

# **Synergie Entre les Systèmes d'Information Géographique et la Télédétection pour la Cartographie des Zones Exposées à l'Érosion : Cas des Versants de la Région d'Azilal au Maroc**

**Abderrazak Bannari<sup>1</sup>, Abderrazak El-Harti<sup>2</sup>, Driss Haboudane<sup>3</sup>, Moustapha Bachaoui<sup>2</sup> et Abderrahmen El-Ghmari<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>- *Laboratoire de Télédétection et de Géomatique de l'Environnement, Département de Géographie, Université d'Ottawa, 60, rue Université, Ottawa (Ontario), Canada K1N 6N5  
Tél. (613) 562-5800 (poste. 1042); Télécopieur (613) 562-5145;  
C.É. : abannari@uottawa.ca*

<sup>2</sup>- *Laboratoire de télédétection et des SIG, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cadi Ayyad, Béni-Mellal, Maroc.* <sup>3</sup>- *Laboratoire d'expertise et de recherche en télédétection et géomatique (LERTG) Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) 555, boulevard de l'Université, Chicoutimi (Québec) Canada G7H 2B1*

## **Abstract**

Ecosystems with scattered vegetation are common in the semi-arid environment or in the areas with arido-humid climate of the Mediterranean basin. In these areas, the growth of the vegetation is limited by the joint influence of high temperatures and water deficit, and bare soils are increasingly developed. This generates ecosystems that are very vulnerable to the soil degradation processes, risks of landslides and desertification. The aim of this paper is the identification and mapping of the areas exposed to the erosion risk and land degradation in the High Atlas regions of Morocco using remote sensing and geographical information systems (GIS). The methodology is based on an integrated approach that combines spectroradiometric measurements, remote sensing imagery, geomorphometric variables, stream power index, multi-source data and GIS. The validation of the obtained results according to ground reference information shows the significant contribution of the developed approach for the elaboration of a computerized decision-making system in order to take actions of intervention, which are essential for the protection of the areas at risk, and also to preserve the soil quality for a sustainable development.

## **1. Introduction**

Durant ces dernières décennies, il est devenu apparent que l'action de l'homme à travers l'exploitation accrue des ressources naturelles est à l'origine des processus de dégradation du milieu. Déclenchés par l'homme, ces processus sont souvent amplifiés par les changements climatiques, notamment dans les régions arides et semi-arides où les écosystèmes sont fragiles. Par exemple, dans les régions du Haut Atlas marocain, la croissance du couvert végétal est limitée par l'action conjointe des températures élevées et du déficit hydrique. Cette situation engendre des écosystèmes vulnérables aux processus de dégradation des sols, de glissement de terrain et de désertification (MAEF, 2001). En plus de la dégradation du sol, support du développement des couverts forestiers et agricoles, ces processus ont un impact majeur sur la pollution des cours d'eau et l'envasement des barrages (MAEF, 2001). Il faut donc apporter d'urgence des corrections aux zones où la dégradation des sols et les risques d'érosion sont les plus intenses; mais il est difficile d'identifier les zones à risques et de prévoir des scénarios d'intervention quand l'information sur le territoire fait défaut. Il faut, donc, mettre au point des outils permettant d'identifier et d'analyser les processus de dégradation des milieux (végétation et sol) afin de promouvoir le développement durable. Pour ce faire, différents modèles hydrologiques couplés ou non aux modèles d'érosion ont été développés. Par exemple, l'équation universelle de perte de sol (USLE) de

Wischmeier et Smith (1958) permet de quantifier la perte de sol annuelle à l'échelle de la parcelle et du bassin versant. Par ailleurs, des approches combinant télédétection et SIG s'avèrent prometteuses (Leone *et al.*, 1995; Reusing *et al.*, 2000; Haboudane *et al.*, 2002;). C'est dans ce cadre que s'inscrit cette recherche qui vise l'identification et la cartographie des risques de dégradation des sols dans la région du barrage d'Ait Chwarit (Haut Atlas marocain). Cette approche contribuera à l'élaboration d'un système d'aide à la décision afin de prendre des mesures d'intervention qui s'imposent pour protéger les zones à risques. Pour atteindre nos objectifs, nous avons exploité des données spectroradiométriques, un modèle numérique de terrain (MNT), données cartographiques et une image du capteur ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) de Landsat-7.

## 2. Matériels et Méthodes

La zone d'étude, d'une superficie de 100 km<sup>2</sup>, est située dans le Haut Atlas marocain à 30 km au sud-ouest de la ville d'Azilal, Maroc (31° 52' N - 6° 45' O et 31° 46' 30'' N - 6° 52' O). Son environnement est caractérisé par la présence de sols presque nus en pentes exposés aux précipitations de forte intensité. La méthodologie de cette recherche s'articule autour de différents pré-traitements et traitements complémentaires et inter-reliés en exploitant différents types de données: mesures spectroradiométriques au sol, image satellitaire ETM+, données cartographiques et un MNT.

L'image ETM+, acquise le 16 janvier 2002, a été corrigée des anomalies radiométriques propres au capteur (Bannari *et al.*, 1999), des effets atmosphériques (Tanré, 1982), des distorsions géométriques et des effets topographiques sur sa radiométrie en utilisant un MNT (Bannari *et al.*, 1995). Elle a été ensuite utilisée pour le calcul des indices de forme et de coloration (Escadafal *et al.*, 1994; Haboudane *et al.*, 2002), de l'indice de végétation normalisé (NDVI) (Rouse *et al.*, 1974), de l'indice de végétation sénescence (MSACRI) (Bannari *et al.*, 2000), puis pour la classification. Les données spectrales au sol ont permis de bien caractériser la relation entre la spectroradiométrie des sols et leurs niveaux de dégradation. Une fois établie, cette relation a permis le calcul des indices de forme et de coloration à partir de l'image, et le renforcement du choix des classes thématiques lors de classification pour une meilleure distinction entre les différentes classes d'occupation des sols, notamment l'état de dégradation des sols. Quant à l'indice d'énergie d'eau (Moore *et al.*, 1993) et les variables géomorphométriques (Haboudane *et al.*, 2002), ils permettent la caractérisation de la topographie du terrain pour la cartographie des risques d'érosion. Ces variables ont été dérivées à partir du MNT. Ensuite, des analyses multicritères exploitant la base de données créée ont permis de dériver des cartes des différents niveaux de dégradation. Finalement, les résultats obtenus ont été validés par rapport à la vérité terrain.

## 3. Résultats et discussion

Avant la transformation des canaux de l'image en indices de forme et de coloration, nous avons exploité la spectroradiométrie des échantillons de sols dont nous avons une connaissance *a priori* des différents niveaux de dégradation. Ensuite, la cartographie de l'occupation du sol, plus particulièrement les différents niveaux de dégradation des sols, a été faite par l'intégration dans un processus de classification non dirigée "ISODATA" des indices de forme et de coloration, du NDVI et du MSACRI. La figure 1 montre la carte de dégradation des sols en considérant 6 classes thématiques: eau, végétation, ombre, sols très dégradés, sols moyennement dégradés et sols peu dégradés (développés). Lors de la validation de cette carte par rapport à la vérité terrain, nous avons constaté une bonne concordance de la distribution spatiale du phénomène de la dégradation du sol, ainsi que les autres classes thématiques. Les sols très dégradés, moyennement et peu dégradés sont associés, respectivement, au calcaire, au grès et aux argiles. Les classes représentant les couverts végétaux et l'eau sont cartographiés avec précision. Quant aux variables géomorphométriques (pente et orientation) et l'indice d'énergie d'eau, ils ont été dérivés à partir du MNT en utilisant ArcGIS. Ces paramètres informent sur les processus physiques responsables de l'érosion du sol. L'indice d'énergie d'eau, programmé dans AecGIS, mesure le potentiel érosif du

ruissellement et constitue un indicateur des zones susceptibles de subir l'érosion hydrique. Alors que les pentes et les orientations caractérisent la morphologie du terrain influençant grandement l'érosion.

Par ailleurs, dans un environnement SIG, nous avons intégré toutes les informations issues des différents traitements. Puis, nous avons procédé à des analyses multicritères (AMC) en considérant plusieurs scénarios et en accordant différents poids aux variables considérés pour la dérivation des cartes de différents niveaux de risque d'érosion. La figure 2 montre en 3D les résultats des AMC en considérant différents risques d'érosion: nul, faible, moyen, élevé et très élevé. La validation de cette carte par rapport à la vérité terrain montre qu'en général les résultats obtenus par des AMC sont précis et concordent avec la réalité. Par exemple, sur le terrain nous avons trouvé un mur érigé aux bords du barrage pour des raisons de sécurité (Figure 2) ce qui a été identifié par les AMC comme une zone à risque d'érosion très élevé. Entre autres, les zones caractérisées par un risque d'érosion très élevé sont les canyons situés en aval du barrage.

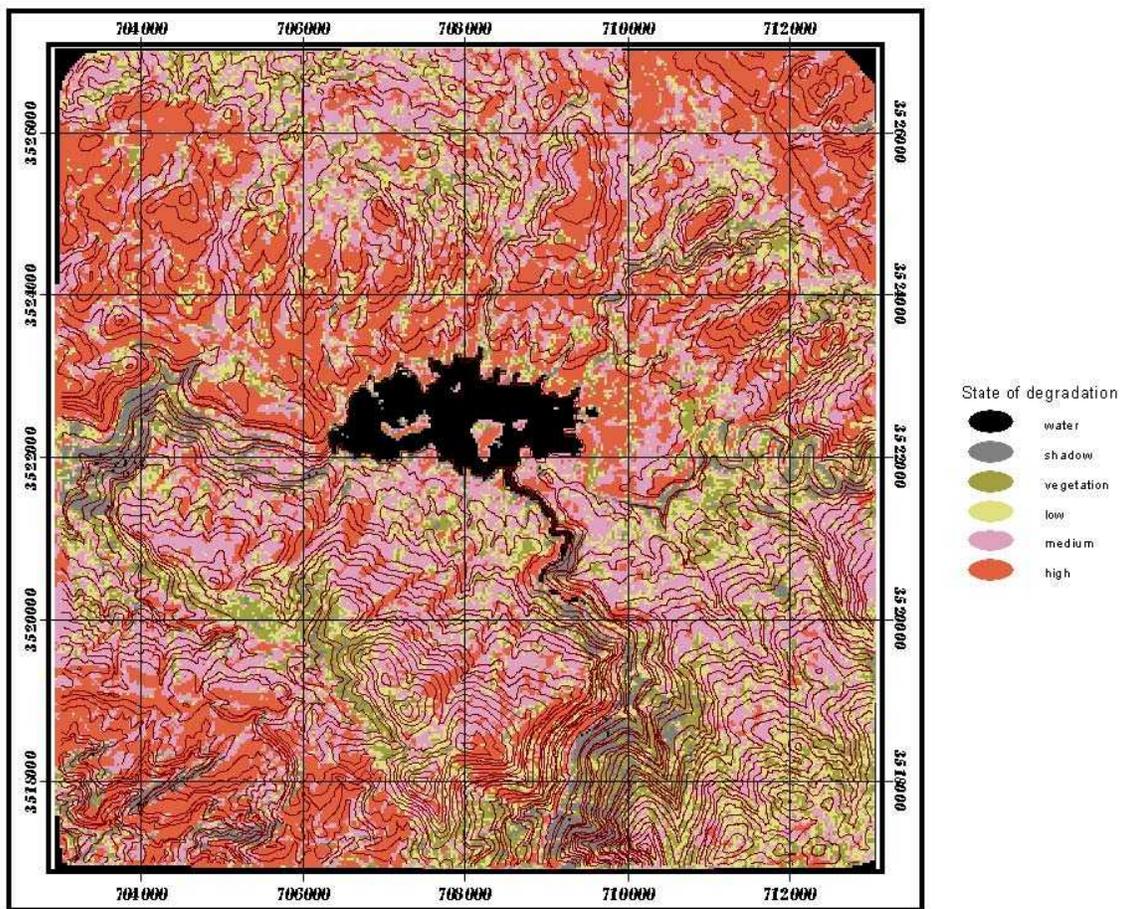


Figure 1: Carte de l'état de dégradation du sol en fonction du relief

#### 4. Conclusions

Cette communication montre l'apport significatif de la synergie entre la télédétection, les données multisources et les SIG pour la cartographie des zones exposées à l'érosion dans les versants de la région d'Azilal au Maroc. La validation des résultats obtenus par rapport à la réalité terrain met en évidence la contribution de l'approche développée pour l'élaboration d'un système d'aide à la décision afin de prendre

des mesures d'intervention qui s'imposent pour la protection des zones à risques et pour préserver le patrimoine sol-végétation pour un développement durable. Grâce aux propriétés optiques des sols, les indices de forme et de coloration intégrant le SWIR permettent une excellente discrimination entre les différentes classes de dégradation du sol. L'intégration de ces indices dans la classification non dirigée a permis la cartographie de la distribution spatiale de l'état de la dégradation du sol. Les variables géomorphométriques et l'indice d'énergie d'eau constituent de bons indicateurs de susceptibilité à l'érosion hydrique et augmentent la précision cartographique lors des AMC.

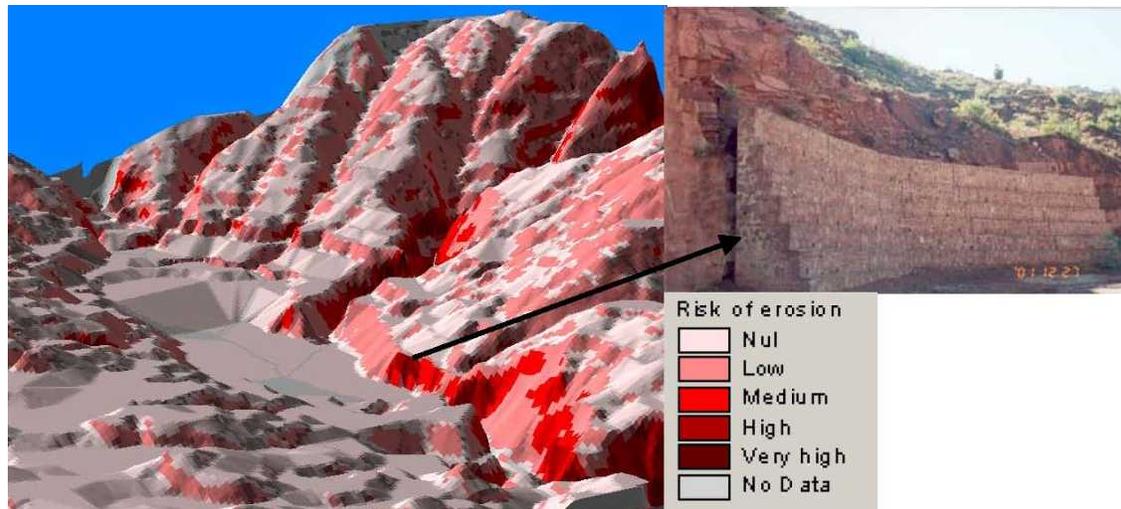


Figure 2 : Carte des risques d'érosion (analyses multicritères en 3D)

### Remerciements

Nous remercions le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie (CRSNG) du Canada, l'OTAN et la Faculté des Arts de l'Université d'Ottawa pour leur support financier, ainsi que la FST de Béni-Mellal et la DPA d'Azilal pour le support logistique sur le terrain.

### Références

- Bannari, A., Haboudane, D. et Bonn, F. (2000). Intérêt du moyen infrarouge pour la cartographie des résidus de cultures. *Journal Canadien de Télédétection*, vol. 26, no. 5, p. 384-393.
- Bannari, A., Teillet, P.M. et Richardson, G. (1999). Nécessité de l'étalonnage radiométrique et standardisation des données de télédétection. *Journal Canadien de Télédétection*, vol. 25, no. 1, p.45-59.
- Bannari, A., D., Morin, G.B. Bénié, and F.J. Bonn (1995) A theoretical review of different mathematical models of geometric corrections applied to remote sensing images. *Remote Sensing Reviews*, vol. 13, p. 27-47.
- Escadafal, R., A. Belghit, A., et A. Ben Moussa (1994) Indices spectraux pour la télédétection de la dégradation des milieux naturels en Tunisie aride. Actes du 6<sup>ème</sup> Symposium international sur 'Mesures physiques et signatures en télédétection', 17-24 janvier, Val d'Isère, France, p. 253- 259.
- Haboudane D., F. Bonn, A. Royer, S. Sommer and W. Mehl (2002). Land degradation and erosion risk mapping by fusion of spectrally-based information and digital geomorphometric attributes. *International Journal of Remote Sensing*, 18: 3795-3820.
- Leone, A.P., G.G. Wright, and C. Corves (1995) The application of satellite remote sensing for soil studies in upland areas of southern Italy. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 16, p.1087-1105.
- MAEF : Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Eaux et Forêts (2001) Programme d'action

- nationale de lutte contre la désertification. Royaume du Maroc, 93 pages.
- Moore, I.D., P.E. Gessler, G.A. Nielson, and G.A. Peterson (1993) Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil science society of America journal, vol. 2, p. 443- 452.
- Price, J.C. (1990) On the information content of soil reflectance spectra. Remote Sensing of Environment, vol. 33, p. 113-121.
- Reusing, M., T. Schneider, and U. Ammer (2000) Modelling soil loss rates in the Ethiopian highlands by integration of high resolution MOMS-02/D2-stereo-data in a GIS. International Journal of Remote Sensing, vol. 21, p. 1885-1896.
- Tanré, D. (1982), Interaction rayonnement-aérosols: applications à la télédétection et au calcul du bilan radiatif. Thèse de doctorat d'État, Université des Sciences et Techniques de Lille, Lille, France, 258 pages.