

QUANTIFICATION ET EVALUATION 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)

Amal Markhi, PhD
Nour-Eddine Laftouhi, Dr.
Abderrahmane Soulaïmani, Dr.
Fatima Fniguire, PhD

Cadi Ayyad University Laboratory GEOHYD, Department of Earth
Sciences, Faculty of Science Semlalia, Marrakech, Morocco
URAC 44, Associated Research Team to the National CNRST

Abstract

Located in the High Atlas central-western, N'Fis basin shows a dissected topography, frequent and violent floods, and its characterization by a litho-stratigraphic succession from the Precambrian to the current that engender significant erosion, and cause reservoirs siltation.

This study aims to map areas vulnerable to erosion in the N'Fis Basin, developed a Geographic Information System (GIS) into account soil types, networks of drainage and traffic direction integrating remote sensing and spatial data. The results highlight the hydrographic phenomena and their effects on water resources. To achieve the objective of calculating the RUSLE equation Factor, it was based on annual and monthly climate data, field missions, the digital elevation model and satellite imagery.

The result indicates a change in the rate of erosion and the values are between 7t / ha / year downstream of the wadi N'fis and a maximum value 1221t / ha / year to non-arable areas and areas with strong slope values.

Keywords: High Atlas of Marrakech, erosion, GIS and remote sensing, , siltation dam, spatial approach.

Résumé

Situé dans le Haut Atlas centre-occidental, le bassin de N'Fis montre une topographie accidentée disséquée, de fréquentes et violentes inondations, et sa caractérisation par une succession litho-stratigraphique allant du Précambrien terminal à l'actuel engendrent une importante érosion, et entraînent l'envasement des réservoirs.

Cette étude, a pour objectif de cartographier les zones vulnérables à l'érosion dans le bassin de N'Fis, en élaboré un Système d'information Géographique (SIG) tenant compte des types de sol, ses réseaux de drainage et du sens de circulation et intégrant les données spatiales de télédétection. Les résultats obtenus mettent en évidence les phénomènes hydrographiques et leurs effets sur les ressources en eau. Afin d'atteindre l'objectif de calculer les Facteur de l'équation RUSLE, on s'est basé sur des données climatiques annuelles et mensuelles, les missions de terrain, le modèle numérique de terrain et l'imagerie satellitaire.

Le résultat obtenu indique une variation de la valeur de taux d'érosion, entre 7t/ha/an à l'aval de l'oued N'fis et une valeur maximal 1221t/ha/an vers les zones non cultivables et les zones qui ont des fortes valeurs de pente.

Mots clefs: Haut Atlas de Marrakech, érosion, SIG et télédétection , Envasement des barrages, Approche spatial.

Introduction:

L'action variable de l'érosion hydrique et du ruissellement hydrique n'est pas un fait nouveau (Lawani-A.-Mounirou, 2012), elle est naturelle ou géologique lorsqu'elle correspond plus ou moins à un état d'équilibre entre pédogenèse et le transport des particules meubles (Cheggour, 2008). On estime que sur une superficie de 20 millions d'hectares des bassins versants, 50 % présentent des risques d'érosion. En général, l'érosion spécifique varie entre 2000 à 4000 t/km²/an (Demmak, 1982).

le Maroc compte parmi l'un des pays les plus exposés et menacés par l'érosion, ce qui entraîne un envasement moyen annuel des retenues des barrages à raison de 125 millions m³ (Remini W. et Remini B., 2003) qui est responsable de la réduction de la capacité des réservoirs de 0,5% par année qui menace la sécurité alimentaire (Lahlou, 1996).

Le bassin de N'Fis présente un relief accentué, sous un climat semi-aride à sub-humide, caractérisé par une pluviométrie à forte variation spatio-temporelle. L'apport de la pluie apparaît clairement sur le bassin de N'fis. On peut dire qu'il a son écoulement principalement issue des eaux pluviales (Hanich et al, 2006), se qui favorisent une vulnérabilité accrue à l'érosion.

Par ailleurs, 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) pour l'estimation des pertes en sol au niveau des versants du modèle de Williams pour prédire, la production de sédiments au niveau de l'exutoire des sous bassins versants (Yjjou, 2014). RUSLE est un modèle empirique et spatialisé (Renard et al, 1997) développé à l'origine par Wischmeier et Smith en 1958. Le principe consiste à intégrer, dans un système d'information géographique (SIG), la majorité des facteurs figurant dans le modèle empirique RUSLE.

Le but de l'étude consiste à élaborer un ensemble de cartes thématiques présentant les résultats de l'analyse des différents facteurs intervenant dans le phénomène de l'érosion ainsi que des cartes de l'érosion potentielle et de la vulnérabilité au risque d'érosion. En outre, l'identification des facteurs d'érosion et les zones vulnérables à l'érosion du sol pourraient être très utiles à évaluer l'expansion et le degré des risques et, finalement, d'élaborer des mesures et conservation des sols et des plans de gestion de l'eau.

I. Présentation de la zone d'étude

le bassin de N'fis est limité à l'Est par le sous bassin de Rhéraya, au Nord par la plaine de Haouz et à l'Ouest par Assif El mal. Selon (Amrhar, 1995) le bassin versant s'étend sur une longueur de 900 Km et une largeur moyenne de 80 Km.

Le bassin versant de N'fis est considéré comme le bassin le plus étendu du Haut Atlas occidental. Il est orienté NE-SW entre 30,5 et 31,2° Nord et entre les longitudes 7, 55° et 8, 40° W, selon une superficie de 1707Km², (El Wahidi, 2004), le bassin versant du N'Fis se divise en trois zones (Fig.1):

- Une zone avale située entre le Haouz de Marrakech et les cuvettes des Goundafa ;
- Une zone moyenne; correspondant plus ou moins au synclinal permo-triasique dit du N'Fis ;
- Une zone amont qui abandonne le synclinal et se dirige vers l'ouest à travers le massif cambrien schisteux et calcaire jusqu'au massif granitique du Tichka.

Sa superficie de drainage est de 1636km² au niveau du barrage (Lalla Takerkoust), il coïncide avec les zones de ruissellement actif, avec la limite aval. Son cour d'eau qui prend sa source à partir de Jbel Tichka est considéré comme le plus grand et parmi les principaux oueds de l'Atlas.

Le bassin versant de N'fis est géomorphologiquement connu par la dominance des cônes de déjection, terrasses fluviaux et torrentiels, dont les surfaces sont creusées par plus ou moins des profonds ravins (Nahid, 2002).

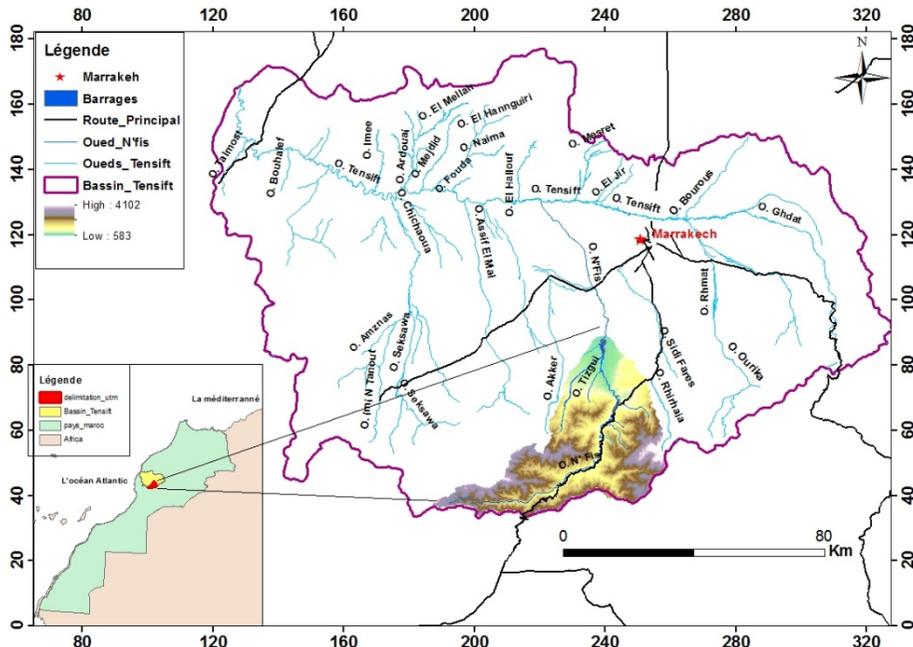


Fig. 1.-Carte de situation du bassin versant de N'Fis

De point de vue géologique et en se basant sur la carte géologique du Maroc 1/50000, on peut distinguer:

Au nord du bassin, une grande dépression des terrains permotriassiques, jurassiques et, constitués par des grès, marnes ou argiles salifères et par des couches calcaires qui appartiennent soit au Jurassique soit au Crétacés ou à l'Eocène.

A l'est,affleure essentiellement des calcaires métamorphiques d'âge primaire et des laves anciennes constituées par des andésites et rhyolites précambriennes.

le centre et l'ouest correspondent à la partie montagneuse. On y distingue: Un grand affleurement des schistes et grès,des grandes dépressions de permo-trias et des massifs granito-dioritiques. On retrouve aussi ces affleurements sur le flanc occidental du massif de Tighardine au dessus de Tagadirt et plus au nord aux alentours de la gorge du N'Fis entre le Tighardine.

On peut conclure que l'essentiel du bassin versant du N'fis est de nature schisteuse. Le reste est reparti entre les faciès gréseux au niveau des cuvettes, des calcaires et le granite qui domine le plateau de Tichka (Fig.2)

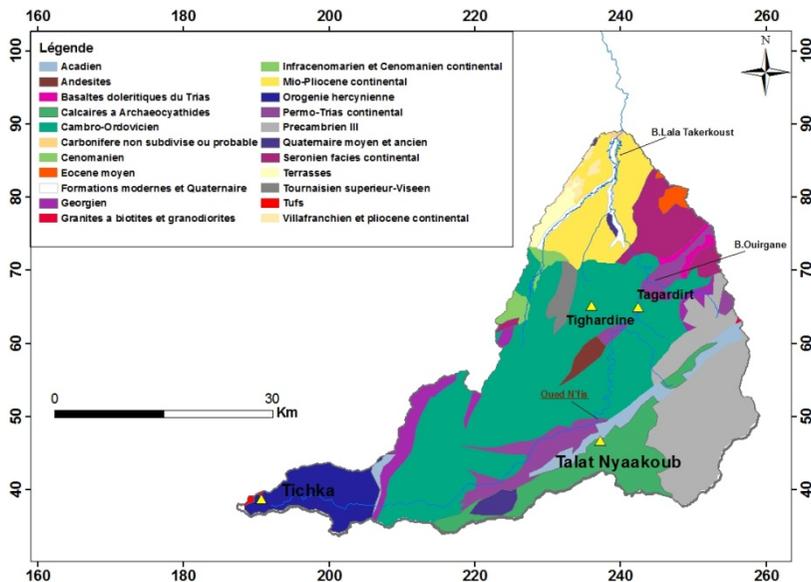


Fig.2.- Carte géologique du bassin versant de N'Fis (la carte géologique de Marrakech 1/500000)

La répartition des sols au niveau du bassin de N'Fis (Fig.3) dépend principalement de la nature de la roche mère, fonction de l'altitude, de la pente et de l'exposition des versants (Al ifriqui, 1986). (Mathieu, 2002) s'est basé sur une approche « morpho-pédologique » afin de réaliser une étude des pédo-paysages du bassin versant du Tensift.

Les unités pédologiques de type sols sableux et argileux forment deux ensembles différents orientés NE-SW à savoir les sols de type rankers, sols peu évolués et Les sols de type rendzines.

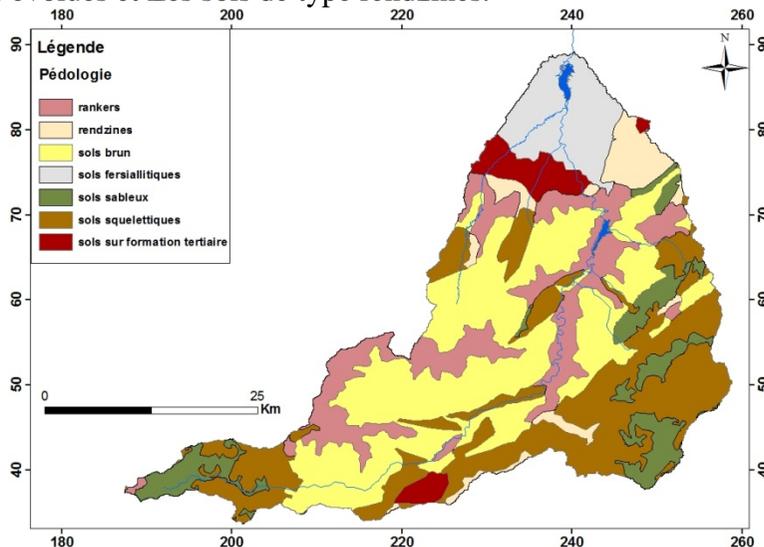


Fig. 3. Cartographie des principaux types de sol du bassin versant de N'Fis (Mathieu,2002)

L'occupation des sols du bassin versant est caractérisée par la diversité de la végétation naturelle ; d'après le département des eaux et forêts DREF, deux forêts se localisent en amont Goundafa et d'Aghbar. Les terrains de cultures telles que la céréaliculture et l'arboriculture sont localisés dans les parties inférieures et centrales du bassin versant ou les zones à faibles pentes. La carte de l'occupation des sols était extraite par la technique de la télédétection spatial, tel qu'elle était établie à travers le traitement de l'imagerie satellitaire Landsat OLI8. La classification dirigée par la méthode de maximum de vraisemblance établie sur l'outil de traitement d'image Envi, les classes obtenues sont comme suit (Fig.4):

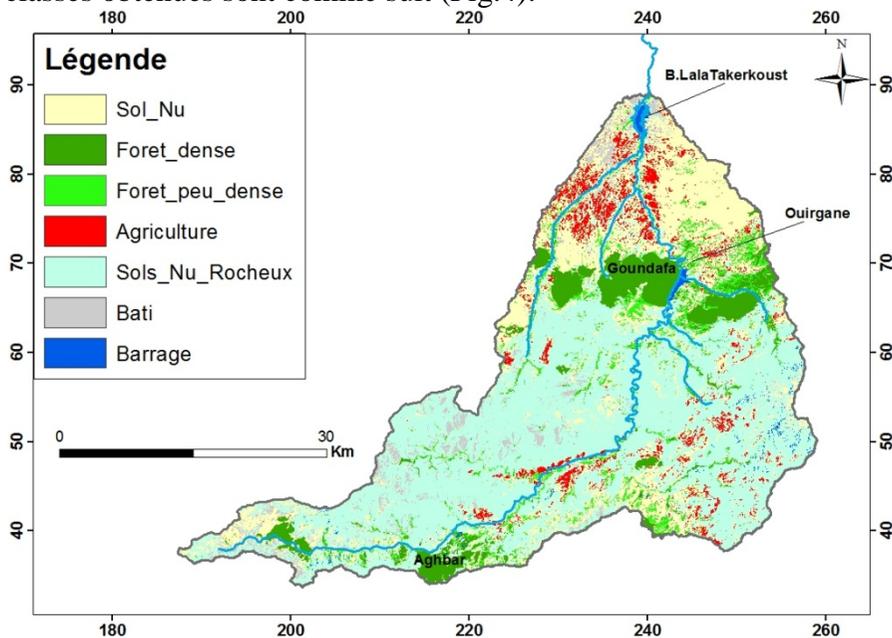


Fig. 4.-Carte d'occupation des sols du bassin versant de N'Fis

Matériel et méthodes

Le modèle empiriques RUSLE est basé sur l'Equation universel des pertes de sols de Wischmeier et représente une amélioration de l'ancienne. L'équation de Wischmeier révisée était combinée avec les techniques de SIG pour analyser le taux de perte de sol brute et pour évaluer la distribution spatiale des taux de perte de sol sur les différentes occupations des sols (Hyeon Sik Kim, 2006).

Il permet d'estimer les pertes en terres pour des prédictions à long terme (>20 ans) et concernant l'érosion en nappe et en rigole des parcelles agricoles. Il s'agit d'un modèle empirique qui réunit les facteurs ayant une incidence sur la vitesse de l'érosion par l'eau, à savoir l'énergie cinétique des pluies intenses, les propriétés du sol, les caractéristiques du terrain, la protection du sol par la couverture végétale et les pratiques anthropiques.

L'équation s'exprime au niveau d'une parcelle ou d'un versant par la relation suivante : (1) $A=R*K*LS*C*P$

Où : A : est le taux annuel de perte en sol en t/ha.an ;

R : le facteur d'érosivité des pluies exprimé en MegaJoul . mm / ha . h ; La formule la plus utilisée pour calculer le facteur R en n'utilisant que les précipitations mensuelles et annuelles est celle de Rango & Arnoldus (1987) dont l'expression est :(2)

$$\log R = 1.74 * \log \sum \left(\frac{P_i^2}{P} \right) + 1.29$$

Où P_i représente les précipitations mensuelles et P les précipitations annuelles en mm. Il est calculé en utilisant un nombre important de stations pluviométriques, par la suite les résultats ont été interpolés sur le reste du bassin. Le calcul du facteur d'érosivité R est appliqué sur une série de vingt (20) années de précipitations ;

K: le facteur d'érodibilité des sols exprimé en t.h/ha. MJ.mm ; L'ajustement de ce facteur en fonction des éléments grossiers ont été extraites de la carte pédologique de la région du bassin versant Tensift (Mathieu,2002) et complétées par des profils pédologiques creusés au moment de la prospection sur le terrain; les échantillons ont été analysés afin d'avoir les caractéristiques de chaque type de sol. Ainsi, la relation (3) a été utilisée pour l'estimation de ce facteur calculé par l'équation du nomogramme citée par (Mannaert, 1999), qui fait une combinaison entre la grosseur des particules, % de MO, code de la structure du sol et la classe de la perméabilité du profil selon l'équation de calcul:

$$(3) K = (2,1 \cdot 10^{-4} \times M1,14 \times (12 - mo) + 3,25 (S - 2) + 2,5 (P - 3))/10$$

LS : facteur topographique sans dimension représentant l'inclinaison (S en %) et la longueur de pente (L en m) ; En utilisant cette formule mathématique de Wischmeier, le facteur topographique (LS) a été calculé à l'échelle du bassin du N'fis à partir de la carte de l'inclinaison des pentes et de leur longueur obtenues à partir de traitements sous SIG du MNT de la zone d'étude par application de a formule:

$$(4) 1.6 * \text{Pow}([\text{flowacc}] * \text{resolution} / 22.1, 0.6) * \text{Pow}(\text{Sin}([\text{slope}] * 0.01745) / 0.09, 1.3)$$

C : facteur sans dimension représentant l'effet de la couverture végétale ; estimé à partir de l'indice de végétation normalisé dérivé NDVI à partir de l'imagerie satellitaire, car il transforme la réflectance de la végétation en pourcentage de la couverture végétal (Jensen, 2000). Cependant, une approche alternative a été suivie comme une réponse au manque de l'information saisonnière du couvert végétal; elle s'agit de remplacer le C-facteur avec l'indice de végétation NDVI (Ioannis Z, 2009). Dans notre étude l'NDVI est généré à partir des images Landsat 8 OLI d'une résolution spatial de 30m, tel que la réflexion de la partie du proche

infrarouge du spectre électromagnétique IR, et le rouge la réflexion dans le spectre visible supérieur, il est utilisé aussi pour calculer la signature spectrale. La relation entre le NDVI et C est déterminé par l'équation : (5) $C = \exp(-\alpha \text{NDVI} / (\beta - \text{NDVI}))$ (Zhou et al., 2008; Kouli et al., 2009).

P : facteur sans dimension, qui intègre les techniques culturales anti-érosives; à savoir les cultures en courbe de niveau, en bandes alternées ou en terrasse, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonage. Les valeurs du facteur de pratique antiérosif sont extraite suivant les méthodes de culture et de la pente cités par (Shin, 1999) qui sont déterminées à partir de deux éléments déjà existants. Les valeurs de P comprises entre 0 et 1, dans lequel la valeur 0 représente un très bon milieu de résistance à l'érosion d'origine humaine et la valeur 1 montre une absence de pratique anti érosive.

Le schéma suivant (Fig.5) donne une idée générale sur le fonctionnement du modèle ainsi présente un résumé de la méthodologie utilisée:

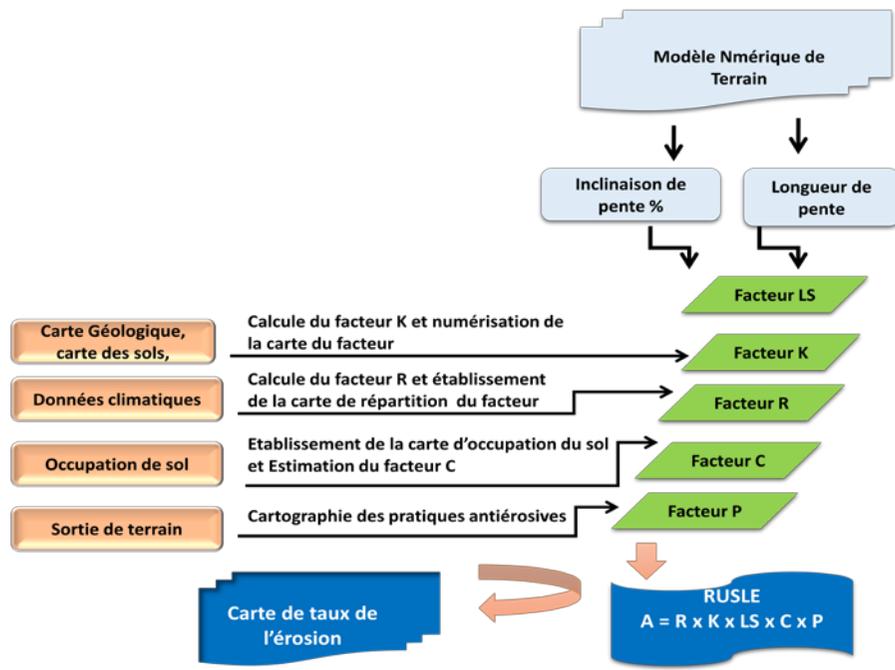


Fig. 5. Etapes de cartographie de l'érosion par le modèle RUSLE

Résultats et discussions

Pour l'estimation du potentiel de perte de sol, on a utilisé le modèle RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) détaillé ci dessous.

1.L'érosivité des pluies ou agressivité des précipitations : facteur (R)

La mesure de la quantité annuelle totale et la repartition spatiale de pluie érosive aux stations selon (Lifen Xu, 2012), montre que le bassin

versant de N’Fis est soumis à une agressivité pluvial les valeurs de R subissent un gradient croissant de l'exutoire vers l’amont avec une légère augmentation de l’Est vers l’Ouest. 83% du territoire du bassin versant est soumis à une agressivité climatique élevée correspondante à une classe de R supérieur à 50 MJ.mm/ha.h.an. Ce résultat permet de déduire que le bassin est subit à un pouvoir érosif important. Les valeurs de R varient entre 41.40 et 57.28 Megajoul.mm/hectar.heure.an, avec une moyenne établie à 52.31 MJ.mm/ha.h.an.. Les valeurs de R les plus faibles présentées par la classe (41 à 48 MJ.mm/ha.h.an) se focalisent sur la plaine qui a un climat semi-aride, alors que les valeurs les plus fortes plus que 50 MJ.mm/ha.h.an se focalisent aux zones montagneuses du bassin N’Fis. la (Fig. 6) montre la distribution spatiale du facteur R.

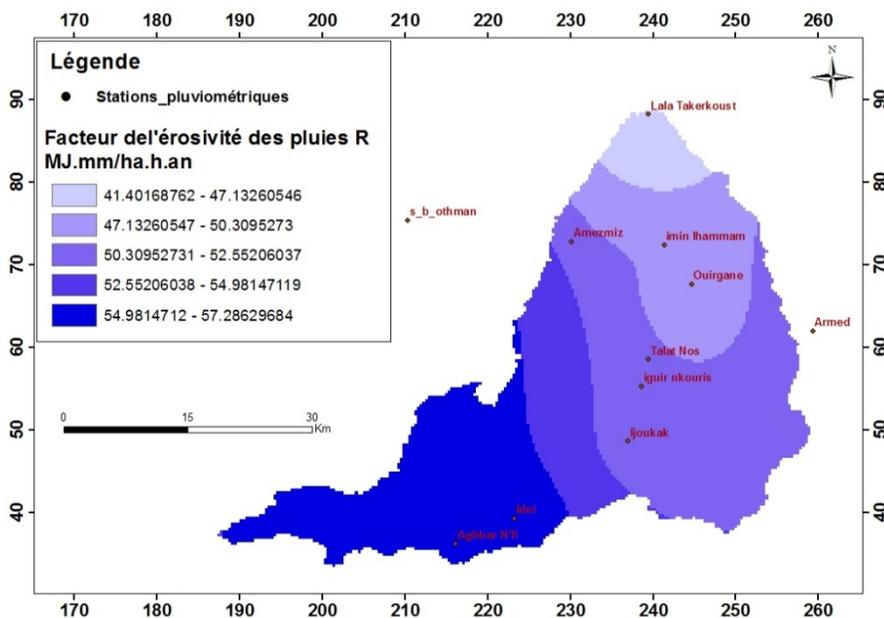


Fig. 6.- Carte de l'érosivité des pluies (R) dans le bassin versant de N’Fis

2. Le facteur topographique ou inclinaison de pente

d'après le calcul du Facteur LS, Les valeurs obtenues pour le facteur LS ont ensuite été regroupées en Cinq classes de valeurs ,ont ainsi été définies pour la cartographie de ce facteur à l'échelle du bassin du N'fis. La longueur et l'inclinaison de pente influencent d'une manière importante le processus de l'érosion tel que 60% de la superficie du bassin versant considérée très élevées dans la haut vallée et aux zones les plus intrusives des affluents de l'oued N’Fis dans la partie sud du bassin. Les valeurs de l'indice LS varient entre 0 et 5 qui sont considérées faibles n'occupent que 7% de la superficie du bassin cela est compatible avec la faible élévation du

bassin versant, dans les zones qui sont naturellement attribuées à la plaine ainsi au lit du cours d'eau. Par conséquent, la majeure partie dudit bassin est soumise à un grand risque d'érosion de l'amont vers l'aval.

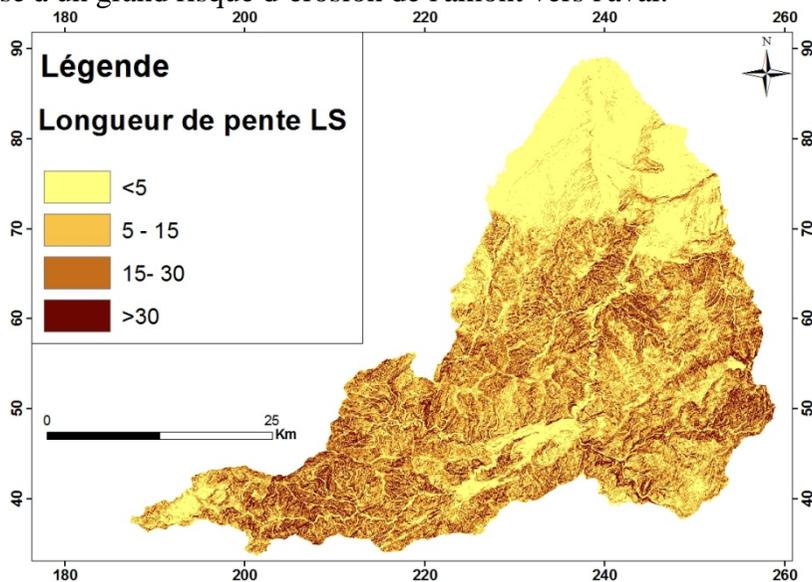


Fig.7.- Carte du facteur topographique (LS) dans le bassin versant de N'Fis

3. Facteur d'érodibilité des sols K

Il est déterminé expérimentalement pour un échantillon de sol donné par la relation de Wischmeier W.H. et Smith D.D. (1978).

Les résultats obtenus pour le facteur K à l'échelle du bassin versant de N'fis varie de 0.23 t.ha.h/ha.MJ.mm pour les sols les plus résistants à 0.85 t.ha.h/ha.MJ.mm pour les sols les plus érodables. Le graphique qui suit présente la répartition de la superficie totale du bassin selon l'érodibilité des sols ainsi que les pourcentages correspondants. Les sols de la zone d'étude sont considérés comme des sols sensibles à l'érosion vis à vis la moyenne de leur indice d'érodibilité K avec une valeur de 0,48 t.ha.h/ha.MJ.mm.

la distribution spatiale du facteur montre, que dans les régions qui se trouvent au haut massif granitique et aux formations permotriasiques, un potentiel d'érodibilité plus élevé à l'est et s'étend également dans la partie centrale et en amont du bassin versant.

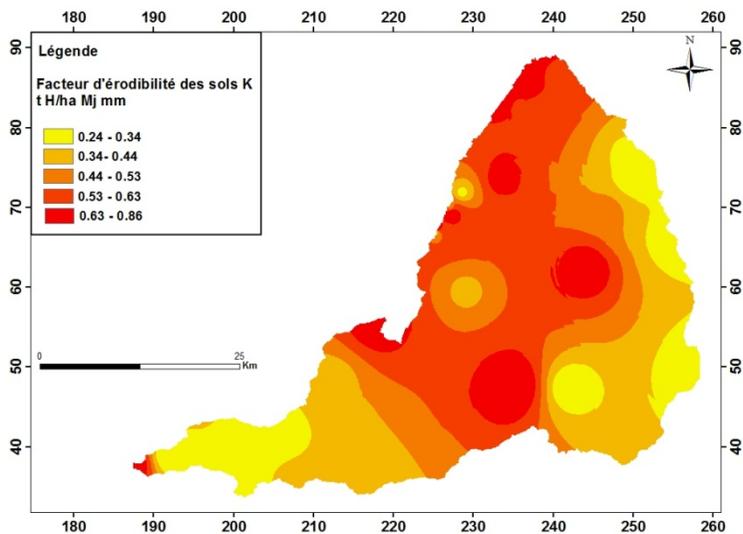


Fig. 8.- Carte de l'érodabilité des sols (K) dans le bassin versant de N'Fis

4. Facteur de la couverture végétale et des pratiques culturales (C)

Le facteur C combine la couverture, le degré de production de la plante et la technique de culture associée (Farhan, Y,2013). Selon (E. Roose,1996- F. Al-Zitawi,2006), le facteur C varie entre 1 pour le sol nu et moins de 0.1 pour les forêts denses. Vis-à-vis des processus érosifs, la carte de distribution spatiale montre que les zones les plus vulnérables à l'érosion sont attribuées aux type d'occupation des sols nu; et c'est la classe qui couvre presque la totalité de l'amont du bassin versant.

d'après la carte on peut distinguer cinq types d'occupations majeures qui occupent tout le bassin versant; la valeur la plus faible de 0.5 demeure dans les zones de l'agriculture et l'arboriculture, cependant les coefficient de 0.8 à 0.9 se localisent dans les aires couvertes par les forets peu denses et espacées. Les coefficients les plus élevés 1 correspondent aux sols nus. Les fortes sensibilités à l'érosion sont figurées aux zones de cultures.

Une carte de l'indice de couvert végétal a été élaborée à l'échelle du bassin versant de N'Fis (Fig. 9).

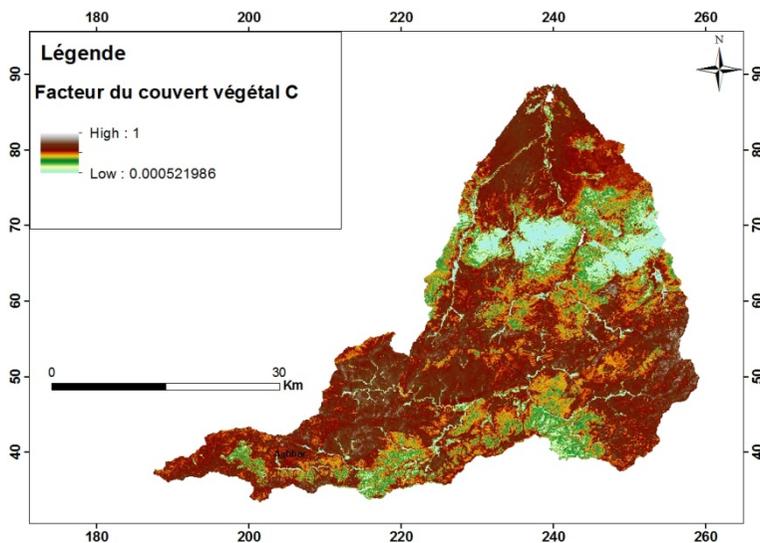


Fig. 9.- Carte du facteur (C) dans le bassin versant de N'Fis

5.Pratique anti-érosive (P)

Elle est le rapport de la perte de sol avec un soutien spécifique pratiqué sur les terres agricoles à la perte correspondante avec labour de pente parallèle (A. Rabia, 2012, W. H. Wischmeier and D. D. Smith 1978). Noté que dans cette étude les valeurs du Facteur P les plus faibles et moyennes sont attribuées aux zones qui présentent une pente faible à modérée.

Le Facteur P varie généralement dans notre cas entre 0.55-0.6 pour les zones à faible pente, et pour les pentes aiguës le coefficient varie entre 0.8 et 1 (Fig.10),

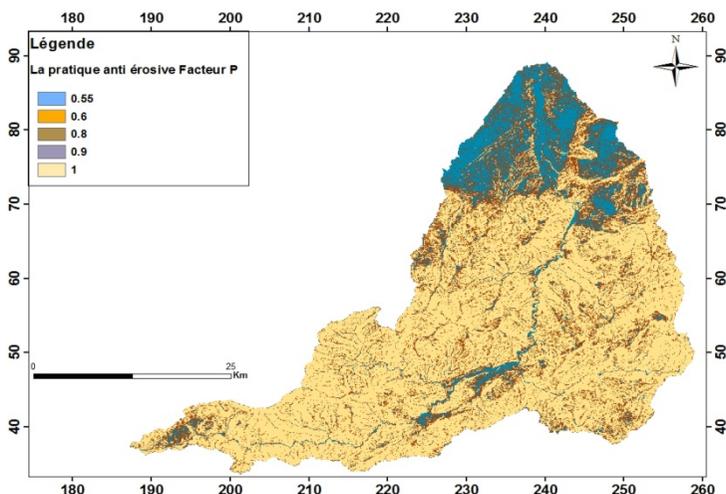


Fig.10.- Carte du facteur anti-érosive (P) dans le bassin versant de N'Fis

L'estimation du taux d'érosion

Le taux de l'érosion résulte de la combinaison des facteurs du modèle RUSLE, notamment l'agressivité climatique R (ou érosivité des précipitations), 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 du risque érosif dû aux seuls effets des facteurs naturels.

La combinaison et le traitement sous SIG de ces trois facteurs présentés en détail plus haut ont permis d'élaborer à l'échelle du bassin du N'fis la carte de l'érosion potentielle.

Les valeurs de l'érosion potentielle (t/ha/an) obtenues à l'échelle du bassin ont ensuite été regroupées en 4 classes de valeurs comme suit :

- Une première classe qui regroupe les zones avec une érosion potentielle inférieure à 67t/ha/an. Elle constitue 35% de la superficie du bassin étudié et couvre principalement les secteurs qui se trouve sur la plaine en aval du bassin versant.
- Une deuxième classe qui regroupe les zones avec une érosion potentielle comprise entre 67 et 172 t/ha/an. Elle constitue 21% de la superficie du bassin étudié, se focalise principalement au centre et à l'est du bassin versant.
- et les dernière classes, une troisième qui regroupe les zones avec une érosion potentielle comprise entre 172 et 301 t/ha/an. Elle représente 14% de la superficie du bassin étudié, et Une quatrième classe qui regroupe les zones avec une érosion potentielle supérieure à 301t/ha/an. Elle représente 30% de la superficie du bassin étudié. Elles se focalisent sur les zones montagneuses et sur les zones à terre friable généralement à l'amont du bassin versant.

En effet, ce résultat acquit du modèle RUSLE révèle l'altération actuelle des matériaux érodés et renseigne sur la quantité de l'érosion potentiellement fournis par l'érosion dans le bassin versant. On peut dire que le modèle ne prend pas en considération les processus de transport des matériaux ; dépendant de l'écoulement de surface et de sa compétence.

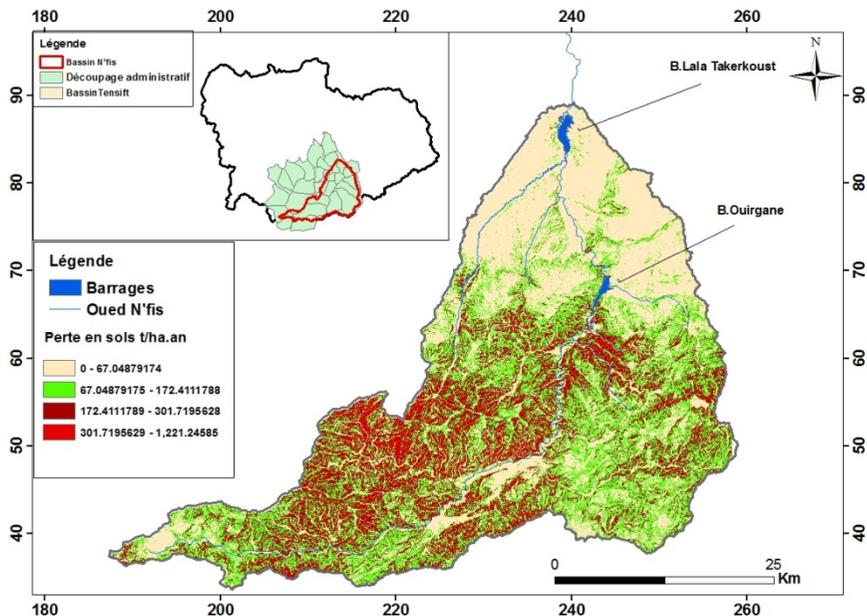


Fig.10. -Carte de vulnérabilité à l'érosion dans le bassin versant de N'Fis

Conclusion

La carte d'érosion des versants fournit de nombreuses informations concernant le potentiel de production de sédiments par l'érosion des versants et la localisation des zones sources exprimées en t/ha/an.. Les valeurs du taux de l'érosion potentielle (t/ha/an) obtenues à l'échelle du bassin ont ensuite été regroupées suivant des classes entre 0 et 1221. L'évaluation a donné une moyenne de 115t/ha/an; cette valeur dépasse largement le seuil tolérable de la perte en sol qui est de 3t/ha/an estimée pour les zones qui présente des conditions .

Les observations faites ont permis de ressortir que l'érosion hydrique est présente et visible dans l'ensemble du bassin de N'fis. Les versants subissent une érosion plus forte alors que l'érosion réduite s'observe dans les vallées alluviales, liée au transport dynamique de l'eau dans les différents faciès.. Ceci est attribué au ruissellement de surface élevé au niveau du bassin de N'fis et à la géologie de ce bassin versant qui est caractérisée essentiellement par des formations friables; on note la dominance des terrains permo-triasiques. L'indice d'agressivité climatique varie de 41 à 58. L'érodibilité des sols est déterminée d'une manière synthétique en se basant sur une étude bibliographique et les analyses physicochimiques des sols, pour attribuer à chaque type du sol une valeur du facteur K variant 0.23 à 0.85. Les pentes sont comprises entre 0° et 71°, et les valeurs du facteur LS qui est la combinaison des pentes et les longueurs de pente se situent entre 0 et plus de 38.

Cette perte est favorisée par les autres facteurs de l'érosion qui se conjuguent aussi pour accélérer l'érosion, les pertes importantes (près de 60% de la surface totale du bassin présente une pente très forte), sols moyennement érodables (40% des sols montre un facteur K compris entre 0,5 et 0,65) et une couverture végétale dégradée. L'analyse statistique montre que 41 % de la surface total du bassin versant du N'FIS est faiblement sensible à modérée à l'érosion, tandis que 59% présente une sensibilité très élevée qui dépasse le seuil tolérable de la perte en sol de 3t/ha/an estimée pour les zones qui présente des conditions pareilles à celles du bassin versant de N'FIS.

L'équation universelle des pertes de sol ne tient pas compte des autres types d'érosion autre que l'érosion en nappe mais elle n'évalue que les pertes moyennes causées par l'érosion de surface. Le modèle Wischmeier est basé sur des données pour des parcelles ou des bassins versants de surface très petite, donc, y aura des problèmes d'échelle si on veut prévoir des valeurs régionales d'érosion et surtout, lorsque on parle le processus de transport solides et de sédimentation des matériaux sur de grands bassins versants contenant des aménagements hydrauliques risquant l'envasement.

References:

- Al Ifriqui M., (1986). Contribution à l'étude du milieu et de la végétation dans le Haut Atlas occidental d'Amizmiz (massif de l'Erdouz-Igdat) . Thèse de doctorat, spécialité Ecologie Végétale, Université Cadi Ayyad, faculté des sciences de Marrakech. 304 p.
- Al-Zitawi F., (2006). Using RUSLE in Prediction of Soil Loss for Selected Sites in North and North West of Jordan, M.S Thesis, Jordan University of Science and Technology, Irbid.
- Amrhar M., (1995). Tectonique et inversions géodynamiques Post-Rift dans le Haut Atlas occidental: Structures, instabilités tectoniques et magmatisme liés à l'ouverture de l'Atlantique central et la collision Afrique-Europe. Thèse de Doctorat d'état es-sciences. Université Cadi Ayyad, marrakech, Maroc.
- Cheggour, (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 Rhéray a, Haut Atlas, Maroc. p.4.
- Demmak A. (1982). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale. Thèse de Dr. Ing., Université de Pierre et Marie Curie, Paris XI.
- El Wahidi,(2004). Le cyprès de l'Atlas, in « Les espèces de cyprès », publication supmed, l'Italie ; division de Recherches et d'Exploitations

- Forestières; Centre régional de la recherche forestière, Marrakech, Maroc; 19 P; Edizioni Centro Promozione Pubblicità-Firenze.
- Hanich, L., Simoneaux, V., Boulet, G., Chehbouni, A.G., (2006): Hydrologie des bassins versants du Haut Atlas marocain. Programme d'Action Intégrée Volubilis, Gestion durable des ressources en eau dans le bassin versant de Tensift (région de Marrakech, n°MA/148/06)), p.14.
- Hyeon S. K., (2006) Soil erosion modeling using rusle and gis on the imha watershed, south korea. p. 75
- Ioannis Z. Gitas, (2009). multi-temporal soil erosion risk assessment in n. Chalkidiki using a modified usle raster model. Pub. Rev. Sci EARSel eProceedings
- Jensen, J. R. (2000): Remote sensing of the environment: An earth resource perspective, published as 1st ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, Inc
- Kouli, M., Soupios, P., Vallianatos, F., (2009). Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. Environmental Geology 57, 483e497.
- Lahlou, 1996. Recent Developments in the Explanation and Prediction of Erosion and Sediment Yield (Proceedings of the Exeter Symposium, July 1982). IAHS Publ. no. 137. La dégradation spécifique des bassins versants et son impact sur l'envasement des barrages.
- Lawani-A.-Mounirou. (2012). Etude du ruissellement et de l'érosion à différentes échelles spatiales sur le bassin versant de Tougou en zone sahélienne du Burkina Faso : Quantification et transposition des données. p.8
- Lifen Xu, Xuegong Xu, Xiangwei Meng, (2012). Risk assessment of soil erosion in different rainfall scenarios by RUSLE model coupled with Information Diffusion Model: A case study of Bohai Rim, Pub. Catena 100 (2012) 74–82.
- Mathieu, P.(2002). Caractérisation des sols et de leurs propriétés hydrodynamiques pour la modélisation hydrologique en milieu semi-aride, Bassin versant du Tensift – Maroc, Mémoire de fin d'étude ENSAM DAA « Physique des surfaces naturelles et génie hydrologique » (ENSAR) Avril 2002-Septembre 2002.
- Nahid, A., Benzakour M. (2002). Enregistrements sédimentaires et contrôle tectonique dans la genèse des archives morphosédimentaires quaternaires de la coupe d'Alhnayn (vallée méridienne du N'fis, Maroc). Estudios Geol., 58: 145-158.
- Rango, A. & H.M.J. Arnoldus (1987). Aménagement des bassins versants. In: Cahiers techniques de la FAO: 1-11.
- Remini W. et Remini B., (2003). La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du nord. Éditeur: Larhyss Journal, Algérie. pp. 45-54
- Renard K. G., G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool and D. C. Yoder.

- (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Agricultural Handbook No. 703, US Department of Agriculture, Washington DC.
- Roose E.,(1996). Land Husbandry-Components and Strategy, UN/FAO Soils Bulletin 70, Montpellier.
- Shin, G. J. (1999). The analysis of soil erosion analysis in watershed using GIS”, Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Gang-won National University.
- Wischmeier, W.H. and smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses—a guide for conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, Washington.
- Yahya, F., Dalal, Z., Ibrahim F. (2013). Spatial Estimation of Soil Erosion Risk Using RUSLE Approach, RS, and GIS Techniques: A Case Study of Kufranja Watershed, Northern Jordan. Journal of Water Resource and Protection,
- Yjjou M., (2014). 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. The International Journal Of Engineering And Science (IJES).
- Zhou, P., Luukkanen, O., Tokola, T., Nieminen, J., 2008. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. CATENA 75 (3), 319e325.