

Application de la télédétection dans la connaissance de la salinité des sols de la plaine du Bas-Chélif

S.A. Gherina, A. Douaoui, T. Hartani, Bernard Vincent

► **To cite this version:**

S.A. Gherina, A. Douaoui, T. Hartani, Bernard Vincent. Application de la télédétection dans la connaissance de la salinité des sols de la plaine du Bas-Chélif. T. Hartani, A. Douaoui, M. Kuper. Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb, May 2008, Mostaganem, Algérie. Cirad, 8 p., 2009, Colloque -CD-rom. <cirad-00366478>

HAL Id: cirad-00366478

<http://hal.cirad.fr/cirad-00366478>

Submitted on 7 Apr 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Application de la télédétection dans la connaissance de la salinité des sols de la plaine du Bas-Chélif

Gherina S.A^{*}, Douaoui A^{*}, Hartani T^{**}, Vincent B^{***}

*Université Hassiba Benbouali de Chlef, Hay Salem, 19 route nationale, 02000 Chlef, Algérie

**INA, Institut National d'Agronomie, El Harrach, 16200 Alger, Algérie

***Cemagref, 361, rue J.F. Breton BP 5095, 34196 Montpellier, Cedex 5, France

Résumé — L'utilisation de la télédétection dans le suivi et l'identification des phénomènes éco-environnementaux, tels que la salinisation des sols, a connu une apogée ces dernières années. La salinité qui est la principale caractéristique de la plaine du Bas Chélif influence directement ou indirectement les états de surfaces qui peuvent être identifiés par télédétection. L'objectif de cet article consiste à confronter les données de salinité mesurées sur des échantillons prélevés sur terrain aux données numériques de télédétection issues de l'image ASTER de l'été 2005. La comparaison visuelle entre la carte de la salinité mesurée de l'été 2006 et les sept classes issues de l'image satellitaire montre une bonne concordance qui se traduit par une même tendance et une même répartition des niveaux de salinité. Ces deux cartes montrent l'existence d'un degré croissant de la salinité d'est en ouest où les niveaux les plus élevés se trouvent dans la plaine de Hmadna et la Gaa. La conductivité électrique moyenne calculée pour chaque classe montre une corrélation significative avec les comptes numériques moyens des pixels correspondant aux points échantillonnés de ces classes. Cette corrélation exprimée par un $r=0,5$ a été améliorée par la détermination d'un indice de salinité obtenu par combinaison des trois canaux dont deux dans le visible et le troisième dans le proche infrarouge avec un $r=0,76$. Par ailleurs, cette corrélation a été encore améliorée lorsqu'on a utilisé l'indice d'halite proposé par le logiciel Erdas et atteint la valeur de 0,85. Il n'en est pas de même lorsque cette corrélation a été calculée ponctuellement entre les CN des pixels et la CE correspondant à chacun de ces pixels. L'origine de la faiblesse de cette corrélation est due probablement au déséquilibre dans la balance des valeurs de la CE dans la plaine où 85 % des échantillons prélevés ont une valeur de CE inférieure à 10 dS/m (en pâte saturé). C'est au-delà de ce seuil que la détection de la salinité devient possible.

Introduction

La plaine du Bas-Chélif se situe au nord du bassin du Chélif (nord-ouest de l'Algérie), à environ 250 km à l'ouest d'Alger et à 35 km à vol d'oiseau de la méditerranée. Elle se trouve entre $0^{\circ} 40'$ et $1^{\circ} 6' 8''$ de longitude est et $34^{\circ} 3' 12''$ et $36^{\circ} 5' 57''$ de latitude nord. D'une superficie de plus de 50 000 ha. Le climat du Bas-Chélif, est très rude et très contrasté par des étés très chauds et des températures basses en hiver, avec des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 250 mm.

Les études pédologiques effectuées dans cette région (Boulaine, 1957 ; Durand, 1958 ; Daoud, 1993 ; Daoud *et al.*, 1993 ; Saidi *et al.*, 1999 ; Douaoui *et al.*, 2001) montrent que les sols de la plaine sont formés dans des alluvions quaternaires et que ce sont des sols en majorité peu différenciés, plus ou moins calcaires, de texture variable, parfois hydromorphes, avec localement la présence de sols vertiques ou calcimagnésiques. Le bas-Chélif se distingue par la présence de nombreux sols salés.

Matériel et méthodes

Echantillonnage

La reconnaissance du terrain et le prélèvement des échantillons ont été effectués durant une période s'étendant sur un mois, du 15 juin au 15 juillet de l'année 2006. Le choix de cette période coïncide avec une couverture végétale très faible voire inexistante dans certaines zones de la plaine. C'est aussi durant cette période que l'accumulation des sels est la plus importante à la surface du sol et par conséquent la plus facilement détectable. La salinité des 365 points échantillonnés a été mesurée dans le laboratoire par la méthode de l'extrait dilué 1/5 (USSS, 1954).

L'échantillonnage adopté est de type stratifié ; il s'appuie sur les classes issues de l'image satellitaire de juillet 2000 (Douaoui, 2005 ; Douaoui *et al.*, 2006). Chaque site échantillonné a été géoréférencé à l'aide d'un GPS de navigation de type Garmin. Le plan d'échantillonnage des points sol (figure 1), montre la répartition des points prélevés dans la plaine.

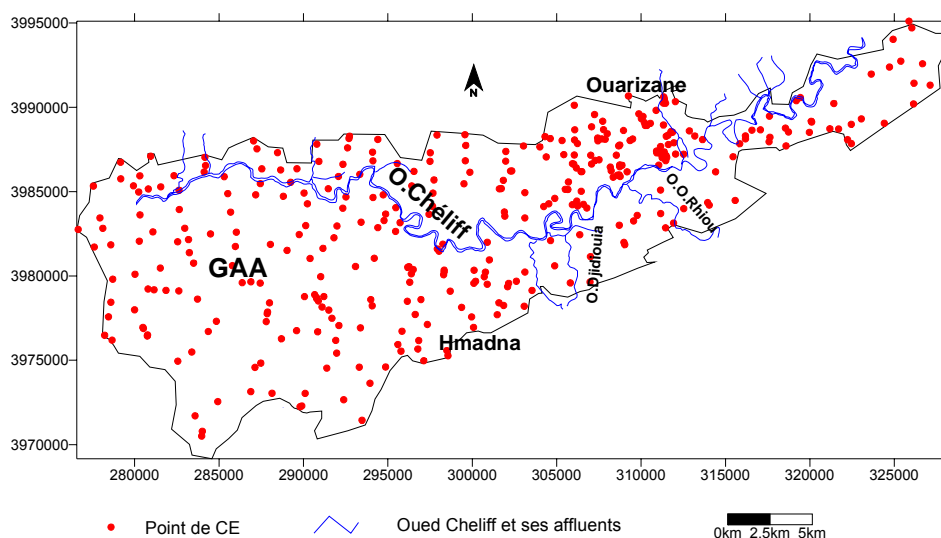


Figure 1. Plan d'échantillonnage des points de sol (2006).

Données de l'image satellitaire

Comme image satellitaire, nous avons utilisé une scène du satellite ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer*), prise en août 2005.

Cette image est constituée de 14 bandes comprenant trois régions spectrales à savoir :

- VPIR avec la bande 1 (le vert) 0.52 - 0.62 μm , la bande 2 (le rouge) 0.63 - 0.69 μm , et la bande 3 (le proche infrarouge) 0.78 - 0.86 μm ;
- MIR (bandes 4-9) 30 mètres de résolution ;
- TIR (bandes 10-14) avec 90 mètres de résolution.

Résultats et discussion

Cartographie de la salinité

L'état avancé de la salinisation des sols de la plaine du Bas-Chélif, et en plus du fait que la salinité constitue la principale propriété indicatrice de la qualité de ces sols, nous a conduit à étudier sa variabilité spatiale. La géostatistique a été appliquée pour cette étude par mesure de la conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5.

La carte de la salinité (figure 2) a été faite après introduction des paramètres du variogramme comme l'exige la géostatistique. La méthode d'interpolation utilisée est le krigeage ordinaire. La carte obtenue montre une salinisation des sols plus importante dans la partie ouest de la plaine. En effet, c'est au niveau de cette partie qu'apparaissent les plages de CE qualifiées de salées ($CE > 2$ dS/m et très salées ($CE > 4$ dS/m) selon la méthode de l'extrait dilué de rapport sol-eau égal à 1/5.

La partie située à l'est est dominée par la classe des sols non et légèrement salés (CE comprise entre 0 et 1 dS/m) avec certaines plages de la classe des sols moyennement salés concentrées surtout dans la zone de Merdjjet Sidi Abed.

Le périmètre de Hmadna est la région la plus salée avec la Gaa. C'est à ce niveau qu'on retrouve la concentration des sols les plus salés. Les deux grandes plages de sols très salés se localisent dans ce périmètre et dans la Gaa.

Il est à remarquer que les sols non salés se localisent sur les périphéries de la plaine où il existe une pente favorisant un drainage naturel, ce qui permet une lixiviation des sels évitant donc leur accumulation dans le profil.

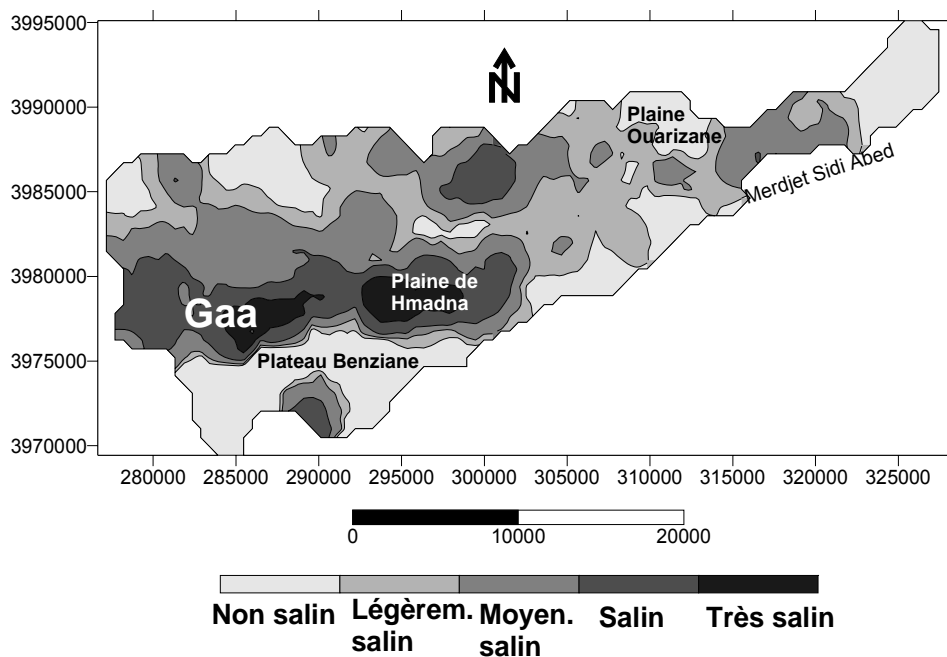


Figure 2. Carte de la salinité.

Traitement de l'imagerie satellitaire

Classification de l'image

La méthode retenue pour la classification de l'image est celle de parallélépipède, hypercube ou hyperboite. Elle se base sur un modèle radiométrique correct et adapté à la région étudiée. Comme elle est assistée, elle permet aussi de définir très rapidement une classification en se référant au modèle classique radiométrique. Enfin, elle permet de ne classer que ce qui correspond au but recherché et de mettre dans une classe toutes les autres composantes de l'image qui ne sont pas utiles (Girard et Girard, 1999).

Le recours à cette méthode nécessite une excellente connaissance des objets à classer et par conséquent, les aires d'entraînement doivent être choisies avec beaucoup de soin pour être les plus représentatifs possibles de la dynamique spectrale de chacun d'eux.

Comme toute classification, cette méthode a des inconvénients qui sont :

- l'existence des pixels non classés ;
- le problème de la superposition des boîtes : cette méthode peut entraîner des confusions lorsque les signatures de certaines classes spectrales se chevauchent ;

– le croisement entre les cartes thématiques en particulier la carte des sols et la carte d'occupation d'une part, et les informations acquises lors de la prospection du terrain d'autre part, en plus des résultats issus de l'interprétation visuelle de l'image satellitaire nous ont conduit à définir sept (7) classes (figure 3).

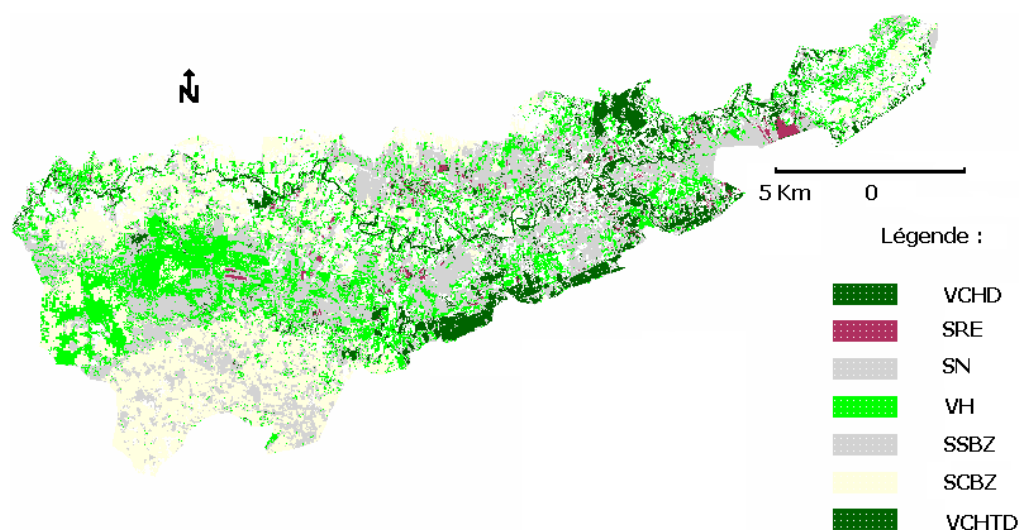


Figure 3. Les sept classes de l'image classée

Légende : VCHD : végétation chlorophyllienne dense, SRE : sol à rugosité élevée SN : sols nus, VH : végétation halophyte, SSBZ : sol nu non salé sombre du plateau de Benziane, SCBZ : sol nu non salé clair du plateau de Benziane, VCHTD : végétation chlorophyllienne très dense

Pour valider cette classification et apprécier sa pertinence, nous avons établi la matrice de confusion (tableau I) et déterminé le coefficient Kappa (Congalton, 1991). La valeur du coefficient de Kappa estimé dans notre cas est de 92 %, ce qu'indique un haut niveau de précision et l'existence d'une bonne correspondance entre la cartographie issue de la classification de données de la télédétection et les observations de terrain.

Tableau I. Matrice de confusion des classes.

| | VCHTD | VCHD | SRE | SSBZ | SCBZ | VH | SN | Total | Précision pour l'utilisateur (%) |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------------|
| VCHTD | 100 | 7,54 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 1 700 | 74,24 |
| VCHD | 00 | 92,46 | 6,91 | 0,28 | 00 | 00 | 00 | 5 549 | 96,74 |
| SRE | 00 | 00 | 93,09 | 00 | 00 | 00 | 0,33 | 2 366 | 99,58 |
| SSBZ | 00 | 00 | 00 | 99,72 | 00 | 00 | 0,03 | 2 196 | 97,72 |
| SCBZ | 00 | 00 | 00 | 00 | 100 | 6,33 | 1,34 | 4 502 | 73,19 |
| VH | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 93,58 | 0,79 | 5 374 | 99,55 |
| SN | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 00 | 97,51 | 2 975 | 100 |
| Total | 1 262 | 5 806 | 2 531 | 2 152 | 3 295 | 5 717 | 3 051 | | |
| Précision pour le réalisateur (%) | 100 | 92,46 | 93,09 | 99,72 | 100 | 93,58 | 97,51 | | |

Comparaison entre la carte de salinité krigée l'image classée

La comparaison visuelle des deux cartes, c'est-à-dire, celle de la salinité mesurée de l'été 2006 (figure 2) et les classes issues de l'image satellitaire (figure 3), montre la même tendance et la même répartition des niveaux de salinité.

En effet, les deux cartes montrent l'existence d'un degré croissant de la salinité d'est en ouest où les niveaux les plus élevés se trouvent dans la plaine de Hmadna et la Gaa. Les périmètres irrigués et le plateau de Benziane qui montrent des teneurs faibles en CE mesurées coïncident avec les classes de télédétection définies par une faible salinité lors de la classification de l'image satellitaire.

Il y a donc une bonne concordance entre les différents degrés de salinité pour les deux cartes, ce qui indique une bonne perception de la salinité par la télédétection du moins à l'échelle des grandes zones de la plaine.

Confrontation par classes de télédétection

Les 365 échantillons dont nous disposons ont été utilisés pour évaluer l'apport de la télédétection dans la cartographie de la salinité en tenant compte des sept classes définies par la classification supervisée de l'image satellitaire.

Le tableau II, fournit les caractéristiques statistiques de la conductivité électrique pour les sept classes.

Tableau II. Valeurs de la CE 1/5 (dS/m) des classes

| | sn | snnscbz | snnssbz | sre | vchtd | vchd | vh |
|------------|------|---------|---------|------|-------|------|------|
| moy | 1,49 | 0,69 | 0,68 | 1,25 | 0,31 | 0,33 | 1,37 |
| ecart-type | 2,03 | 1,09 | 1,12 | 0,73 | 0,25 | 0,17 | 1,70 |
| max | 9,58 | 6,20 | 2,69 | 2,53 | 1,22 | 0,63 | 9,93 |
| min | 0,07 | 0,07 | 0,12 | 0,35 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |

La conductivité électrique moyenne calculée pour chaque classe montre des corrélations assez bonnes avec les comptes numériques moyens calculés sur la totalité des pixels par classe et les pixels correspondants uniquement aux points échantillonnés de ces classes (tableau III).

Tableau III. Corrélations entre CE moyennes, comptes numériques moyens et CN aux points échantillonnés par classe.

| | CN moyenne/classes | CN moyenne/points échantillonnés |
|-------------------------------|--------------------|----------------------------------|
| CE (dS/m) moyenne/ classes | 0,48 | 0,5 |
| CN moyenne/ classes | 1 | 0,98 |

Cette bonne relation entre les valeurs moyennes des comptes numériques des classes et des pixels aux points échantillonnés aussi bien entre eux qu'avec la CE ($r = 0.5$), montre la pertinence des classes déterminées et de sa validité dans l'évaluation de l'apport de la télédétection dans la cartographie de la salinité.

Ce résultat confirme le lien étroit entre les niveaux de salinité et les différents états de surface de la plaine du Bas-Chélif et montre à quel point les états de surface sont influencés par la teneur en sel.

Combinaisons arithmétiques de canaux

Nous avons essayé d'améliorer cette corrélation par la détermination de certains indices, par la combinaison arithmétiques entre les différents canaux (deux dans le visible et le troisième dans le proche infrarouge). Et partant du principe de la combinaison entre les réponses spectrales des sols et de la végétation qui sont fonction de la salinité dans la plaine du Bas-Chélif (Douaoui, 2005), un nouvel indice a été déterminé *ISvs* (indice de salinité végétation-sol).

Et pour mieux améliorer cette corrélation, il a été également utilisé un indice, propre au logiciel Erdas Imagine 8.6, cet indice dit d'halite est calculé en fonction de la réflectance du sel gemme NaCl.

Tableau IV. Matrice de corrélation entre les valeurs moyennes par classe de CE, les indices aux points échantillonnés par classe

| | CE | ISvs | Halite_Aster |
|--------------|----|------|--------------|
| CE | 1 | 0,76 | 0,85 |
| ISvs | | 1 | 0,75 |
| Halite_Aster | | | 1 |

Confrontation avec les données ponctuelles de la CE

Les résultats de corrélation obtenus sur la totalité des 273 points échantillonnés et non pas sur leurs moyennes par classe (les 92 points, sont perdus avec les pixels non classés), n'ont pas été concluants. L'origine de la faiblesse des corrélations entre les différents indices et la salinité est due probablement au déséquilibre dans la balance des valeurs de la CE dans la plaine (tableau V), où 85 % des échantillons prélevés ont une valeur de CE inférieure à 10 dS/m (en pâte saturé). C'est justement au-delà de ce seuil que la détection de la salinité devient possible (Mougenot, 1993 ; Douaoui, 2005).

Tableau V. Répartition des valeurs de la CE par rapport au seuil 10 dS/m.

| | Moy | % |
|--------------|-------|----|
| CE dS/m < 10 | 2,70 | 85 |
| CE dS/m ≥ 10 | 20,40 | 15 |
| CE dS/m ≥ 20 | 32,45 | 6 |

Toutefois, on retrouve un sens physique avec l'existence d'une relation inversement proportionnelle entre la végétation et la salinité des sols (figure 4). En effet, on peut voir sur cette figure que les points correspondant à une CE élevée (≥ 2 dS/m au 1/5 soit 10 dS/m à la pâte saturée) coïncident toujours avec un très faible indice de végétation.

Il apparaît également que beaucoup de points où la salinité est faible possèdent également des indices de végétation très faibles, ce qui les confond avec les sols salés et très salés. C'est le cas des sols non salés du plateau de Benziane et des sols laissés en jachère dans les périmètres irrigués.

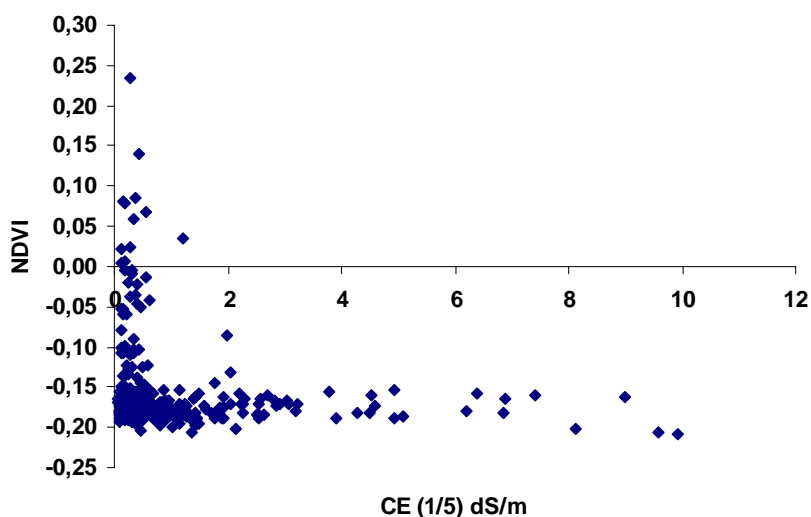


Figure 4. Corrélation entre les données ponctuelles de la CE (1/5) et le NDVI.

La mauvaise perception ponctuelle de la salinité par la télédétection peut être expliquée par :

- une perte de données due au nombre important de pixels non classés (92 points) qui correspondent à des points échantillonnés ;
- la faible part des échantillons ayant une CE élevée susceptible d’être télédéteectée ;
- la confusion entre des classes ou des zones ayant les mêmes réponses spectrales et des teneurs en sels différents. C’est le cas de la confusion des sols nus non salés à texture sableuse qui longent parfois l’oued Chlef ou les sols érodés calcaires à la périphérie de la plaine avec les sols nus salés. Ces sols montrent tous des valeurs des comptes numériques élevés (Mougenot, 1993 ; Douaoui, 2005) ;
- certains états de surface pas trop salés ayant un encroûtement de surface très développé (faible rugosité) ont une réponse spectrale aussi élevée que les sols très salés.

Conclusion

La carte de la salinité a montré que celle-ci s’étend sur la plus grande partie de la plaine du Bas-Chéiff. Les superficies qui ne sont pas encore touchées par la salinité ne représentent que 29 % de la superficie totale étudiée qui est de 45 000 ha soit 13 050 ha seulement. Les 71 % restants sont plus ou moins touchés par le problème de la salinisation avec 32 % de salinité légère (14 400 ha), 19 % moyennement salés (8 550 ha), 14 % de sols salés (6 300 ha) et 6 % de sols très salés (2 700 ha).

La salinité en situation d’irrigation n’épargne que les sols ayant un drainage naturel des sels situés sur les piémonts et au bord de l’oued Chlef. Les sols situés sur le plateau de Benziane ne sont pas concernés par le problème de salinité. Cela est dû au fait que ces sols sont occupés par des céréales non irrigués, en plus du fait de leur position topographique particulière sur un plateau surélevé par rapport à la plaine.

La confrontation ponctuelle des données de télédétection avec les données de salinité mesurée n’a pas été concluante comme elle l’a été avec les classes de l’image. Toutefois, la carte de la salinité établie par krigeage montre une tendance générale semblable à celle déduite de l’image satellitaire.

Enfin, On peut donc dire que la télédétection n’est pas sensible aux faibles variations de la salinité, néanmoins, elle peut être utilisée pour décrire les tendances générales et identifier des zones représentant différents niveaux de salinité.

Références bibliographiques

- BOULAIN J., 1957. Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d’état de l’Université d’Alger, 582 p.
- CONGALTON R.G., 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *remote sens. environ.* 37: 35-46.
- DAOUD, Y., 1993. Contribution à l’étude des sols des plaines du Chéiff. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doct d’état, INA Alger, 233 p.
- DAOUD Y., CHEVERRY C., ROBERT M., 1993. Rôle physico-chimique du magnésium dans les sols des plaines du Chéiff (Algérie). *Science du Sol*, 31, (4) : 281-293.
- DOUAOUI A., 2005. Variabilité Spatiale de la salinité et sa relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chéiff. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct d’état, INA Alger, 233 p.
- DOUAOUI A., NICOLAS H., WALTER CH., 2006. Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. *Geoderma* 134 : 217–230.
- DOUAOUI A., WALTER CH., GAOUAR A., HAMMOUDI S., 2001. Assessment of the topsoil structural degradation of the Lower Cheliff Valley (Algeria) -Application of multivariate Analysis. 4th conference of the Working Group on Pedometrics (WG-PM), Ghent, 19-21 september.
- DURAND J. H., 1958. Les sols irrigables. Etude pédologique. S.E .S., Alger, 198 p.
- GIRARD M.C., GIRARD C.M., 1999. Traitement des données de télédétection. DUNOD Ed. Paris, 529 p.
- LEICA GEOSYSTEMS, 2002. Erdas imagine tour guides. Leica geosystems, gis & mapping division. Erdas imagine 8.6, 706 p.

MOUGENOT B., 1993. Effets des sels sur la réflectance et télédétection des sols salés. Cah. Orstom, ser. Pédol., vol. XXVIII, (1) : 45-54.

SAIDI D., DOUAOUI A., LE BISSONNAIS Y., WALTER CH. 1999. Sensibilité des couches de surface des plaines du Cheliff (Algérie) à la dégradation structurale. Etude et Gestion des Sols, 6, (1): 15-25.

USSLS, 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Unated State Salinity Laboratory Staff US Department of Agriculture, Handbook n°60, U. S. Gov. Print. Office, Washington DC.