

# Caractérisation de l'état de dégradation des sols du bassin versant de Zagota (Maroc) à l'aide d'indicateurs spectraux

E. BAHRI<sup>1</sup>, D. HABOUDANE<sup>1</sup>, M. SABIR<sup>2</sup>, L. CHILASSE<sup>3</sup> & M. CHIKHAOUI<sup>4</sup>

(Reçu le 26/01/2012; Accepté le 15/03/2012)

## Résumé

Les milieux arides et semi-arides sont vulnérables au processus de dégradation et d'extension de la désertification. Dans un tel environnement où la végétation est éparse, l'information spectrale générée par l'image satellitaire est souvent dominée par les propriétés spectrales du sol. La variabilité observée de ces propriétés peut être perçue comme le changement des états de surface du sol; lequel peut représenter une modification des propriétés physico-chimiques et texturales du dit sol. Ce travail consiste en l'utilisation des techniques de télédétection afin de caractériser l'état de dégradation du couvert végétal et des sols dans le bassin versant de Zagota, situé au nord de Meknès au Maroc. Pour ce faire, nous disposons de mesures spectroradiométriques effectuées sur le terrain ainsi que d'images satellitaires du capteur ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) du satellite 7 de Landsat, ainsi que du capteur ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) du satellite Terra. L'approche adoptée a consisté en la détermination des produits images à l'aide de méthodes basées sur la similarité spectrale : AMS (analyse de mixture spectrale), SAM (Spectral Angle Mapper), MTMF (Mixture Tuned Matched Filtering), et les indices d'intensité, indice de coloration et indice de forme. Les résultats ont montré l'atout des méthodes basées sur la similarité spectrale à discriminer différents niveaux de dégradation des sols; elles possèdent un potentiel important pour l'identification des unités de terrain en fonction du niveau de dégradation du sol.

**Mots-clés:** Érosion, Indicateurs spectraux, Similarité spectrale, Télédétection, Zagota.

## INTRODUCTION

En régions méditerranéennes, la dynamique et le fonctionnement des écosystèmes sont influencés par l'état de la végétation naturelle dont la croissance est limitée par les effets combinés des températures élevées et du déficit hydrique des périodes estivales. Ces écosystèmes soumis à une activité humaine intense, depuis des millénaires, connaissent une destruction irréversible de leur végétation naturelle ainsi qu'un développement accéléré des étendues de sols plus en plus dénudés. Ce qui en fait des écosystèmes très vulnérables face aux processus de dégradation des sols et aux risques de désertification. Dans ces milieux arides et semi-arides où la végétation verte vigoureuse est généralement peu couvrante, les sols nus occupent la majeure partie de l'espace et leurs propriétés spectrales dominent les mesures spectrales captées au niveau des satellites d'observation de la Terre. La variation de ces propriétés de surface exprime les changements majeurs affectant les sols lors des phénomènes de dégradation. L'expression de la couleur de la surface du sol entremesderéfectancesspectralespermettraitl'identification et l'estimation de certaines propriétés intrinsèques du sol au moyen des techniques de télédétection. En effet, tout comme les variables texture, matière organique et humidité, la

couleur des sols exerce une influence prépondérante sur ses propriétés spectrales (réflectance). Celles-ci sont le résultat direct de la composition chimique des sols et de leur couleur. Les variations de cette dernière peuvent être exprimées en termes d'intensité (I), de saturation (S) et de teinte (H) qui correspondent à la description numérique de la brillance, de l'étendue spectrale de la couleur, et de la vivacité de la couleur. Ces transformations expriment des caractéristiques importantes des spectres de réflectance des sols (Escadafal, 1993): I correspond au niveau moyen de réflectance tandis que S et H caractérisent l'allure générale du spectre. Aussi, il a été démontré que la teinte H est reliée uniquement aux formes des signatures spectrales d'un triplet de bandes et qu'elle est le paramètre de couleur le plus déterminant dans l'identification et la discrimination des sols et des formations lithologiques (Liu and Moore, 1990; Mattikalli, 1997).

## MÉTHODOLOGIE

Le site retenu pour ce travail est le bassin versant de Zagota, situé au pied du moyen atlas, au nord de Meknès au Maroc comme le montre la figure 1. Cette zone présente les caractéristiques des paysages méditerranéens soumis aux processus de dégradation des milieux naturels. Pour

<sup>1</sup> Laboratoire d'Expertise et de Recherche en Géographie Appliquée (LERGA), Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), 555, Boulevard de l'Université, Chicoutimi, Québec, G7H 2B1, Canada, El\_Bahri@uqac.ca, Driss\_haboudane@uqac.ca

<sup>2</sup> École Nationale Forestière d'Ingénieurs, BP 511, Salé, Maroc, sabirenfi@wanadoo.net.ma

<sup>3</sup> Faculté des Sciences, Université Moulay Ismaïl, BP 4010, Beni M'hamed 50000, Meknès, Maroc, chillasse@yahoo.fr

<sup>4</sup> Département des Ressources Naturelles et Environnement, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, BP 6202, Madinat Al Irfane, Rabat, Maroc, mchikhaoui@gmail.com

caractériser l'état de dégradation du couvert végétal et des sols dans cette région, nous disposons de mesures spectroradiométriques effectuées sur le terrain ainsi que d'images satellitaires des capteurs etm+ (enhanced thematic mapper plus) du satellite 7 de Landsat, ainsi que du capteur ASTER (advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer) du satellite Terra. Elles ont été prises durant les mois d'août et septembre, soit la période où les sols sont généralement nus et la végétation saisonnière chlorophyllienne absente. Cela représente les meilleures conditions pour observer les propriétés optiques des sols agricoles.

Les images satellitaires ont été transformées en suivant la chaîne classique de traitement d'images; à savoir: la correction des distorsions géométriques et la correction des effets atmosphériques. La correction des distorsions géométriques a été effectuée par rapport à l'ortho-image ETM+. C'est une correction image à image en utilisant l'approche polynomiale. Ensuite, comme le montre l'organigramme de la figure 2, une panoplie de différents traitements selon des étapes agencées, a été adoptée :

L'extraction des signatures prototypes (*Endmembers*), ensuite la détermination des abondances relatives afin de les intégrer dans les classifications basées sur la similarité spectrale soient : SMA, SAM et MTFM, pour déterminer les unités homogènes de dégradation du sol.

Le démixage spectral (Adams et al., 1989) pour déterminer les abondances relatives des thèmes au sol dont la végétation, les formations géologiques et les sols. Les fractions représentant les sols seront utilisées à titre de comparaison avec les résultats des indices décrivant la forme des spectres.

Ensuite les abondances relatives sont soit combinées selon des règles décisionnelles dans le cadre d'un SIG soit

impliquées dans des procédures de classification basée sur les statistiques Bayésiennes.

Les indices d'intensité, indice de coloration et de forme (Escadafal et al., 1994; Haboudane et al., 2002) qui sont des transformations des couleurs du système IHS (intensité, teinte, saturation) (Liu and Moore, 1990;). Ces indices ont été classifiés et interprétés en termes de dégradation du milieu naturel.

Dans cet article, nous présentons les résultats relatifs à l'utilisation des indices décrivant la forme du spectre ainsi le démixage spectral.

## RESULTATS

Les résultats obtenus confirment les tendances révélées par les travaux de Haboudane et al. (2002): les indices intégrant les bandes spectrales du visible et de l'infrarouge proche et moyen discriminent mieux les différents niveaux de dégradation que leurs homologues déterminés uniquement à partir des bandes du visible et proche infrarouge. En effet, ils décrivent mieux la forme générale des spectres dont les traits caractéristiques (pente, bandes d'absorption, amplitude de la réflectance) expriment la présence ou l'absence des processus pédogénétiques. Cela peut s'expliquer par les effets combinés des minéraux argileux, de la matière organique et des oxydes de fer. D'abord, les argiles agissent par leurs propriétés d'absorption particulièrement élevées aux alentours de 2,20  $\mu\text{m}$ . Concernant le fer et la matière organique, des niveaux de corrélation élevés ont été observés entre la teneur en oxydes de fer et la réflectance dans le domaine du moyen infrarouge et aussi entre celle-ci et les pourcentages de fer des complexes organiques (Baumgardner et al., 1985).

Comme le montre la figure 3, l'application des indices de forme aux images ASTER de la région de Zagota (Maroc)

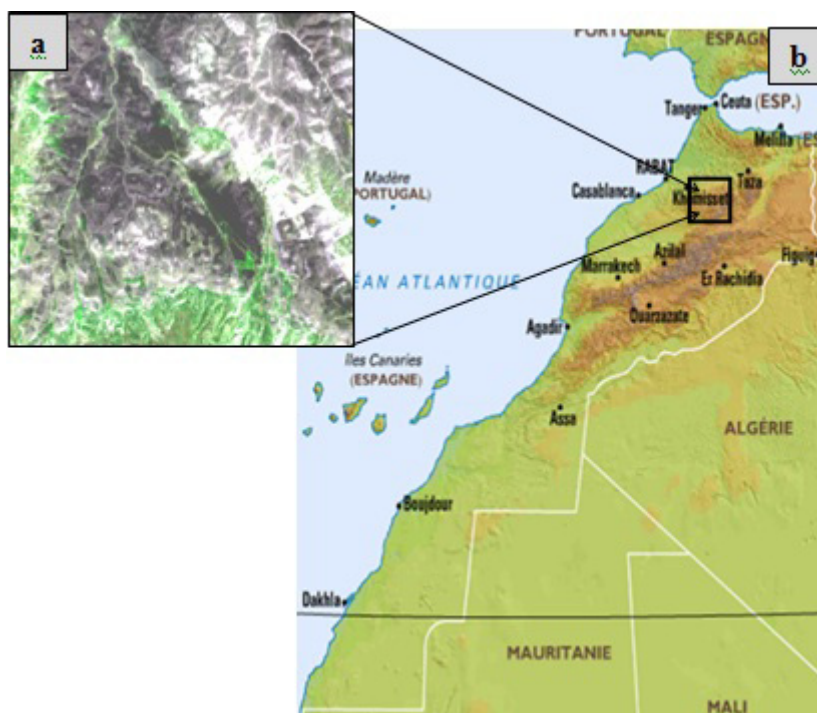


Fig. 1. Localisation générale de : (a) composé coloré d'une sub-image ASTER de la zone d'étude acquise en août 2000, avec la bande 2 dans le rouge, la bande 3 dans le vert et la bande 1 dans le bleu, et (b) carte du Maroc.

ainsi que l'approche SMA, a permis de discriminer différents états de la végétation et des sols. Les classes cartographiées sur ladite figure ont été obtenues par la méthode de regroupement "Fuzzy K-Means" appliquée aux indices représentant l'intensité, la coloration et la forme du spectre. Les mêmes dites classes sont obtenues par combinaison des abondances relatives selon des règles décisionnelles préalablement déterminées selon la dominance au niveau du sub-pixel. Ainsi, il a été possible de distinguer cinq (5) classes d'état de dégradation du sol, trois (3) classes d'état du couvert végétal, ainsi qu'une (1) classe représentant les jachères. Les sols développés et moyennement développés occupent la cuvette du bassin versant Zagota ainsi que les couloirs le connectant aux autres bassins versants en directions nord et est, tandis que les sols dégradés sont rencontrés sur les parties inférieures des flancs des monts encadrants le dit bassin versant et sur les berges des cours d'eaux. Quant aux sols très dégradés et extrêmement dégradés, ils correspondent surtout aux formations marneuses formant le rebord Est du bassin

versant, mais aussi aux formations marno-calcaires des dorsales formant les barrières géographiques Sud et Ouest du bassin versant.

Les résultats obtenus par les deux approches sont relativement similaires, elles ont permis de générer les mêmes classes avec des différences relatives des proportions de certaines classes en terme de pourcentage. En effet comme le montre la figure 3 les sols développés et la végétation dense sont plus abondants sur la classification des indices que sur celle du SMA, cependant les jachères et les résidus sont mieux représentés par le SMA que par les indices. Cette différence remarquée peut être liée d'une part à l'effet de l'ombre qui influence les indices plus que le SMA, car la fraction de l'ombre a été considérée dans le cas de SMA et toutes les autres fractions étaient normalisées par rapport à l'ombre. D'autre part, l'effet du sol nu ainsi que la confusion entre les sols dégradés et les résidus ont contribué à la sous-estimation des jachères et résidus par la classification obtenue par les indices. Il faut,

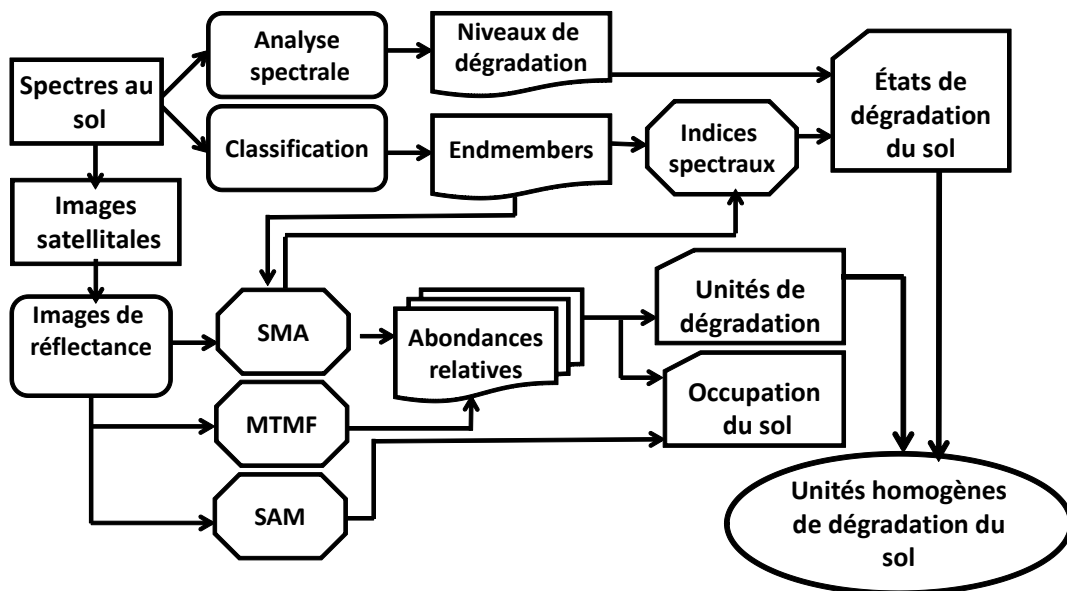


Fig. 2. Organigramme méthodologique

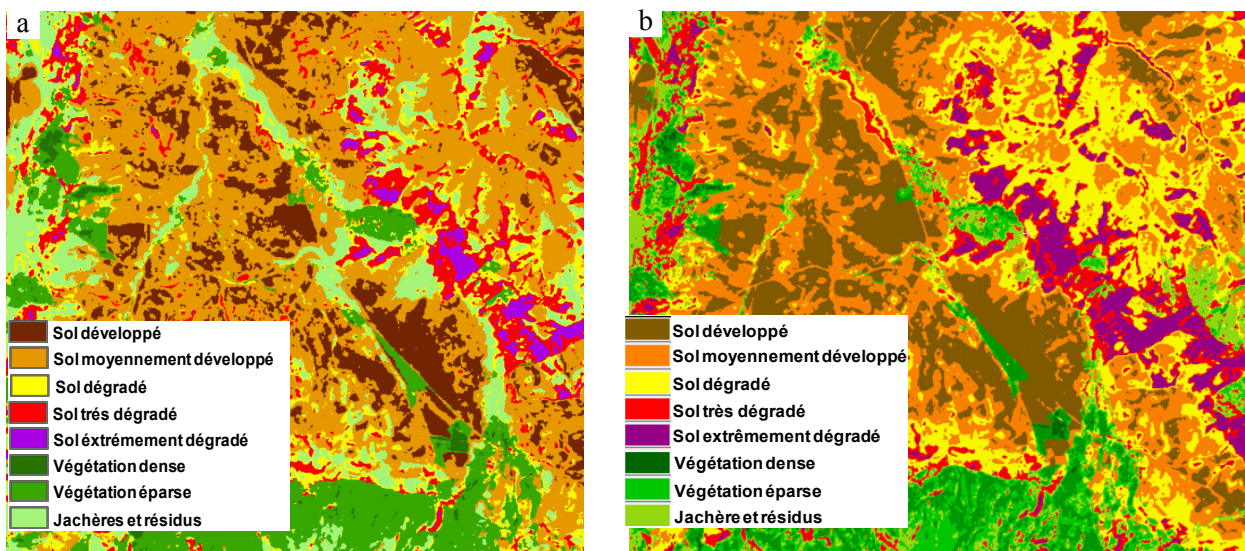


Fig. 3. Conditions de surface et état de dégradation du bassin versant Zagota (Maroc), produite par : (a) classification des indices intensité, indice de coloration et indice de forme déterminés à partir des bandes ASTER 3, 7 et 2; (b) reclassification des abondances relatives obtenues par le démixage spectral (SMA).

toutefois, souligner que l'interprétation des variations des états de surface et des changements soulignés par ces indices ou les autres approches devrait être effectuée par des spécialistes possédant une bonne connaissance des phénomènes observés en relation avec la réalité terrain étudiée (Escadafal and Bacha, 1995; Haboudane, 1999; Chikhaoui et al, 2007).

## CONCLUSION

Les résultats présentés dans cet article montrent bien que les indices spectraux intégrant des bandes du moyen infrarouge permettent de discriminer différents niveaux de dégradation des sols et possèdent un potentiel important pour l'identification des unités de terrain susceptibles à la dégradation. D'où l'intérêt des bandes fine résolution du capteur aster dans la région spectrale du moyen infrarouge. L'approche adoptée a permis de dégager les conclusions suivantes : (i) les propriétés optiques de la surface du sol peuvent être utilisées comme indicateurs de l'état de dégradation des milieux semi-arides, (ii) l'intégration des bandes du moyen infrarouge dans la description de la forme des spectres permet une meilleure caractérisation des conditions des sols et (iii) l'interprétation des résultats doit être effectuée par des spécialistes possédant une bonne connaissance de l'environnement étudié.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le programme "Security Through Science" de l'OTAN (collaborative linkage grant ref. 981374), le CRSNG et le FQRNT pour leurs soutiens financiers.

## RÉFÉRENCES

- Adams, J. B., Smith, O. M., and Gillespie, A. R. 1989. Simple models for complex natural surfaces : A strategy for the hyperspectral era of remote sensing. Proceedings of IGARSS'89, 10-14 July 1989, Vancouver, Canada, p.16-21.
- Baumgardner, M. F., Sylva, L. F., Biehl, L. L. And Stoner, E. R. (1985). Reflectance properties of soil. *Advances in Agronomy*, 38 : 1-44.
- Escadafal, R. (1993). Remote sensing of soil color: principles and applications. *Remote Sensing Reviews*, 7: 261-279.
- Escadafal, R., Belghith, A., et Ben Moussa, H. (1994). Indices spectraux pour la télédétection de la dégradation des milieux naturels en Tunisie aride. 6e Symposium International "Mesures physiques et signature spectrale en télédétection", 17-21 janvier 1994, Val d'Isère, France, p. 253-259.
- Escadafal, R. And Bacha, S. (1995). Strategy for the dynamic study of desertification. Proceedings of the ISSS International Symposium (Working Groups RS and MD), Ouagadougou, Burkina Faso, 6-10 February 1995, p. 19-34.
- Chikhaoui, M., Bonn, F., Merzouk, A., Lacaze, B. et Mejjati, M. (2007) Étude de la dégradation des sols par l'approche SAM et les indices spectraux à partir des données ASTER. *Revue Télédétection*, vol. 1234, p. 349-363.
- Haboudane, D. (1999). Intégration des données spectrales et géomorphométriques pour la caractérisation de la dégradation des sols et l'identification des zones de susceptibilité à l'érosion hydrique. Thèse de doctorat, Département de géographie et télédétection, Faculté des lettres et sciences humaines, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec.
- 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.
- Liu, J. G., and Moore, J. M. (1990). Hue image RGB composition. A simple technique to suppress shadow and enhance spectral signature. *International Journal of Remote Sensing*, 11(8): 1521-1530.
- Mattikalli, N.M. 1997. Soil color modeling for the visible and near-infrared bands of Landsat sensors using laboratory spectral measurements. *Remote Sensing of Environment*, 1 (59): 14-28.