre de 5 à 6000 ha / an (Sabir *et al.*, 2007).

Le bassin versant d'Ourika est un sous bassin du grand bassin de Tensift qui se situe sur le versant nord-ouest du Haut Atlas. Il constitue l'un des bassins versants les plus importants de la chaîne du Haut Atlas (Ouhammou, 1986).

Les contraintes dont est sujet le bassin versant de l'Ourika sont une topographie très accidentée, des substrats friables, un climat rude et brutal, une couverture végétale peu dense et un impact humain de plus en plus croissant. Ceci le rend vulnérable aux phénomènes d'érosion hydrique (Ouhammou, 1986 ; Alifriqui, 1993 ; El Qayed, 2008, Cheggour, 2008).

A l'instar des autres zones du Haut Atlas, le bassin versant d'Ourika illustre parfaitement la problématique de la dégradation des ressources naturelles et soulève de nombreuses questions par rapport à la rationalité de la gestion de ses ressources à l'état actuel et dans l'avenir. Cette étude se donne comme objectif d'étudier la sensibilité à l'érosion hydrique de ce bassin en vue de dégager des conclusions et recommandations pour son aménagement antiérosif.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Zone d'étude

Le bassin versant de l'Ourika se situe dans le Haut Atlas de Marrakech et constitue un sous bassin atlasique du grand bassin versant du Tensift (Figure 1). Il couvre une superficie de 576 km².

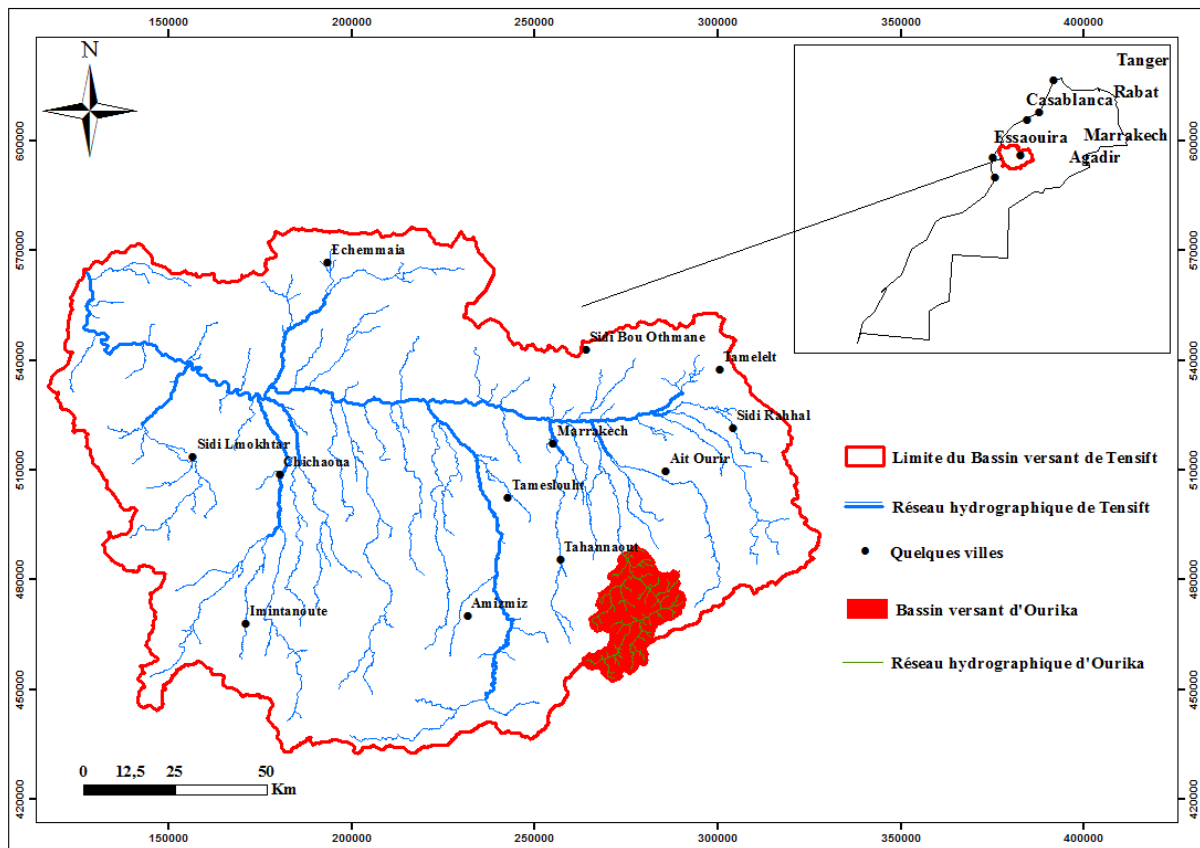


Figure 1 : Situation géographique du bassin versant de l'Ourika

Sur le plan topographique, l'altitude moyenne s'élève à 2500 m avec prédominance de terrains compris entre 1600 et 3200 m (75%). Le point culminant du bassin est celui de Jbel Iferouane (4001 m) et son exutoire se trouve à une altitude de 848 m. Ses pentes sont généralement fortes, amplifiant ainsi les phénomènes de ruissellement et de l'érosion.

Sur le plan géologique, le bassin versant d'Ourika offre deux grands types de faciès (Biron, 1982) : un substrat rocheux dur (roche éruptives ou métamorphiques) situé dans la partie amont du bassin versant et un substrat tendre à moyennement tendre composé de dépôts permo-triasiques et quaternaires situé à des altitudes inférieures.

Les ravins de la partie amont traversent un substrat rocheux dur caractérisé principalement par de faibles apports solides. Les eaux au moment des crues sont claires et non chargées. Les ravins situés dans la partie centrale du bassin sont par contre très vulnérables au phénomène d'érosion et charrient des apports solides et liquides. Le climat du bassin versant de l'Ourika est caractérisé par une grande variabilité spatiotemporelle. Les précipitations annuelles sont en moyenne de 500 mm. Cette pluviométrie augmente avec l'altitude. Elle est de l'ordre de 400 mm au piedmont et peut dépasser 700 mm par an sur les hauts sommets du bassin.

Le couvert végétal dans le bassin se trouve en grande partie dans l'étage Oroméditerranéen à base de matorrals de xérophytes épineuses et d'hémicryptophytes d'altitude (Ouhammou, 1986). La même composition domine au niveau du Montagnard, qui est marqué aussi par la présence de quelques pieds de genévrier. La végétation arborée au niveau du bassin versant, est représentée par les étages Méditerranéen, Mésoméditerranéen et Thermoméditerranéen. Il s'agit essentiellement de forêts de chêne vert, de genévriers et de thuya (Ouhammou, 1986).

2.2 Méthodologie

La carte de la susceptibilité à l'érosion hydrique a été établie en utilisant la méthode PAP/CAR (1998) et des observations sur le terrain. Elle consiste principalement en le traitement de données selon la démarche méthodologique présentée dans la figure 2 selon les étapes suivantes :

- élaboration de la carte des pentes à partir du MNT et choix de 4 classes de pentes (Tableau 1). En parallèle, il y a la dérivée de la carte de lithofaciès à partir de la carte géologique (Tableau 2) ;
- l'obtention de la carte d'érodabilité par la superposition des cartes des pentes et des lithofaciès ;
- calcul des indices hydrologiques à partir du MNT et élaboration de la carte d'agressivité de l'écoulement (Tableau 3). Pour Beven et Kirkby (1979) l'indice topographique (IT) décrit les effets de la topographie sur la position et la taille des zones saturées d'eau. Il constitue un indicateur de répartition des zones de drainage. D'après Dymonde et Harmsworth (1994) et Moore et al. (1993), l'indice d'énergie de l'eau (IEE) met en évidence le potentiel d'érosion du ruissellement, constituant ainsi un indicateur de l'aptitude de la topographie au détachement des particules de sol.
- l'obtention de la carte d'érosion potentielle par la superposition des cartes d'érodabilité et d'agressivité d'écoulement ;
- l'obtention de la carte de susceptibilité à l'érosion hydrique par la superposition des cartes d'érosion potentielle et du taux de couvert végétal.

Les différentes formes d'érosion et l'identification des différentes classes de sensibilité à l'érosion hydrique ont été relevées sur le terrain par observation. Des coordonnées d'une soixantaine de points ont été relevées par classe et ont été utilisées pour la validation de la carte de sensibilité à l'érosion obtenue.

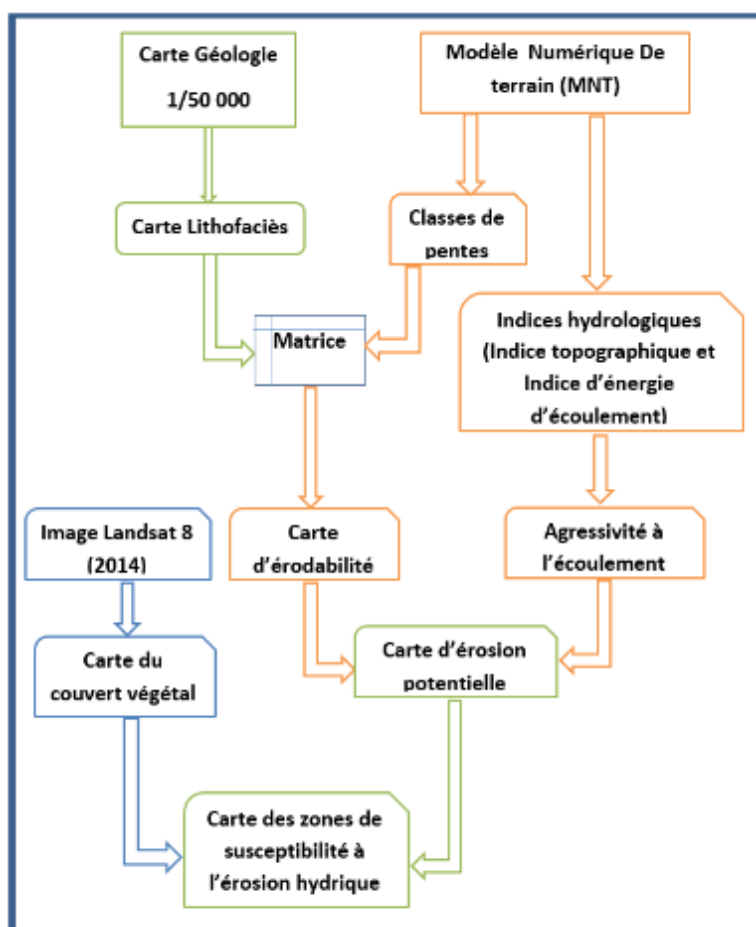


Figure 2 : Méthodologie de la cartographie des zones de susceptibilité à l'érosion hydrique (PAP/CAR, 1998).

Tableau 1: Classes de pentes utilisées

Numéro de la classe des pentes	Classes de pente	Type de pente
1	0 – 5%	Faible
2	5 – 15%	Modérée
3	15 – 35%	Abrupte
4	> 35%	Très abrupte

Tableau 2: Classes de lithofaciès

Classes de lithofaciès	Type de matériel	Vulnérabilité à l'érosion
1	Roches compactes non altérées, conglomérats fortement cimentés, croûte, affleurements de grès ferrugineux (calcaires massifs, sols fortement rocheux, roches ignées ou éruptives, sols localement encroûtés).	Pas vulnérable
2	Roches ou sols cohésifs fracturés ou modérément altérés	Peu vulnérable
3	Roches ou sols sédimentaires facilement ou modérément compactés (ardoise, schiste, marne, etc.).	Vulnérable
4	Roches et/ou sols peu résistants ou fortement/profondément altérés (marne, gypse, ardoise argileuse, etc.) et sédiment ou sol meuble, non cohésif et matériel détritique.	Très vulnérable

Tableau 3 : Signification des indices topographique (IT) et d'énergie de l'eau (IEE) (Beven et Kirkby, 1979 ; Dymonde et Harmsworth, 1994).

IT= $\ln(A/\tan \alpha)$ A : aire drainée en chaque point α : pente locale		IEE= $\ln(A*\tan \alpha)$ A : aire drainée en chaque point α : pente locale	
Valeur d'IT	Drainage en profondeur	Valeur d'IEE	Pouvoir érosif
< 8	Faible	< 2	Faible
8-10	Moyen	2-4	Moyen
>10	Fort	>4	Fort

3. RESULTATS ET DISCUSSION

L'utilisation conjointe des deux indices (IT et IEE) a permis d'obtenir la carte d'agressivité de l'écoulement (Figure 3). L'agressivité de l'écoulement de surface est élevée sur les talwegs et les cours d'eau du fait qu'ils drainent des grandes surfaces et l'écoulement sera très concentré ce qui implique un potentiel érosif élevé. Sur les versants l'agressivité de l'écoulement de surface est moyenne alors qu'elle est faible dans les aires de départ de flux (ligne de crête).

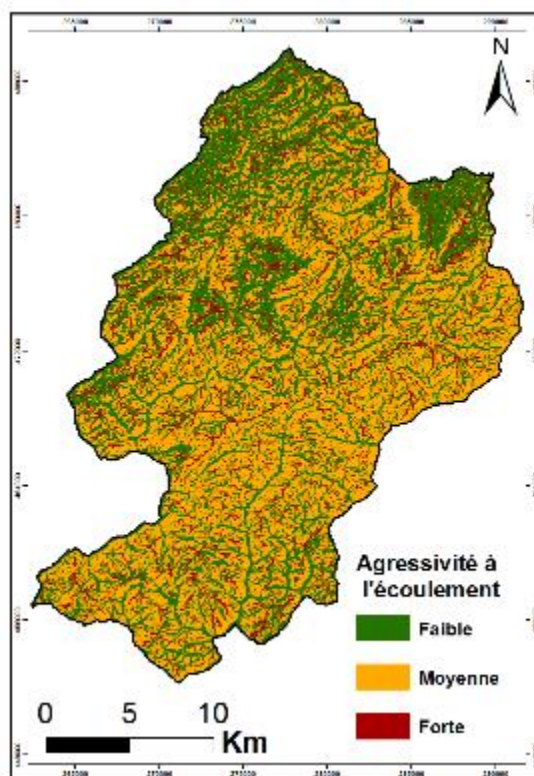


Figure 3. Carte d'unité de réponse dynamique relative au potentiel d'agressivité de l'écoulement superficiel dans le bassin versant d'Ourika.

La pente constitue un facteur déterminant dans le démarrage des processus d'érosion. Une pente forte accélère le ruissellement ; par conséquent, la vulnérabilité du sol à l'érosion augmente. Plus de 50% des pentes du bassin versant d'Ourika sont très abruptes (Figure 4).

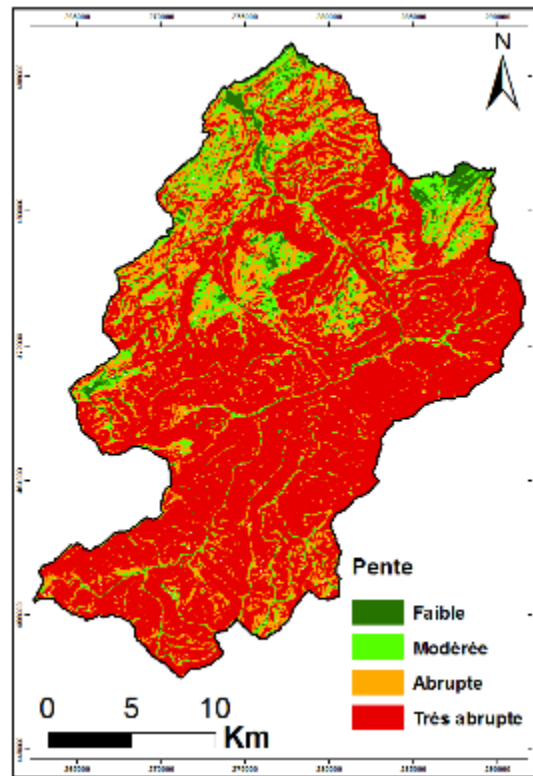


Figure 4. Carte des classes de pentes dans le bassin versant d'Ourika.

Les faibles valeurs de pente sont situées au niveau des plateaux et les pentes modérées dans la zone subatlasique, le long des talwegs.

La carte des lithofaciès a été établie à partir d'une reclassification des données géologiques et lithologiques dérivées de la carte géologique au 1/50 000 couvrant la zone d'étude (Figure 5). On constate que plus de 50% du bassin versant d'Ourika est constitué d'un substrat rocheux dur résistant à l'érosion et plus de 25% du bassin est constitué par les grès et marnes rouges très vulnérables à l'érosion hydrique.

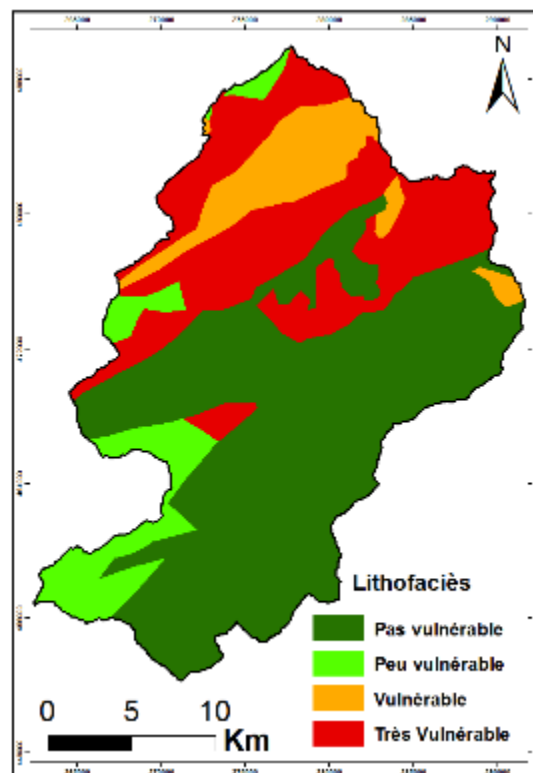


Figure 5. Carte des lithofaciès du bassin versant d'Ourika

La carte d'érodabilité est le résultat de la superposition de la carte des pentes et de la carte des lithofaciès. Le résultat obtenu est présenté dans la figure 6.

On peut voir que les matériaux magmatiques rocheux durs de la zone axiale ont une érodabilité moyenne même si le substrat est très résistant à l'arrachement. Ceci est dû aux pentes très fortes qui facilitent et accélèrent les processus d'érosion du sol. Les matériaux qui ont une érodabilité très élevée sont les grès et marnes rouges triasiques et post-triasiques, de même que les schistes Viséen.

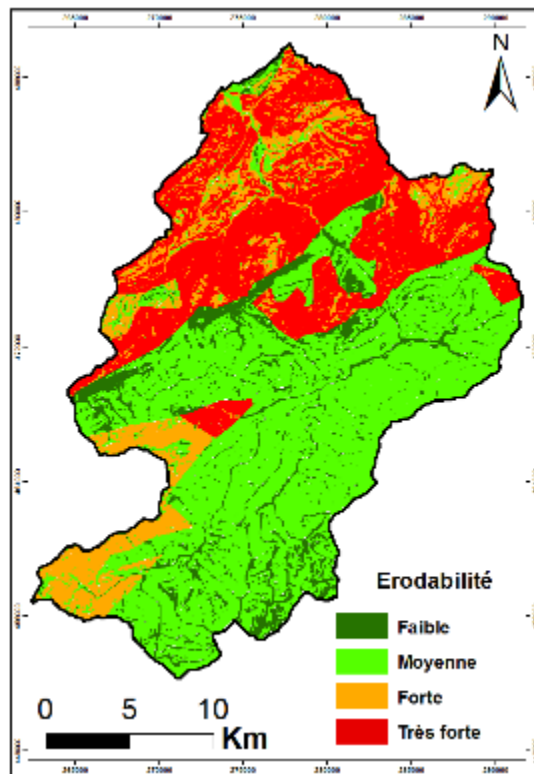


Figure 6. Carte d'érodabilité du bassin versant d'Ourika.

La carte d'érosion potentielle est obtenue par la superposition de la carte d'agressivité d'écoulement à la carte d'érodabilité. La carte de sensibilité à l'érosion hydrique est obtenue par la superposition de la carte d'érosion potentielle et la carte du taux de couvert végétal. La carte du taux de couvert végétal a été obtenue en calculant l'indice de végétation NDVI à partir de l'image Landsat 8 de l'année 2014.

La figure 7 présente la carte de sensibilité à l'érosion hydrique. Elle renseigne que la majorité des terrains qui n'ont pas de couvert végétal sont classés dans les zones de sensibilité à l'érosion élevée à très élevée. Les zones où le couvert végétal est dense sont les plus protégées contre l'érosion hydrique.

L'identification, l'évaluation et l'intégration des différents facteurs physiques de base, tels que la physiographie (pente), la lithologie, les indices hydromorphométriques et le taux du couvert végétal dans un environnement SIG (logiciel Arcgis), selon la méthodologie de la cartographie prédictive utilisée, permet d'obtenir la carte de susceptibilité à l'érosion hydrique (Figure 7).

La validation de la carte de sensibilité à l'érosion a été faite à partir des points de vérité-terrain pris lors de l'identification des classes de susceptibilité et des formes d'érosion sur le terrain. Le coefficient Kappa calculé à partir de la matrice de confusion est de 79,46%. La carte de sensibilité à l'érosion hydrique obtenue est donc d'une bonne précision.

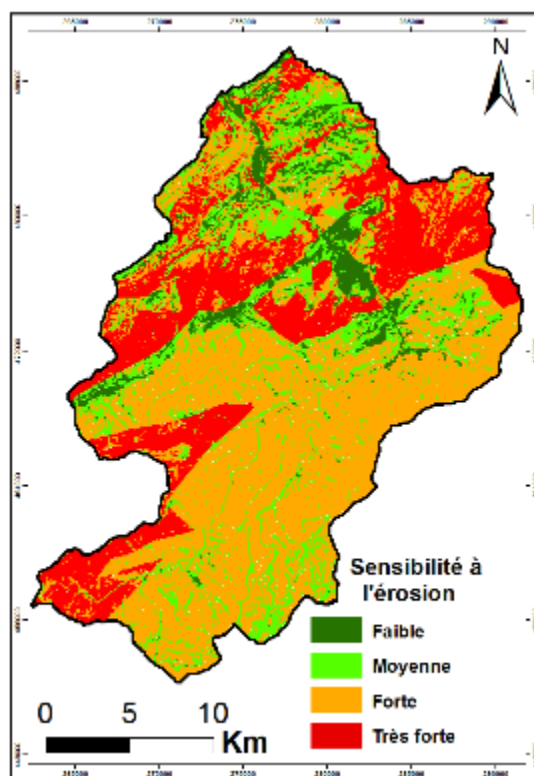


Figure 7. Carte de sensibilité à l'érosion hydrique dans le bassin versant d'Ourika

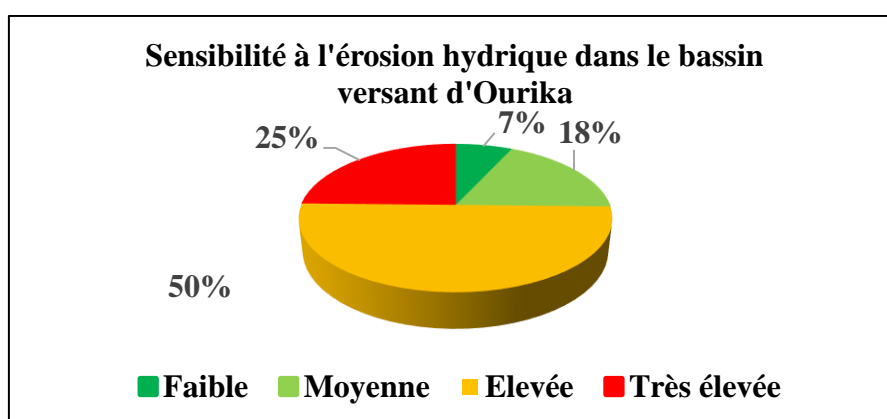


Figure 8 : Classes des risques d'érosion des sols dans le bassin versant d'Ourika.

On note une dominance des sols à sensibilité à l'érosion hydrique élevée à très élevée (figure 5) qui concernent 75% de la superficie totale de la zone d'étude (Figure 3 et 4). Une proportion de 50% de la superficie du bassin est d'une sensibilité élevée à l'érosion et 25% d'une susceptibilité très élevée. Ces zones concernent les terrains à fortes pentes, à cultures ou matorrals qui possèdent soit un couvert végétal herbacé ou dégradé, avec des labours sur des terres en pente et à formation superficielle peu résistante.

Les unités moyennement sensibles à l'érosion occupent 18% de la superficie du bassin et correspondent aux affleurements à pente modérée à faible, et/ou sont occupés par un couvert végétal dense, ou des sols où les pratiques culturales sont appropriées. Par contre, les classes des sols à risque très faible (7% du bassin) sont localisées principalement au niveau des arboricultures et des forêts denses, où le sol bien protégé facilite le ruissellement et limite les risques de ruissellement et d'érosion.

La cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique au niveau du bassin versant d'Ourika, et les observations effectuées sur le terrain, fournissent des informations sur l'importance et l'état actuel de la dégradation des sols. Elles traduisent l'état très avancé de l'érosion résultant de la prédominance des formations meubles marno-limoneuses, des pentes fortes et du couvert végétal peu dense.

L'érosion hydrique dans la zone d'étude est très active. Elle y est représentée par toutes les formes d'érosion, de l'érosion en nappe jusqu'aux ravinements hiérarchisés et « badlands ». Elle se manifeste essentiellement sous forme de ravinement sur les sols à substrat tendre (les marnes et sols limono-argileux) et par décapage et appauvrissement

des sols par le départ de la partie colloïdale (argile et humus) des horizons de surface qui deviennent ainsi très caillouteux et marginaux. Aussi, l'action de l'homme qui a favorisé la dégradation du milieu naturel par des pratiques culturelles irrationnelles telles que l'extension des superficies mises en culture sur des versants fortement en pente, le labour souvent suivant le sens de la pente, l'assolement inadapté et le surpâturage laissant de grandes surfaces nues et soumises aux pluies agressives.

4. CONCLUSION

Le bassin versant de l'Ourika est hautement sensible à l'érosion hydrique. La conjugaison des facteurs biophysiques (pentes fortes, roche tendre très érodable, sol très peu perméable, couvert végétal dégradé) et des facteurs climatiques (agressivité de pluie accentuée par des événements pluviométriques extrêmes), fait du bassin l'une des zones les plus vulnérables à l'érosion. La détermination des zones sensibles permet de définir les zones prioritaires pour l'orientation des propositions d'adaptation relatives à des interventions d'aménagement et de conservation des sols. Les résultats de l'étude de la susceptibilité à l'érosion révèlent que 75% du bassin versant est d'une sensibilité à l'érosion élevée à très élevée. Il s'avère donc nécessaire d'intervenir urgemment par des mesures de lutte antiérosives par des aménagements pour la régulation et le contrôle des phénomènes d'érosion.

Remerciement : Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet GIREPSE (www.gire-pse.com) financé par le Centre de Recherche et de Développement International (CRDI), Canada, et mis en œuvre par l'Association Marocaine des Sciences Régionales (www.amsr.ma) en collaboration avec d'autres institutions nationales et internationales.

REFERENCES

- Albergel J., Collinet J., Zante P. et Hamrouni H. (2010). Le rôle de la forêt méditerranéenne dans la conservation de l'eau et du sol. *What Science Can Tell Us*, 1.5., 12p.
- Alifriqui M. (1993). La dynamique du couvert végétal dans le Haut Atlas de Marrakech : causes et conséquences. *Montagnes et Hauts Pays de l'Afrique. Utilisation et Conservation des ressources*. Université Mohamed V. Publication de la faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Rabat. Série Colloque et Séminaires n° 29 : 319-329.
- Bai Z.G., Dent D.L., Olsson L. & Schaeppman M.E. (2008). Global assessment of land degradation and improvement. 1. Identification by remote sensing. Report 2008/01, ISRIC – World Soil Information, Wageningen. LADA technical Report no. 12.
- Beven K.J. & Kirkby M.J. (1979). A Physically Based, Variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, vol. 24, n°1, p. 43-69.
- Cheggour A. (2008). Mesures de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales dans un bassin versant montagneux semi-aride et spatialisation par des S.I.G. : Application au bassin versant de la Rhéraya, Haut Atlas, Maroc. Thèse de doctorat, Université Cadi Ayyad faculté des sciences Semlalia – Marrakech, 209p.
- Dymonde J.R. & Harmsworth G.R. (1994). Towards automated land resources mapping using digital models. *ITC Journal*, n° 2, p. 129-138.
- El Qayedy J. (2008). Apport de la télédétection et du système d'information géographique dans la caractérisation et l'identification des zones de susceptibilité à l'érosion hydrique dans le Haut Atlas de Marrakech. Thèse de doctorat, Université Cadi Ayad, faculté des sciences Semlalia Marrakech, 145p.
- Elirehema, Y.S. (2001). Soil water erosion modelling in selected watersheds in Southern Spain. IFA, ITC, Enschede.
- Flanagan, D. (2002). *Erosion Encyclopedia of Soil Science*, 1st ed.; Marcel Dekker: New York, NY, USA; pp. 395–398.
- Ghanam M. (2003). La désertification au Maroc- Quelle stratégie de lutte ? Second FIG Regional Conference Marrakech, Morocco, December 2-5, 2003.
- Nanna S. (1996). A geo-information theoretical approach to inductive erosion modelling based on terrain mapping units. PhD, Wageningen Agricultural University, Wageningen.
- Ouhammou A. (1986). Recherche sur l'étagement de la végétation dans le versant de l'oued Ourika (Haut Atlas Central, Maroc). Th. 3e cycle. Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Marrakech: 181p.
- PAP/CAR (1998). Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes. PAP8/PP/GL.1, Split, Centre d'Activités Régionales pour le programme d'Actions Prioritaires (PAM/PNUE), en collaboration avec la FAO, Rome, Italie, 72p.
- Pimentel D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair K., Kurz D., McNair M., Crist S., Shpritz L., Fitton L., Saffouri R., Blair R. (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267, 1117– 1123.
- Sabir M., Roose E., Ouagga T., Bensalah N., Dore L., 2007. Utilisations des terres et risques de ruissellement et d'érosion dans les montagnes au Maroc, Actes des JSIRAUF, Hanoi, 6-9 novembre 2007, 6p.
- Vrieling, A. (2006). Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review, *CATENA*, pp. 2-18.