

Indicateurs Spectraux de l'État de Dégradation des Sols en Milieux Semi-arides : Cas des Bassins de la Guadalentin (Espagne) et de Saïss (Maroc)

Driss Haboudane¹, Ferdinand Bonn², Abdou Bannari³, El Mustapha Bahri¹, Lahcen Chillasse⁴, et Ali Essahlaoui⁴

¹ *Laboratoire d'expertise et de recherche en télédétection et géomatique (LERTG), Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), 555, boulevard de l'Université, Chicoutimi, Québec, G7H 2B1, Canada; Téléphone: 1 (418) 545-5011 poste 5673; Courriel: Driss_Haboudane@uqac.ca ; El_Bahri@uqac.ca*

² *Centre d'Application et de Recherche en Télédétection (CARTEL), Université de Sherbrooke, 2500 Boul. Université, Sherbrooke, Québec, J1K 2R1, Canada; Téléphone : 1 (819) 821-8000 poste 2964; Courriel : ferdinand.bonn@usherbrooke.ca*

³ *Laboratoire de Télédétection et de Géomatique de l'Environnement, Université d'Ottawa, 60, rue Université, Ottawa, Ontario, K1N 6N5, Canada; Téléphone : 1 (613) 562-5800 poste 104; Courriel : abannari@uottawa.ca*

⁴ *Faculté des Sciences, Université Moulay Ismaïl, B.P. 4010, Beni M'hamed 50000, Meknès, Maroc; Courriel : chillasse@yahoo.fr ; geophymek@yahoo.fr*

Abstract

Arid and semiarid Mediterranean landscapes are vulnerable to land degradation processes and desertification risks. In such an environment, when the vegetation cover is low, spectral measurements provided by remote sensing imagery are dominated by soil spectral properties. Observed changes in these properties can be interpreted as a change of soil surface conditions. The present work investigates the use of remote sensing techniques to characterise and map land degradation status in sites from Morocco and Spain. To achieve our objectives we have used field measurements as well as satellite images from ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), TM (Thematic Mapper), and ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). Our results demonstrate that land degradation patterns can be mapped using optical indices related to the spectrum shape.

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 en termes de réflectances spectrales permettrait l'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 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).

Matériels et méthodes

Les sites retenus pour ce travail sont le bassin de la Guadalentin, situé au Sud-Est de l'Espagne, et la plaine de Saïss, située au pied du Moyen Atlas au Maroc. Ces zones présentent les caractéristiques des paysages méditerranéens susceptibles aux processus de dégradation des milieux naturels. Pour caractériser l'état de dégradation du couvert végétal et des sols dans ces régions, nous disposons de mesures spectroradiométriques effectuées sur le terrain ainsi que d'images satellitaires des capteurs TM (Thematic Mapper) et ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) des satellites 5 et 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 de 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. Ensuite, les traitements suivants ont été entrepris :

- 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.
- les indices intensité, indice de coloration et indice 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 terme de dégradation du milieu naturel.

Dans ce court article, faute d'espace, nous ne présentons que les résultats relatifs à l'utilisation des indices décrivant la forme du spectre, sur les images ASTER du bassin versant Zagota (Nord de Meknès).

Résultats et discussion

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 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 1, l'application des indices de forme aux images ASTER de la région de Zagota (Maroc) 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. 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 encadrant ledit 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.

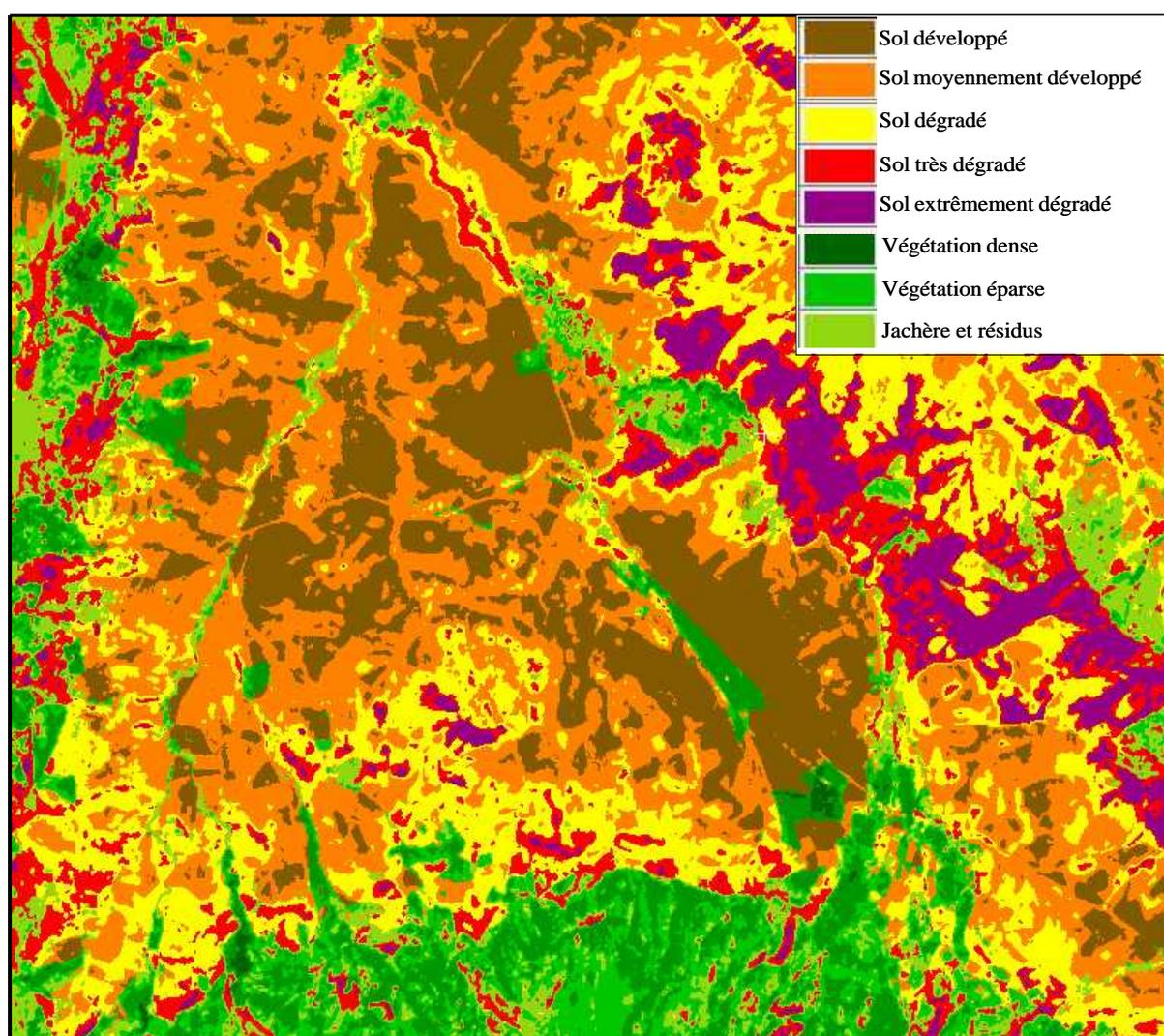


Figure 1. Conditions de surface et état de dégradation du bassin versant Zagota (Maroc), produite par classification des indices : intensité, indice de coloration et indice de forme déterminés à partir des bandes ASTER 3, 7 et 2.

Il faut, toutefois, souligner que l'interprétation des variations des états de surface et des changements soulignés par ces indices 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).

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 pour son support financier (Collaborative Linkage Grant Ref. 981374). Ils remercient aussi le CRSNG du Canada et le FQRNT (subventions de Driss Haboudane) pour leurs soutiens financiers.

Références bibliographiques pertinentes

- 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. 6^e 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.
- 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.