CARTOGRAPHIE DE L'UTILISATION DU SOL ET DE L'ÉROSION NETTE À PARTIR D'IMAGES SATELLITAIRES ET DU SIG IDRISI AU NORD-EST DU MAROC

Abdelkader EL GAROUANI [1], Hao CHEN [2], Laurence LEWIS [3], Abdellatif TRIBAK [4] et Mohamed ABAHROUR [4]

[1]Laboratoire de Géosciences et Environnement, Faculté des Sciences et Techniques de Fès, Route d'Imouzzer, B.P. 2202, Fès, Maroc. Téléphone : (212) 63 82 90 46, Fax : (212) 35 60 80 14, Courriel : el_garouani@yahoo.fr

[2] Clark Labs, Clark University, 950 Main Street, Worcester, MA 01610, USA. Courriel : hchen@clarku.edu

[3] Graduate School of Geography, Clark University, 950 Main Street, Worcester, MA 01610, USA. Courriel : llewis@clarku.edu

[4] Laboratoire d'Analyse Géo-Environnementales et d'Aménagement, FLSH Saïs, Route d'Imouzzer, B.P. 59, Fès, Maroc. Courriel :tribakabdellatif@yahoo.fr

Soumis le 28 février 2008, accepté le 17 novembre 2008 ; © *Revue Télédétection*, 2008, vol. 8, n° 3, p. 193-201

Résumé :

Le présent travail expose les résultats de notre étude concernant la cartographie de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol à partir des données de télédétection (images Spot et Landsat) sur une période de 15 ans (1987-2002) d'une part, et la modélisation des processus d'érosion et de déposition d'autre part.. Dans le bassin versant de l'Oued Tlata (123 km2) situé au nord-est du Maroc, l'analyse de données satellitaires a permis d'identifier six principaux types d'occupation du sol (terrains fortement dégradées, céréalicultures, mélange de céréalicultures et arboricultures, oliviers, reboisement et forêt claire). Ensuite, les pertes de sol ont été estimées par le module RUSLE intégré dans le SIG Idrisi. Ces évaluations spatiales statiques des pertes de sol ont été alors utilisées dans un algorithme de sédimentation qui modélise le mouvement de ces pertes en sol vers l'exutoire et permet d'estimer l'érosion nette. Les résultats obtenus permettent l'identification des secteurs à l'échelle du bassin où les interventions sont nécessaires pour limiter les processus de dégradation des sols.

***Mots Clés** : Erosion, Déposition, Télédétection, Oued Tlata, Maroc*

Abstract

In this investigation, we utilize remote sensing data (four Landsat and Spot images were analyzed for a fifteen year period: 1987 - 2002) and a GIS for the quantitative evaluation as well as developing the spatial patterns of erosion and deposition within the Oued Tlata basin (123 km2) located in north-east of Morocco. This contribution's primary objective is to integrate RUSLE's output data into a flow model (sedimentation) to access the net soil erosion and to identify priority areas (zones of high soil loss or deposition) for possible interventions to curtail and ameliorate land degradation. Analysis of these satellite data allowed the identification of six main land cover types (highly degraded lands, cereal (annual) crops fields, mixed farmlands, olive trees, reforested areas, and natural protected forest). After the determination of the areal distribution of each land type for each date, soil losses were estimated through the incorporation of a developed RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) module in the framework of Idrisi GIS. These static estimates of soil loss were then utilized in a newly developed sedimentation algorithm that models the down slope movement of the soil loss. These spatial (flow) movements were then evaluated to determine net erosion and deposition within the river basin for each time period. The patterns of soil loss and deposition over the duration of the study period show a relation to both the changing land cover and the land facets found within the river basin. The consideration of the erosion and deposition phenomenon at the same time in the study of the soil degradation process represents the originality of this work.

***Keys Words**: Erosion, Deposition, Remote sensing, Oued Tlata, Morocco*

1. INTRODUCTION

La région d'étude qui concerne le bassin versant de l'oued Tlata d'une superficie d'environ 123 km2, est située dans le pré-Rif oriental au Nord-Est du Maroc, avec une topographie accidentée dont les altitudes varient de 560 m au niveau de l'exutoire à 1373 m au point le plus élevé (Jebel Azdem) (Figure 1).

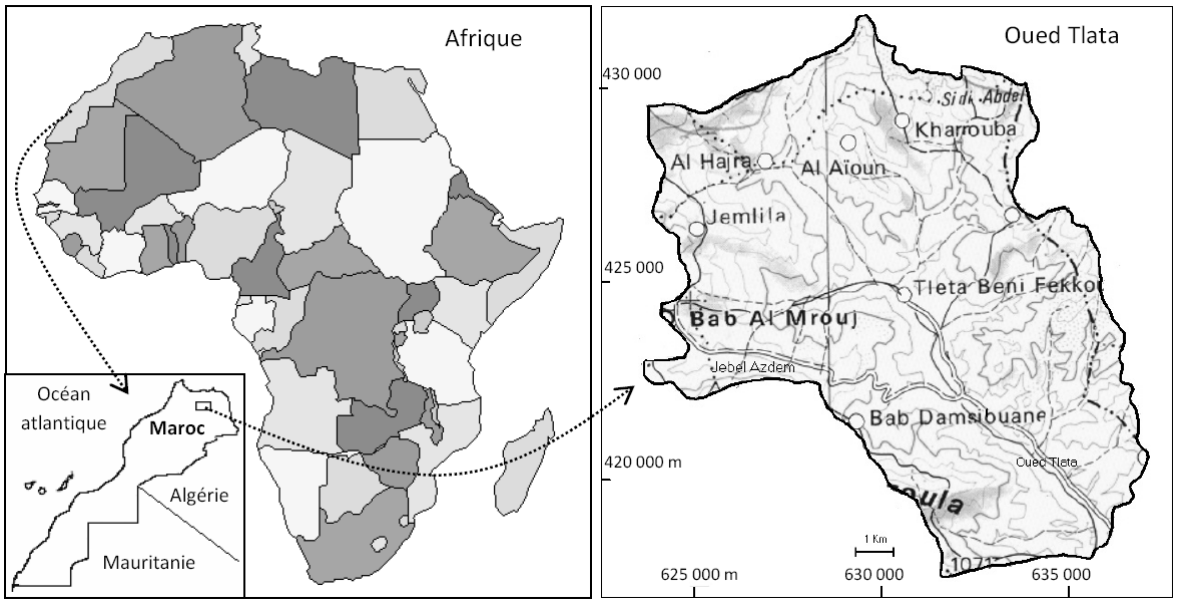


Figure 1: Situation géographique de la région d'étude

Les formations géologiques sont constituées de terrains marneux tertiaires dans une structure marquée par des charriages (Leblanc 1979). Le climat local est caractérisé par de forts contrastes saisonniers avec des pluies brutales et concentrées entre novembre et mars. La densité humaine dans la région est importante (76 habitants.km-2) et la plupart des versants sont totalement dénudés et mis en culture, ce qui a aggravé les problèmes d'érosion (Tribak 2000 et 2002).

Les études antérieures concernant l'évaluation d'érosion, qui sont basées sur le modèle de RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) de Wischmeier (1976), ne prennent pas en compte le phénomène de déposition qui se produit en aval ou dans les zones de faibles pentes. Les dépôts ne sont pas inclus, seule l'érosion grossière est prédite (Wischmeier 1976, Renard et al. 1997, Bonn, 1998 ; Dialo, 2000). Notre étude consiste à intégrer les modèles d'évaluation de l'érosion (RUSLE) et de déposition (Sedimentation) du sol afin de localiser les zones prioritaires pour d'éventuelles interventions d'aménagement. La prise en considération des phénomènes d'érosion et de déposition en même temps dans l'étude du processus de dégradation du sol représente l'originalité de cette contribution.

Dans cette étude, quatre images des satellites Landsat TM et Spot HRV ont été traitées et analysées dans un SIG pour évaluer les changements sur une période de quinze ans (1987, 1994, 2000, 2002). Le but de cette étude était d'illustrer la possibilité de déterminer le changement de l'occupation du sol, ainsi que la spatialisation des modèles de l'érosion et de la déposition dans la région d'étude, dont les pertes de sol sont essentiellement le résultat de processus en nappe. (El Garouani et al. 2007; Lewis et al., 2007).

2. CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL ET DE L'ÉROSION NETTE

2.1. Méthodologie

Notre démarche repose sur l'utilisation des données de la télédétection pour une connaissance spatialisée des facteurs de différenciation de l'érosion (occupation du sol, importance du couvert végétal, …) et sur l'usage du système d'information géographique (SIG) pour des opérations d'analyse et de modélisation des processus d'érosion et de déposition. Pour un suivi multidates de l'érosion à l'échelle du bassin versant, quatre images satellitaires ont été utilisées : une image HRV de Spot prise le 15 novembre1994 et trois images Landsat prises : le 09 février 1987 (capteur Thematic Mapper TM, le 25 avril 2000 et 24 octobre 2002 (capteur Enhanced Thematic mapper ETM+). Cette démarche est schématisée par la figure 2.

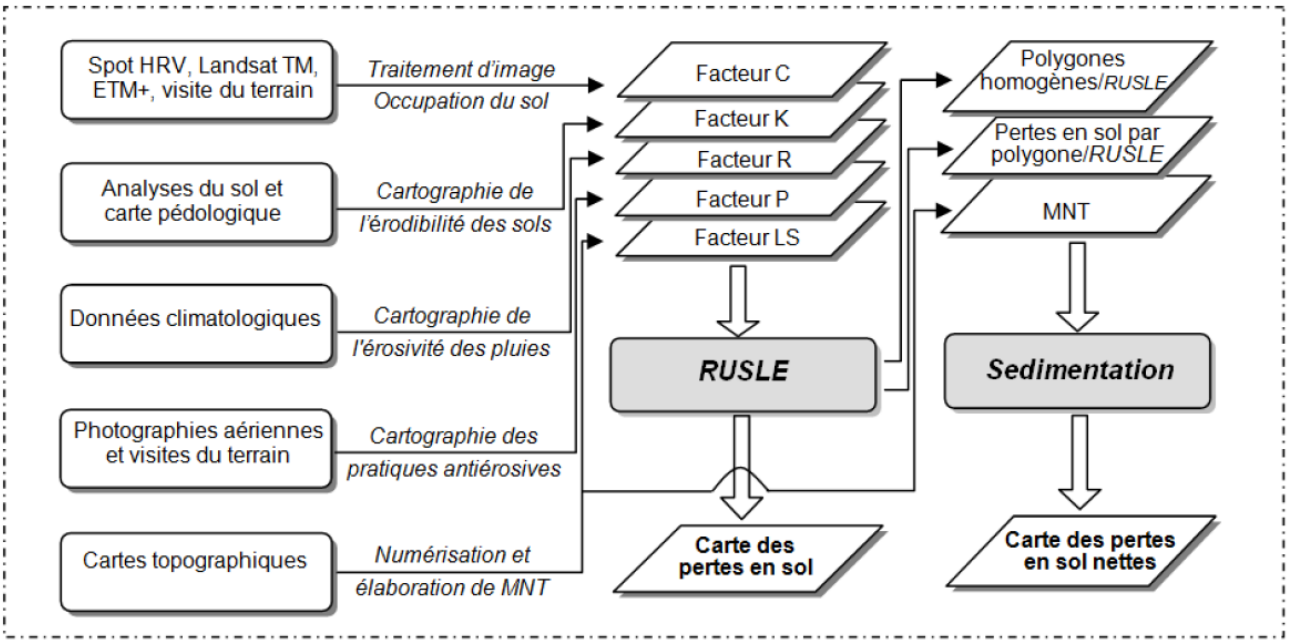


Figure 2 : Schématisation de la démarche utilisée

Pour l'utilisation des images de télédétection pour la cartographie de l'occupation et l'utilisation du sol dans la région d'étude, nous avons poursuivi les étapes suivantes :

2.1.1. Interprétation visuelle

Sur la base des compositions colorées pour les quatre images utilisées, on a délimité de manière assez précise les massifs forestiers (Naturel et reboisement) et on a identifié les surfaces du sol nu liées aux pratiques agricoles et les zones de badlands. Par contre, la classification des zones cultivées reste très grossière, puisqu'on a seulement distingué les parcelles cultivées en présence des plantations d'olivier.

2.1.2. Classification non dirigée

Apres cette première étape, on a effectué une classification non-dirigée (10 classes) ensuite on a procédé par plusieurs passages au cours desquels des arrangements et des groupements des classes sont affinés de manière à créer des groupes plus homogènes et mieux différenciés. On a constaté que, pour obtenir de bons résultats, il est nécessaire de définir plusieurs sous-classes d'objets, qui ont des propriétés spectrales légèrement différentes, mais il faudrait par la suite regrouper ces sous-classes dans une seule catégorie après classification. Par exemple, les propriétés spectrales de forêts varient sensiblement selon l'exposition des versants. En effet, on a identifié deux sous-classes (forêt sur le versant exposé au Sud et forêt sur le versant ombragé), puis précisé la définition spectrale de la classe correspondante par la suite, ce qui a amélioré sensiblement la qualité de la classification. En poussant cette logique plus en avant, on a pu en arriver à identifier les classes suivantes : badlands, terre arable et végétation permanente.

2.1.3. Classification dirigée (seuillages uni-bande et multibandes)

Dans certains cas, on a isolé des catégories d'objets en effectuant un simple seuillage des valeurs numériques, dans une seule ou plusieurs bandes spectrales (seuillage uni-bande ou multibandes). Ce type de seuillage est représenté graphiquement sur l'histogramme des valeurs numériques de l'image. Sur les images ETM+ de Landsat, on a appliqué des seuillages à la bande TM3 et à l'indice de végétation (NDVI).

2.1.4. Traitements post-classification

Pour aboutir aux cartes d'occupation et d'utilisation du sol finales on a effectué des opérations de mixages et de masquage des différents résultats obtenus par les techniques précédemment évoquées. Suite à la procédure de classification, il subsiste généralement un faible taux de pixels isolés, généralement mal classés ou non classés, souvent situés à la limite entre deux plages d'affectations distinctes. Il est alors souhaitable d'homogénéiser la classification en réaffectant ces pixels à l'une ou l'autre classe. Pour ce faire, on a utilisé des techniques de filtrage. A cet effet, on a développé un filtre spécifique sous Idrisi qui a permis d'effectuer cette opération. Dans les images résultats, les pixels isolés ont effectivement été réaffectés, en préservant globalement les formes des zones homogènes.

2.1.5. Validation des résultats des traitements

L'évaluation des classifications est à la fois qualitative et quantitative. En effet, une estimation visuelle par comparaison du résultat obtenu avec les photographies aériennes a été satisfaisante. En plus, les résultats ont été confrontés aux observations du terrain afin d'en déduire les pourcentages de classement des différentes entités dans leurs propres zones d'occupation. L'analyse de la matrice de confusion, révèle que la précision globale du traitement est de l'ordre de 86 %.

2.1.6. Combinaison d'images : analyse multidates des changements

Parmi les principaux avantages de la télédétection satellitaire est la possibilité de fournir des observations de la terre en fonction du temps. Il est ainsi possible de comparer un paysage à différentes dates, ou d'en suivre l'évolution à plus long terme. Dans cette étude on a produit quatre cartes d'occupation et d'utilisation du sol pour une période de 15 ans (1987-2002). Pour comparer les résultats issus des images Landsat et Spot, nous avons ré-échantillonné celles de Landsat pour avoir des images à 20 m de résolution.

Après la cartographie de l'occupation du sol pour chaque date de prise de vue, les pertes de sol ont été estimées par le module RUSLE intégré dans le SIG Idrisi. Ce module calcule non seulement les pertes en sol pour chaque pixel de la grille mais groupe également les pixels dans des polygones homogènes basés sur des critères de pente et d'orientation et longueur de pente qui peuvent êtres ajustés par l'utilisateur.Ces évaluations statiques des pertes de sol ont été ensuite utilisées comme entrées dans un algorithme de déposition (Sédimentation) qui modélise le mouvement de ces pertes en sol vers l'exutoire.

Le modèle empirique RUSLE réunit les facteurs ayant une incidence sur l'importance de l'érosion et se présente comme suit:

$$A = R . K . LS . C . P$$

où :

A = taux de perte en sol (t.ha-1.an-1),

R = érosivité de la pluie,

K = érodibilité du sol,

LS = facteur topographique intégrant la pente et la longueur de pente,

C = facteur de protection du sol par la couverture végétale,

P = facteur exprimant la protection du sol par les pratiques agricoles.

- Indice d'érosivité des pluies (R) est égal à l'énergie cinétique des pluies, que multiplie l'intensité maximale des pluies durant 30 minutes exprimée en cm par heure. Cet indice correspond aux risques érosifs potentiels dans une région donnée où se manifeste l'érosion en nappe sur une parcelle nue de 9 % de pente. Certains auteurs (Kalman 1967 et Arnoldus 1980) ont développé des formules alternatives qui n'impliquent que les précipitations mensuelles et annuelles pour déterminer le facteur R. A partir des données climatiques disponibles (période 1977-1994) pour une pluie annuelle moyenne de 381 mm, l'indice R a été calculé en se basant sur la formule d'ARNOLDUS. Ainsi l'agressivité des pluies est estimée à 56.3.

- Erodibilité du sol (K) est fonction des matières organiques et de la texture des sols, de la perméabilité et de la structure du profil. Il varie de 0.70 pour les sols les plus fragiles à 0.01 sur les sols les plus stables. Nous avons évalué l'indice K des différents types de sols à l'aide du Nomogramme de Wischmeier en utilisant la carte pédologique du bassin, les analyses de sols et les données d'infiltrabilité des sols obtenues par la méthode de simulation des pluies (Tribak et al. 2006). Les valeurs du facteur K, situées entre 0,22 et 0, 46 montrent une nette fragilité des sols et leur susceptibilité à l'érosion (Tableau 1).

Type du Sol	K métrique t/ha
Sol peu évolué lithique	0.32
Sol peu évolué Régosolique	0.44
Sol peu évolué d'apport alluvial	0.39
Sol peu évolué d'apport colluvial	0.27
Vertisol	0.36
Sol calcimagnisique-rendzine	0.27
Sol Calcimagnésique brun calcaire modaux	0.23
Sol calcimagnésique brun calcaire vertique	0.22
Sol fersiallitique	0.46

Tableau 1. Erodibilité de différentes unités pédologiques

- Facteur topographique (LS), dépend à la fois de la longueur de pente et de l'inclinaison de la pente. Le calcul de facteur LS du bassin versant de l'Oued Tlata, est effectué à l'aide du logiciel IDRISI Andes. Ce dernier utilise le MNT (Module Numérique de Terrain) pour calculer de degré de la pente, l'orientation et la longueur cumulative de la pente puis enfin calculer le facteur LS.

Pour la réalisation du MNT, nous avons procédé par la numérisation des courbes de niveau à partir des cartes topographiques (au 1/50 000) de la région d'étude puis par des opérations d'interpolation et de rastérisation pour aboutir à un MNT avec une résolution de 20 m.

- Facteur de protection du sol par la couverture végétale (C), Le couvert végétal est - après la topographie – le second facteur le plus important qui contrôle le risque d'érosion des sols. Dans le modèle RUSLE, l'effet du couvert végétal est incorporé au facteur d'aménagement du couvert. Il est défini comme un ratio de la perte en sol sur des terrains cultivés sous des conditions spécifiques par rapport à la perte en sol correspondante sur un terrain en jachère (Wischmeier et Smith, 1978). La valeur de C dépend principalement du pourcentage de couverture végétale et de la phase de croissance (Kalman, 1967). La carte du facteur C pour le bassin versant de l'Oued Tlata a été déduite à partir des cartes d'occupation du sol. Ces dernières ont été déterminées à partir de l'exploitation des données de la télédétection et des observations de terrain. Les valeurs affectées aux différents modes d'utilisation des sols se situent entre 0.08 et 0.75 (Tableau 2).

Types d'occupation du sol	Facteur C
Badlands/ Terrains incultes	0.75
Cultures annuelles	0.26
Cultures/Arboricultures	0.25
Oliviers	0.28
Reboisement	0.15
Forêt claire	0.08

Tableau 2. Les valeurs du facteur C par type d'occupation du sol

- Facteur exprimant la protection du sol par les pratiques agricoles (P), ce facteur tient compte des pratiques purement antiérosives comme par exemple le labour en courbe de niveau ou le buttage, ou le billonnage en courbe de niveau. Il varie entre 1 sur un sol nu sans aucun aménagement antiérosif à 0.1 environ, lorsque sur une pente faible, on pratique le billonnage cloisonné (Roose, 1996). Vu l'état des aménagements anti-érosifs dans la région, la valeur 1 est affectée au facteur P.

Le modèle Sedimentation est basé sur les résultats du modèle RUSLE pour calculer le bilan d'érosion dans chaque parcelle élémentaire considérée homogène. Il utilise des polygones homogènes résultant du calcul du module RUSLE pour évaluer le mouvement net du sol (érosion ou dépôt) dans des parcelles ou des sous bassins versants (Lewis et al., 2005). Si les données sont analysées à l'échelle du bassin versant, un rapport de la délivrance du sédiment peut être entré pour déterminer la quantité du sédiment à la sortie du bassin. L'exécution de ce module vient après celle du module RUSLE et nécessite le recours à un modèle numérique du terrain (MNT), aux images d'identification de polygones homogènes et à celle des pertes en sol résultant du calcul fait par RUSLE.

La détermination de l'érosion ou du dépôt net commence par le calcul du total des pertes en sol pour chaque polygone homogène produit à partir du module RUSLE. Le module Sedimentation détermine d'abord l'altitude moyenne pour chaque polygone puis la localisation de la plus grande altitude dans le bassin versant ou dans la parcelle considérée. La direction du mouvement du sol est alors établie par les différences relatives des altitudes entre les polygones contigus. Ainsi le mouvement est toujours dans la direction de la pente descendante. La quantité de perte du sol qui entre dans les polygones inférieurs environnants est proportionnelle à la longueur de la frontière commune entre le polygone en amont et celui en aval (Eastman, 2006). La figure 3 résume le principe du modèle de déposition : Sedimentation.

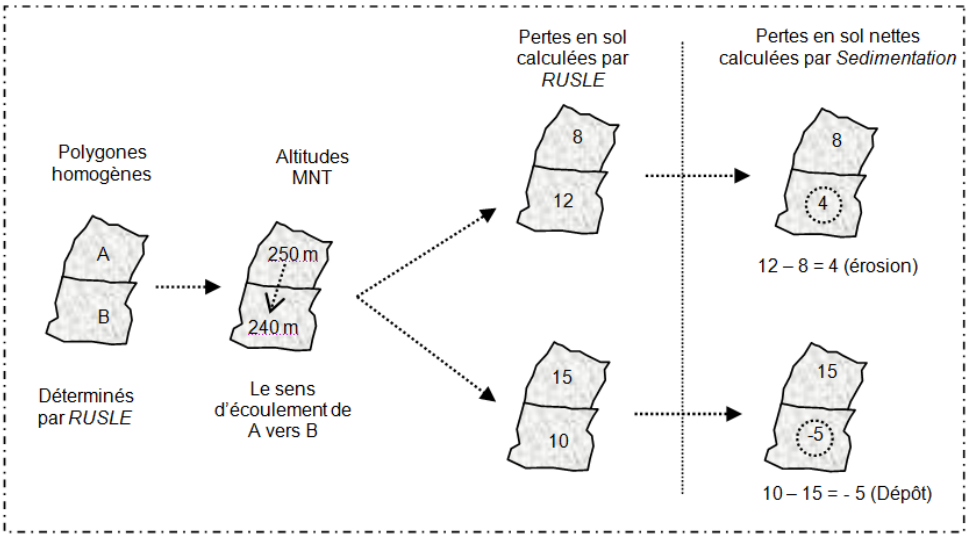


Figure 3 : Principe du modèle de déposition : Sedimentation

2.2. Résultats

L'analyse de données satellitaires a permis d'identifier six principaux types d'occupation du sol (terrains fortement dégradées « badlands», céréalicultures, mélange de céréalicultures et arboricultures, oliviers, reboisement et forêt claire) dans le bassin versant de l'Oued Tlata. La figure 4 représente l'évolution de l'occupation du sol dans la région d'étude entre 1987 et 2002.

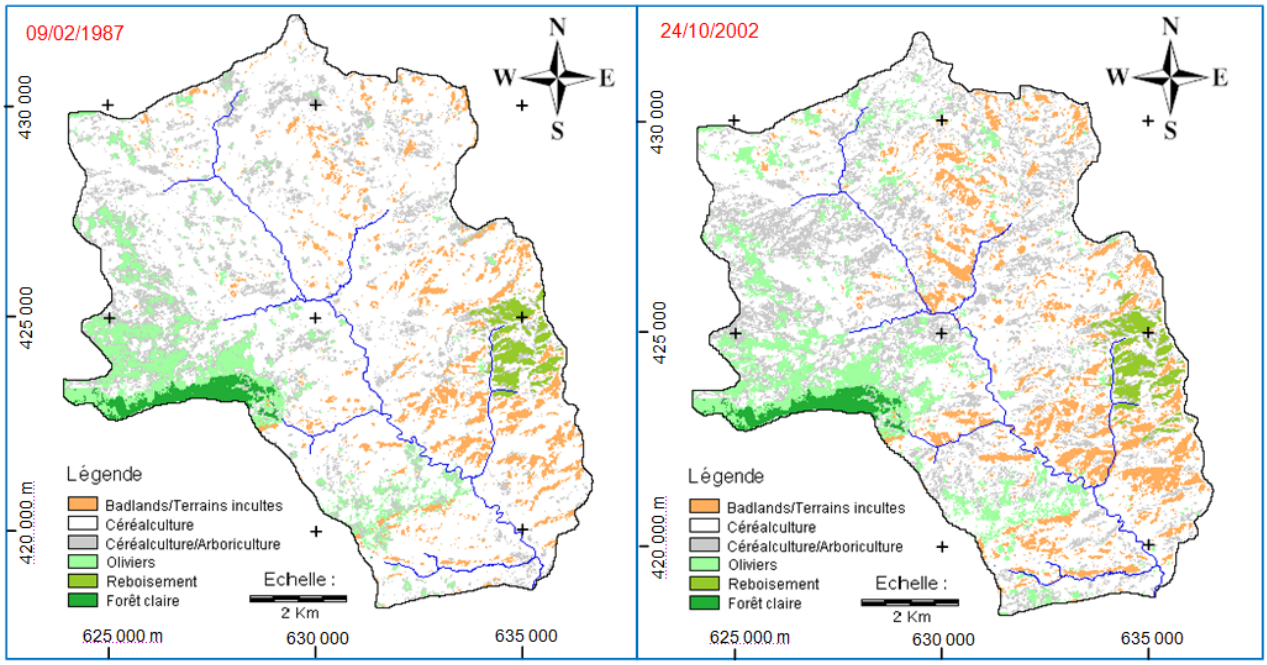


Figure 4. Evolution de l'occupation du sol dans la région de l'oued Tlata entre 1987 et 2002

L'étude diachronique de l'occupation du sol révèle une modification de l'espace naturel avec un accroissement des zones d'olivier (+53 %), une extension des sols fortement érodés (badlands et terrains incultes) (+67 %) et une réduction de zones de céréalicultures (-9 %) au profit de culture en présence d'arboriculture. Cette augmentation des zones d'oliviers est justifiée lors de nos enquêtes sur terrain par les témoignages des habitants qui confirment avoir

entamé une opération d'implantation d'olivier encouragée par l'Etat durant les années 90 (DPA de Taza, 1997 et 2007). Les surfaces occupées par la forêt et le reboisement n'ont pas subi de changement significatif.

Après la cartographie de l'occupation du sol pour chaque date de prise de vue, les pertes en sol nettes ont été estimées par les modules RUSLE et Sedimentation intégrés dans le SIG Idrisi version Andes. Des cartes d'érosion et de déposition des sols ont ainsi été produites (Figures 5).

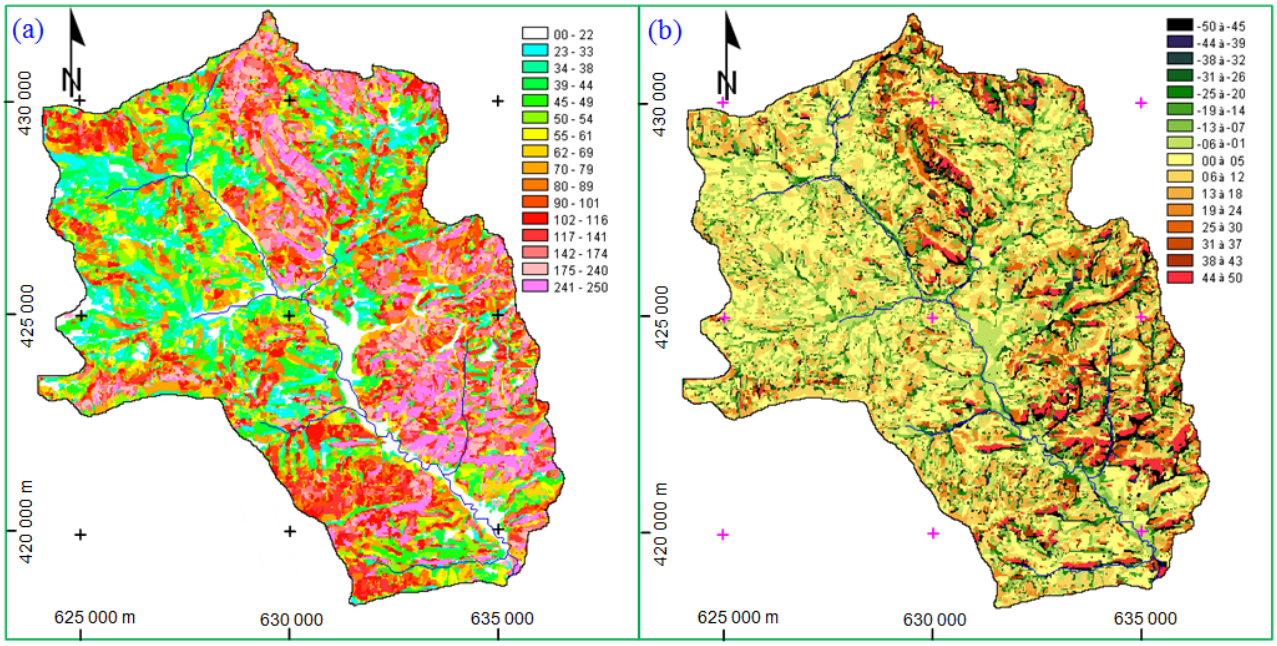


Figure 5 : a) Carte des pertes en sol établie par le modèle RUSLE (t.ha-1.an-1)
b) Carte des pertes en sol nettes établie par le modèle Sedimentation (t.ha-1.an-1)

Ces cartes montrent à la fois l'ampleur des pertes en terres dans le bassin ainsi que leur variabilité dans l'espace. Les pertes moyennes pondérées déterminées par RUSLE pour 5 types d'occupation du sol varient entre 60.74 t.ha-1.an-1comme valeur minimale mesurée dans les matorrals (foret claire) et 333.76 t.ha-1.an-1 comme valeur maximale enregistrée au niveau des badlands et terrains incultes. Ces derniers correspondent généralement à des régosols ou à des sols peu évolués d'érosion peu protégés et situés sur de fortes pentes. Les terrains occupés par les cultures annuelles (arables) manifestent également une forte susceptibilité à l'érosion avec des pertes annuelles de 82.28 t.ha-1.an-1.

La comparaison de ces résultats avec ceux des études antérieures (Al Heusch, 1970 ; Dahman, 1994 ; Rehhou, 1999 ; El Garouani et al. 2003 et Karkouri, 2003 ;) montre que la prise en compte de la variabilité temporelle du processus d'érosion et du phénomène de déposition a en général conduit à diminuer la valeur d'érosion du sol. Sur la base de moyennes pour certains types d'occupation du sol, on constate une augmentation du risque d'érosion en fonction du temps dans les régions montagneuses du versant Est du bassin versant de l'oued Tlata.

A ce stade de nos recherches dans la région, le taux d'érosion spécifique annuelle calculé par les modèles (RUSLE et Sédimentation) doit être considéré à titre indicatif et son importance réside dans le suivi de la variation temporelle du processus. En effet, les intervalles de confiance pour les valeurs des paramètres ne peuvent être délimités par manque de mesures sur les parcelles et les microbassins pour étalonnage. Une campagne de mesure sur le terrain fera l'objet de la prochaine phase de notre projet.

Les valeurs d'érosion obtenues par l'application de cette méthode peuvent varier considérablement en raison des différentes conditions météorologiques. Par contre, à long terme, les valeurs moyennes obtenues par RUSLE représentent les pertes en sol avec plus de précision (Stone et Hilborn, 2000).

3. CONCLUSION

L'analyse des données de télédétection révèle une modification de l'espace naturel avec :

- une extension des zones de badlands et de terrains incultes (+67 %),
- un accroissement des zones d'olivier (+53 %),
- une réduction de zones de céréalicultures au profit de culture en présence d'arboriculture (-19 %),
- les surfaces occupées par le matorral et le reboisement n'ont pas subi de changement significatif.

Les résultats des calculs des pertes en sols annuelles nettes montrent :

- une grande fragilité de la partie est et sud-est du bassin (environ 1150/ha, soit 9.5/% de la superficie totale) constituée essentiellement de marnes et de marnes gréseuses miocènes (jusqu'à 50 t.ha-1.an-1 d'érosion).
- les faibles taux d'érosion (< 7 t.ha-1.an-1) dominent surtout sur les versants de la rive droite du bassin où un matorral à base de chênes verts et des oliviers couvrent des terrains gréseux.
- les régions de faibles pertes en sol ou de déposition correspondent à des zones de faible pente ou à des plaines (jusqu'à 50 t.ha-1.an-1 de sédimentation).

La prise en compte de la variabilité temporelle des processus d'érosion et de déposition en même temps a conduit à diminuer les valeurs d'érosion du sol calculées par le modèle RUSLE (utilisé seul dans les études antérieures).

Bien que la validité des pertes en sols établies par RUSLE et Sédimentation soit sujette à discussion, cette méthode apporte une aide importante aux décideurs et aux aménageurs pour simuler des scénarios d'évolution de la région et planifier les interventions de lutte contre l'érosion, surtout dans les zones où 'érosion en nappe est prédominante sur l'érosion linéaire. Elle permet aussi de suivre l'impact de l'utilisation des sols et des aménagements sur la qualité des ressources en sol.

La technique utilisée permet l'évaluation rapide de l'érosion nette à l'échelle du bassin et l'identification des secteurs qui nécessitent des interventions pour lutter contre la dégradation des sols.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AL KARKOURI J., 2003 - Dégradation du milieu naturel dans le bassin de Beni Boufrah (Rif Central - Maroc) : analyse des facteurs et des processus, essai de quantification et modélisation spatiale. Thèse doct. d'Etat, Université Mohamed V, Faculté des Lettres, 392 p.

ARNOLDUS, H.M.J. 1980 - Methodology used to determine the maximum average soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. Soils Bulletin FAO, 34: 39-48.

BONN F., 1998 - La spatialisation des modèles d'érosion des sols à l'aide de la télédétection et des SIG: Possibilités, erreurs et limites. Sécheresse, 9 (3) : 185-192.

DHMAN H., 1994 - Utilisation des SIG et des télédétections dans l'étude de l'érosion hydrique: application au bassin versant de Tleta. Mémoire de troisième cycle, ENFI, Salé, 120 p.

DIALLO A.A., 2000 - Intégration du modèle USLE dans un SIG pour la cartographie de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Beni Boufrah (Rif central). Mémoire de troisième cycle, ENFI, Salé, 90 p.

DPA (Direction Provinciale d'Agriculture de Taza), 1997 - "Monographie du Cercle de Taineste". Rapport inédit, Province de Taza.

DPA (Direction Provinciale d'Agriculture de Taza), 2007 - "Projet de conservation et valorisation des terres agricoles réalisés au niveau du Cercle de Taineste: Programme normale de plantation fruitière". Rapport inédit, Province de Taza.

EASTMAN J.R., 2006 - Idrisi Andes Manuel: Guide to SIG and Image Processing. Worcester, USA, Clark University, Idrisi Production, 250 p.

EL GAROUANI A., CHEN H., LEWIS L., 2007 – "The impacts of land use/land cover changes and climate regime on the spatial patterns of erosion and deposition by remote sensing and GIS: Case of Tlata river catchment (Morocco)". 2nd International Conference of GIS/RS in Hydrology, Water Resources and Environment, Guangzhou, China, September 7-13, 2007.

EL GAROUANI A., MERZOUK A., JABRANE R., BOUSSEMA M.R., 2003 -Cartographie de l'érosion des sols dans le bassin versant de l'Oued Jemâa (Pré-rif, Maroc). Géomaghreb, 1 (1) : 39-46.

HEUSCH B., 1970 - L'érosion dans le Pré-rif: une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré-rif occidental. Annales des recherches forestières, Rabat, 12 : 9-176.

KALMAN, R. 1967 - "Essai d'évaluation pour le pré-Rif du facteur couverture végétale de la formule de Wischmeier de calcul de l'érosion" In : Rapport Rabat, 1- 12.

LEBLANC D., 1979 - Etude géologique du Rif externe oriental au Nord de Taza (Maroc). Notes et Mémoires, Service Géologique Marocain, Rabat, 281 : 1-159.

LEWIS A.L., VERSTRAETEN G., ZHU H., 2005 - RUSLE applied in a GIS framework: Calculating the LS factor and deriving homogeneous patches for estimating soil loss. International Journal of Geographical Information Science, 19 (7), August 2005 : 809-829.

LEWIS L., CHEN H., EL GAROUANI A., 2007 – "Modeling soil erosion and deposition utilizing remote sensing and GIS in the Tlata river basin, Morocco" In : European Geosciences Union 2007, Geophysical Research Abstracts, 9 : 12-13.

RAHHOU M., 1999 - L'érosion dans le Prérif central, zone interfluviale Leben-Sebou-Ouergha, un prolongement de l'évolution naturelle, une production sociale. Thèse doct. d'Etat, univ. Mohammed V, Rabat. 300 p.

RENARD K.G., FOSTER G.A., WEESIES D.K., MCCOOL, YODER D.C., 1997 - Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agricultural Handbook, 703. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 404 p.

Roose, E. (1996): Land husbandry - Components and strategy. Soils Bulletin FAO 70: Rome. www.fao.org/docrep/T1765E/T1765E00.htm)

STONE, R.P. & HILBORN, D. (2000) Equation universelle des pertes en terre (USLE). www.gov.on.ca/omafra/frech/engineer/facts/00-002.htm

TRIBAK A., 2000 - L'érosion hydrique en moyenne montagne du Pré-rif oriental (Maroc). Etude des agents et des processus d'érosion dans une zone de marnes tertiaires. Thèse doct. d'Etat, Université Chouaib Doukkali, 351 p.

TRIBAK A., 2002 - Contraintes du milieu et fragilité d'un espace montagnard marocain : les montagnes du Prérif oriental. Annales de géographie, Armand Colin, Paris, 625 : 227 – 245.

TRIBAK, A., EL GAROUANI , A., AND ABAHROUR, M. 2006 –"Cartographie et évaluation quantitative de l'érosion hydrique dans un.espace montagnard marocain : cas du sous bassin versant de l'Oued Tleta, Prérif oriental " In : ISCO - Marrakech: 1-10

WISCHMEIER W.H., 1976 - Use and misuse of the universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation, 31 (1) : 5-9.

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, D.C.: 1-537.