

Détection de la salinité et de la sodicité, faibles et modérées, en milieu agricole irrigué à l'aide du capteur ALI de EO-1 : Cas de la plaine de Tadlat au Maroc

BANNARI Abderrazak§, GUEDON Anne-Marie§, EL-HARTI Abderrazak§§, ET EL-GHMARI Abderrahmane§§

§ Département de Géographie, Université d'Ottawa,

60 Rue Université, Ottawa (Ontario), Canada K1N 6N5

Téléphone (613) 562-5800 (poste 1042); Télécopieur (613) 562-5145.

C.É. : abannari@uottawa.ca

§§ Laboratoire de télédétection et des SIG appliqués aux géosciences et à l'environnement, Faculté des sciences et techniques, Université Sultan Moulay Slimane, Béni-Mellal, Maroc.

Résumé

Au fur et à mesure que la population mondiale augmente, l'intensification agricole impose une pression accrue sur les terres irriguées et productives, notamment dans les régions arides et semi-arides. Dans ces régions, la forte utilisation des ressources en eau de surface et souterraine sont les causes principales de la salinité et de la dégradation du sol (Postel, 1999). Entre autres, l'impact des changements climatiques et du réchauffement de la planète a des répercussions graves sur l'agriculture dans ces régions en ce qui a trait au cycle de l'eau. Durant les trois dernières décennies, la sécheresse a frappé non seulement les zones basées sur une agriculture pluviale dite "Boure", mais aussi les périmètres irrigués, à cause de l'augmentation des températures et de la diminution des précipitations. Cette situation cause des pénuries d'eau dans les barrages hydroélectriques et même dans la nappe souterraine, ce qui limite l'accessibilité à l'eau et, par conséquent, la production agricole. Incidemment, elle catalyse la vulnérabilité des terres agricoles par une forte augmentation du taux de la salinité et par une accélération des phénomènes de l'érosion et de la désertification. Environ 33% des terres arables dans le monde sont affectée par la salinité, soit 7% de la surface terrestre (Gupta et Abrol, 1990).

Suivant les cas des pratiques agricoles et en fonction des conditions environnementales, les sols contiennent des sels en quantité plus ou moins importante. On appelle salinité primaire la salinité naturelle causée par la chimie de la roche mère, alors que la salinité secondaire est celle induite par l'homme (Ghassemi *et al.*, 1995). La salinité secondaire est le plus souvent le résultat de systèmes d'irrigations mal adaptés aux circonstances environnementales locales (Badraoui *et al.*, 1998). Dans le sol, la présence d'éléments minéraux en solution est la source des éléments nutritifs pour les plantes. Cependant, l'augmentation excessive de la quantité de sels dissous apportés par les eaux affecte le développement des plantes et cause une baisse des récoltes. Les facteurs qui influencent la formation des sols salés sont nombreux. D'après les estimations de l'institut des ressources mondiales, plus de la moitié des terres irriguées de notre planète sont devenue salées et/ou sodique en raison de l'utilisation de méthodes d'irrigation inadéquates, de mauvais système de drainage et de l'utilisation des eaux salées (Dehaan and Taylor, 2002; Van Der Lelij and Poolman, 1989).

La salinité est souvent liée très étroitement à la sodicité des terres agricoles. Les problèmes de la salinité et de la sodicité sont complexes, car de multiples facteurs interviennent pour contribuer à ces deux processus de dégradation des sols. Selon Richards (1954), les sols sodiques ont un pH de plus de 8,2 avec une prépondérance de carbonate et bicarbonate de sodium. Ceci entraîne une saturation en sodium de la fraction argileuse, ce qui provoque la dispersion des particules d'argile avec, comme conséquence de défaire la structure poreuse

du sol. Le sol devient alors compact et imperméable, ce qui empêche l'aération et la pénétration de l'eau dans le sol nécessaires pour une croissance normale des plantes (Ghassemi *et al.*, 1995; Gupta et Abrol, 1990). Quant à la salinité, elle réfère à la quantité de sels solubles dans un sol, tels les sulfates (SO₄), les carbonates (CO₃) et les chlorides (Cl). Généralement, on trouve souvent une croûte de couleur blanchâtre sur la surface sèche des sols sévèrement atteints par la salinité. Comme conséquence de la salinité, le mécanisme primaire qui limite le développement de la plante est la pression osmotique; celle-ci augmente avec le niveau de sel et rend l'absorption de l'eau par la plante plus difficile (Gupta et Abrol, 1990).

Afin de prendre des mesures de redressement et développer un système d'irrigation durable, il est important de savoir quand et comment les phénomènes de la salinité et de la sodicité se manifestent (Al-Khaier, 2003). Les gestionnaires, les scientifiques et les ingénieurs agronomes ont besoin d'information sur l'étendue, l'ampleur et la distribution spatiale de la salinité et de la sodicité pour mettre au point une action de redressement appropriée (Metternicht and Zinck, 2003). Les techniques conventionnelles pour identifier et surveiller la salinité des terres agricoles sont basées sur la mesure des niveaux d'eau dans les forages, des mesures géophysiques, des mesures des propriétés électriques de sol et l'identification visuelle (Van Der Lelij et Poolman, 1989). La méthode basée sur les mesures de la conductivité électrique (CE) du sol est généralement acceptée comme la plus efficace pour la quantification de la salinité des sols (Norman *et al.*, 1989). Selon Richards (1954), les sols salins ont une CE de plus de 4 ds/m à 25°C et un pH de moins de 8,2. Toutefois, cette méthode est longue et coûteuse, et demande des efforts remarquables d'où la nécessité de développer des méthodes plus rentables pour une caractérisation spatiale efficace et rapide de la salinité. Dans ce sens, de nombreux travaux de recherche antérieurs ont démontré l'intérêt grandissant pour l'utilisation des données de télédétection comme source d'information et des systèmes d'information géographique (SIG) comme outil de gestion et d'aide à la décision (Zinck, 2000). Le potentiel de la télédétection pour identifier la salinité du sol a été étudié en utilisant la télédétection multi spectrale. La large résolution spectrale des données TM de Landsat et l'utilisation des techniques traditionnelles de classification ont montré des sérieux limites pour la caractérisation de la salinité des sols (Fraser et Joseph, 1998). Taylor *et al.* (1994) ont montré comment l'analyse des composantes principales des images acquises par le capteur GEOSCAN a permis de quantifier la salinité des sols de la région de Pyramide à Victoria en Australie. Hashem (1997) a travaillé sur la salinité et la sodicité dans les régions agricoles en Égypte. A la suite d'une comparaison temporelle entre les capteurs HRV de SPOT et TM de Landsat, il remarque qu'une confusion spectrale peut survenir entre les régions désertifiées et les régions salines. Metternicht et Zinck (1997) ont réussi à obtenir une précision de discrimination entre les sols salins et non salins de 64%, mais ils ont conclu qu'une confusion spectrale peut être causée par la proximité des classes. Il est plus facile de différencier les sols salins et sodiques des sols non affectés, mais des difficultés s'imposent quant à la discrimination des sols à différents niveaux de salinité (Metternicht et Zinck, 2003). Dans le même sens, Verma (1994) a cartographié la salinité dans certaines régions de l'Inde avec le capteur TM, et il conclut que les terrains en jachère peuvent refléter de façon similaire aux sols salins. Mougenot *et al.* (1995) identifient la salinité par l'intermédiaire de la végétation, mais ils concluent que les estimés précis sont difficiles sans le thermique pour l'identification de la salinité. Le thermique semble pouvoir préciser les confusions spectrales quand à l'identification de la salinité. D'autres études ont été faites en utilisant le stress des plantes et les indices de végétation pour localiser les régions salines (Zuluaga, 1990; Vidal *et al.*, 1996; Vincent *et al.*, 1996). Il a été observé que l'infrarouge est la région du spectre électromagnétique qui produit des résultats pour différencier les sols les plus salins des sols non salins. Mougenot *et al.* (1995) ont confirmé que l'infrarouge peut augmenter la précision de l'analyse et de la discrimination de la salinité et la sodicité.

D'autres études ont analysées au laboratoire les facteurs qui influencent les signatures spectrales de différents types de croutes salines (Mougenot *et al.*, 1993; Howari, 2002). Csillag *et al.* (1993) ont comparé deux types de sols pour voir l'effet de la sodicité et de la salinité sur les réflectances. Ils ont fait des analyses au laboratoire afin de trouver les bandes spectrales les plus propices à l'identification de la salinité. En outre, Chapman *et al.* (1989) et Drake (1995) décrivent les dispositifs d'absorption spectrale de différents sels de sols agricoles. Crowley (1991) a montré que beaucoup de minerais salins montrent les bandes d'absorption notamment dans le proche infrarouge (PIR) et que cette région spectrale peut être exploitée pour détecter les hydrates dans les mélanges de minéraux dominés par le chlorure de sodium. Drake (1995) et Hunt *et al.* (1971), ont mis en évidence les bandes d'absorption du gypse à environ 1000, 1200, 1400, 1600, 1740, 1900 et 2200 nm. Différents chlorures hydratés, sulfates du sodium, potassium, calcium et le magnésium montrent également ces bandes d'absorptions mais avec des petites variations des pics d'absorptions à cause de la concentration et de la manière dont l'eau est retenue dans les minéraux. En utilisant des données de réflectances mesurées au sol, Bannari *et al.* (2008) ont démontré que la région du SWIR est la plus sensible que les autres longueurs d'ondes aux différents degrés de salinité et de sodicité, notamment faibles et moyennes.

Par ailleurs, dans la littérature, différents indices spectraux ont été proposés pour la détection et l'identification des sols salins. Khan *et al.* (2001) ont proposé trois indices spectraux pour l'identification de la salinité au Pakistan en utilisant le capteur LISS-II sur la plateforme IRS-1B, soient : le Brightness index (BI), le Normalized Difference Salinity Index (NDSI) et le Salinity Index (SI). Parmi ces trois indices, ces chercheurs ont trouvé que le NDSI montrer plus de succès dans l'extraction des différentes classes de la salinité. Selon Al-Khaier (2003), l'indice de salinité ASTER-SI qui utilise les bandes 4 et 5 du capteur ASTER, détecte avec précision le phénomène de la salinité des terres agricoles irriguées dans un environnement semi-aride en Syrie. Dans le cadre d'un projet de coopération entre l'Inde et la Norvège (IDNP, 2003), une méthodologie a été proposée pour la cartographie de la salinité et de la sodicité des sols en utilisant le capteur TM de Landsat et les SIG. Après analyse de différentes techniques de la télédétection, ce projet recommandait trois différents indices de salinité (Salinity Index : SI) : SI-1, SI-2 et SI-3. En explorant la région spectrale du SWIR, Bannari *et al.* (2008) ont proposé deux indices : Soils Salinity and Sodidity Indices (SSSI-1 et SSSI-2). Il est très probable que ces indices peuvent augmenter la précision d'identification des zones à faibles et à moyennes salinité et sodicité en utilisant les données images acquises par le capteur ALI (Advanced Land Imaging) sur la plateforme satellitaire "Earth observing (EO-1)".

Cette recherche vise à étudier pour la première fois le potentiel du capteur ALI-EO-1 pour l'identification et la cartographie de la salinité et la sodicité, faibles et modérées, du périmètre irrigué de la plaine du Tadla au Maroc. Dans cette région du bassin méditerranéen sud, le problème de la salinité, bien qu'étant moins contraignant qu'en milieu aride, est néanmoins notable. Par exemple, 10 à 15% des terres sont atteintes au Maroc (Es-Saoudi, 2002). La grande variété des sels essentiellement les évaporites est due à la diversité et à l'instabilité des conditions climatiques ayant contribué à leur formation. D'autres facteurs interviennent telles que la chimie de surface et la chimie des eaux souterraines, l'acidité et la basicité du milieu (Jankowski and Ackworth, 1999). Au périmètre irrigué de Tadla, les phénomènes de la salinité et de la sodicité ont pris un rythme croissant et constituent un risque de détérioration de la qualité des sols et affectent profondément les rendements agricoles. Pour atteindre nos objectifs, deux différentes et indépendantes sources de données ont été exploitées : des données spectroradiométriques acquises au sol et des données image. Les données spectroradiométriques des sols ont été rééchantillonnées et soumis à une convolution spectrale selon les réponses des filtres caractérisant les bandes spectrales du capteur ALI EO-1. Quant aux données images, elles ont été corrigées de différents effets atmosphériques et

étalonnées des anomalies radiométriques relatives au capteur. Les résultats ont été validés par rapport à la vérité terrain. Notre méthodologie est basée sur les étapes suivantes :

Caractérisations spectrales des sols à différents niveaux de la salinité et de la sodicité.

Analyse au laboratoire des échantillons de sols afin de connaître leur conductivité électrique (CE) et leur pH.

Analyse du comportement spectral de la salinité et de la sodicité, notamment faibles et modérés, dans les bandes du capteur ALI à la lumière des analyses au laboratoire.

Établissement de relations semi empiriques entre la CE et les indices spectraux (discutés ci-dessus) dérivés à partir des mesures spectroradiométriques au sol pour la mise au point sur la relation qui offre le modèle de prédiction le plus précis pour la cartographie des phénomènes de salinité et de sodicité.

Application de la relation obtenue au point 4 sur l'image ALI EO-1 et la validation des résultats par rapport à la vérité terrain.

Références

- AL-KHAIER, F., 2003, Soil Salinity detection using satellite Remote Sensing. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands. 61 pages.
- BADRAOUI, M., Soudi, B., et Farhat, A., 1998, Variation de la qualité des sols : Une base pour évaluer la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au Maroc. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, pp.227-234.
- BANNARI, A., GUEDON, A.M., EL-HARTI, A., CHERKAOUI, F.Z. and EL-GHMARI, A., 2008, Characterization of Slight and Moderate Saline and Sodic Soils in Irrigated Agricultural Land Using Simulated Data of ALI (EO-1) Sensor. Journal of Soil Science and Plant Analysis (In press).
- CHAPMAN, J.E., ROTHERY, D.A., FRANCIS, P.W. and PONTUAL, A., 1989, Remote sensing of vaporite mineral zonation in salt flats (salars). *International Journal of Remote Sensing*, 10, pp. 245 - 255.
- CROWLEY, J.K., 1991. Visible and near-infrared (0.4-2.5 μ m) reflectance spectra of playa evaporite minerals. *Journal of Geophysical Research*, 96(16), pp. 231- 240.
- CSILLAG, F., PASZTOR, L. et BIEHL, L., 1993, Spectral band selection for the characterization of salinity status of soils. *Remote Sensing of the Environment*, Vol. 43: 231-242.
- DEHAAN, R.L. and Taylor, G.R., 2002. Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization. *International Journal of Remote Sensing*, 80, pp. 406 - 417.
- DRAKE, N. A., 1995, Reflectance spectra of evaporite minerals (400-2500 nm): applications for remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 16, pp. 2555 - 2571.
- FRASER, D. and Joseph, S., 1998, Mapping soil salinity in the Murray Valley (NSW) using satellite imagery. *Proceedings of the 9th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference*, Sydney, Australia. Paper published on CD.
- GHASSEMI, F., JAKEMAN, A.J. and NIX, H.A., 1995, Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. Center for resource and environmental studies, The Australian National University, Canberra, Australia. 125 pages.
- GUPTA, R.K. and ABROL, I.P., 1990, Salt-affected soil: Their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Science Volume 11 Soil degradation* ed. Lal, R., Stewart, B.A. Springer-Verlag, New York. 288 pages.
- HASHEM, M., EL-KHATTIB, N., EL-MOWELHI, M. et ABD EL-SALAM, A., 1997, Desertification and land degradation using high resolution satellite data in the Nile Delta, Egypt. *IEEE*: 197-199.

- HOWARI, F.M., GOODELL, P.C. et MIYAMOTO, S., 2002, Spectral Properties of Salt Crusts Formed on Saline soils. *Journal of Environmental Quality*, Vol. 31:1453-1461.
- HUNT, G.R., SALISBURY, J.W., & LENHHOFF, C.J., 1971. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: III. Oxides and Hydroxides. *Modern Geology*, 2, 193-205.
- IDNP ,2003, Indo-Dutch Network Project: A Methodology for Identification of terlogging and Soil Salinity Conditions Using Remote Sensing. Central Soil Salinity Research Institute, Karnal, India, 78 pages.
- KHAN, N.M., Rastoskuev, V.V., Shalina,E.V., and Sato,Y.,2001, Mapping Salt-Affected Soils using remote sensing Indicators – A simple approach with the use of GIS IDRISI. Paper presented at the 22nd Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November, Singapore. Center for Remote Imaging, sensing and Processing (CRISP), National University of Singapore; Singapore Institute of Surveyors and Valuers; Asian association on Remote sensing. 5 pages.
- METTERNICHT, G.I. et ZINCK J.A.,1997, Spatial discrimination of salt and sodium affected soil surfaces. *International Journal of Remote Sensing* **18**(12): 2571-2586.
- METTERNICHT, G.I. et ZINCK J.A., 2003, Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 85: 1-20.
- MOUGENOT, B., POUGET, M. and EPEMA, G., 1993, Remote sensing of salt affected soils. *Remote sensing review* Vol. 7: 241-259.
- NORMAN, C.P., LYLE, C.W., HEUPERMAN, A.F. and POULTON, D., 1989, Tragowel Plains – Challenge of the Plains. In: Tragowel Plains Salinity Management Plan, Soil Salinity Survey, Tragowel Plains Subregional working group, pp. 49-89. Melbourne: Victorian, Department of Agriculture.
- POSTEL, S., 1999, Pillar of Sand: Can the irrigation miracle last. Worlwatch book. Norton and Company, New York. 315 pages.
- RICHARDS, L.A., 1954, Diagnosis and improvements of saline and alkali soils. U.S. Salinity Laboratory DA, US Department of Agriculture Hbk 60, 160 pages.
- VAN DER LELIJ, A. and POOLMAN, G., 1989, EM-38 applications in irrigated areas of southern New South Wales, resource-monitoring workshop. *Proceedings and abstracts, Department of Agriculture and Rural Affairs, Institute for Irrigation and Salinity Research*, Tatura, Victoria, Vol. 1, 13 pages.
- VERMA, K.S., SAXENA, R.K., BARTHWAL, A.K. et DESHMUKH, S.N. ,1994, Remote sensing technique for mapping salt affected soils. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 15(9): 1901-1914
- VIDAL, A., MAURE, H., DURAND, H. et STROSSER, P.,1996, Remote sensign applied to irrigation system management : Example of Pakistan. *EURISY ColloquiumL Satellite Observation for Sustainable Development in the Mediterranean Area*: 132-142.
- VINCENT, B, FREJEFOND, E., VIDAL, A. et BAQRI, A., 1995, Drainage performance assessment using remote sensing in the Gharb Plain, Morrocco. *Use of remote sensing techniques in irrigation and drainage*, Vidal, A. et Sagardoy, J.A. (editors). Water report 4, FAO, Rome: 155-164.
- TAYLOR, G. et DEEHAN, R., 2004, Salinity mapping with hyperspectral imagery. School of Biological, Earth and Environmental Sciences, Sydney, Australia, 4 pages http://www.bees.unsw.edu.au/research/remote_sensing/salinity1.html
- ZINCK, J.A., 2000, Monitoring soil salinity from remote sensing data. *From the 1st workshop EARSel Special Interest Group on Remote Sensing for Developing Countries: 359-368*
- ZULUAGA, J.M., 1990, Remote Sensing applications in irrigated management in Mendoza, Argentina. Remote sensing in evaluation and management of irrigation, (editor) Mementi, M., Instituto Nacional de Ciencia y Técnicas Hidricas, Mendoza, Argentina. pp. 37-58.