Cartographie de la salinité de la plaine du Bas Chéliff par la méthode de la regression-krigeage basée sur la télédétection

A. DOUAOUI, H. NICOLAS & C. WALTER
Université Hassiba Benbouali de Chlef, Laboratoire Eau-Environnement
ENSA – INRA Rennes, UMR Sol, Agronomie, Spatialisation

INTRODUCTION

La plaine du Bas Chéliff qui fait plus de 40000 ha est l'une des régions les plus touchées par la salinité en Algérie. Le climat est caractérisé par ses étés très chauds et des températures basses en hivers avec une pluviométrie annuelle moyenne de 250 mm.

Les objectifs de ce travail sont d'une part, la cartographie de la salinité à l'échelle régionale et d'autre part, l'évaluation de l'apport de la télédétection dans la mise en évidence de la salinité des sols de la plaine du Bas Chéliff ainsi que l'amélioration de la prédiction spatiale par la combinaison de la télédétection et de la géostatistique.

MATERIEL ET METHODES

Plan d'échantillonnage

Il s'agit d'un échantillonnage systématique aux nœuds d'une grille carrée de 250 m de coté. Dans la pratique le nombre des échantillons prélevés et analysés est de 3980.

Données de terrain

La reconnaissance et le prélèvement des échantillons ont été effectués durant la période s'étalant entre le mois juin et juillet de l'année 1997. Le choix de cette période coïncide avec la période où la couverture végétale est très faible voire inexistante dans certaines régions 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 plus facilement détectable.

L'image SPOT

L'image utilisée correspond à la scène SPOT2 multispectrale (XS1, XS2, XS3) du mois de juillet portant la référence 0129525-4.

Cette image a été géoréférencée par 25 points de contrôle répartis sur toute la plaine choisis sur les cartes topographiques au 1/50000.

Les méthodes d'estimation spatiale de la salinité

<u>Le krigeage Ordinaire</u>

Le krigeage ordinaire à variogramme global est une interpolation linéaire qui consiste à estimer un point quelconque inconnu dans l'espace (Z_0*) en fonction d'un voisinage de points Z_i.

La classification typologique de l'image satellitaire

Comme nous disposons d'une série d'informations suffisantes, la classification supervisée a été utilisée. L'algorithme retenu pour la classification de ces zones est celui de la distance minimale.

La carte de la salinité issue du classement de l'image satellitaire (téléd-moy)

La transformation de l'image satellitaire obtenue par le logiciel du traitement d'image en raster et l'affectation à chaque pixel de 20 m de résolution la valeur moyenne de la CE de la classe correspondante a permis d'avoir une valeur de CE pour chaque pixel. Par simple requête, la carte a été classée ensuite selon cinq classes (< 4, 4-8, 8-16, 16-25 et > 25 dS/m). On a obtenu une carte de la salinité moyenne des classes de la télédétection (téléd-moy)

La carte de la salinité issue de la régression (téléd-regr)

L'ajustement du nuage de points entre la CE mesurée et la l'indice de salinité (Is = (vert^2 + rouge^2) ^{½}) a permis d'affecter à chaque pixel la valeur de la CE estimée par régression linéaire. La carte des classes de salinité a été établie de la même manière que dans le cas précédent par l'utilisation du SIG (téléd-regr).

<u>*La régression-krigeage (RKR)*</u>

Cette méthode dite hybride consiste à utiliser les estimations de la CE établies, dans notre cas, à partir de la télédétection dans la cartographie de la salinité en utilisant les résultats de la méthode précédente (*téléd-regr)*. Pour ce faire, on calcule la différence entre la valeur de la CE mesurée et la valeur de la CE estimée par l'apport de la télédétection en chaque point échantillonné afin d'obtenir des résidus. Un krigeage ordinaire est alors appliqué à ces résidus avec une résolution de 20 m pour les additionner par la suite en mode raster aux valeurs estimées ayant la même résolution (Bishop et Mc Bratney, 2001).

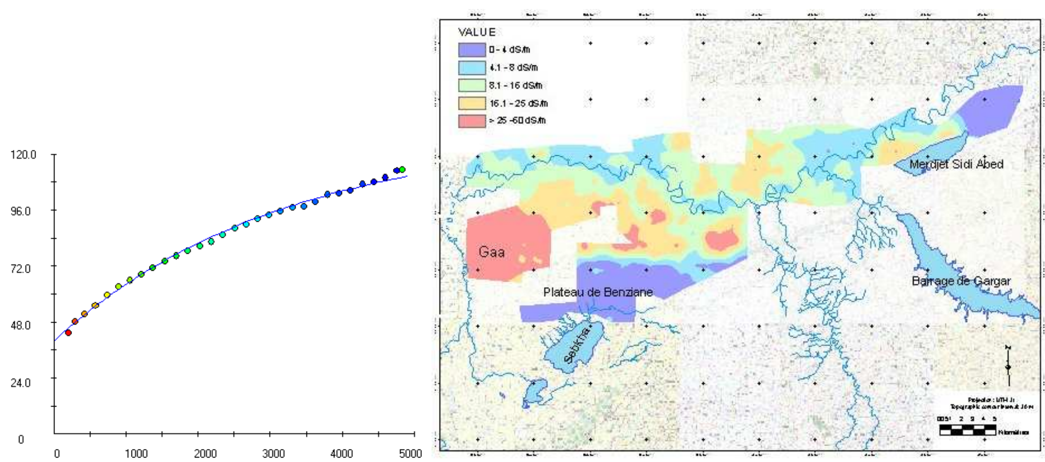
La validation

La validation a été faite sur un jeu d'échantillons au nombre de 597 tirés aléatoirement à partir des 3980 prélèvements (15 %). Trois critères ont été retenus pour comparer entre les quatre méthodes de cartographie utilisées (krigeage ordinaire, téléd. moy., téléd. Regr., RKR). Il s'agit de l'erreur moyenne, la racine quadratique de l'erreur moyenne et le rang moyen

RESULTATS ET DISCUSSION

Carte de la salinité par krigeage ordinaire

Le variogramme expérimental moyen a été calculé sur une distance de 5000 m avec des classes distantes de 50 m. Cette dernière distance sera maintenues lors de l'estimation de la CE par krigeage. Comme le palier ne peut être atteint que de manière asymptotique, ce variogramme a été ajusté à un modèle exponentiel de 40 (dS/m)^2 d'effet de pépite, d'un palier de 90 (dS/m)^2 et d'une portée de 3200 m (fig. 1a).



a- le variogramme b- carte

Figure 1. Variogramme et carte de la salinité établie par krigeage ordinaire

Il apparaît d'après la carte de la salinité établie par krigeage ordinaire (fig. 1) que les zones les plus salées se concentrent dans la partie ouest de la plaine et particulièrement dans la Gaa (dépression fermée). Les zones les moins salées se localisent sur le plateau de Benziane et sur la colline formant la l'extrême est de la plaine.

Le principal oued de la plaine autour duquel les sols semblent être épargnés d'une salure élevée et ce, malgré une irrigation importante, semble bien jouer son rôle de drain naturel (fig1b).

Par ailleurs, l'absence quasi-totale de plages de CE > 25 dS/m dans la partie est, malgré l'existence de nombreux échantillons dépassant ce seuil, témoigne d'un lissage important des valeurs extrêmes se traduisant par une tendance à la sous-estimation.

Traitement de l'image satellitaire

Comme nous disposons d'une série d'informations suffisantes, la classification supervisée a été utilisée.

Le croisement de l'ensemble de ces informations combiné à l'interprétation visuelle de l'image satellitaire nous a conduit à définir 11 classes. Chaque classe a été définie par plusieurs polygones avec un minimum de 200 pixels chacun (fig. 2).

Le calcul de la matrice de confusion permettant d'apprécier la pertinence de cette classification a donné une valeur du coefficient de Kappa égale à 95.02 %. Sachant que la valeur critique du coefficient de Kappa au delà de laquelle une classification est jugée acceptable est de 75 % (Gerard et Gerard, 1999), les résultats de notre classification sont de loin très satisfaisants, d'autant plus que l'ensemble des 100 % des pixels ont été classés. La précision totale d'une valeur 95.66 % montre aussi la qualité élevée de cette classification.

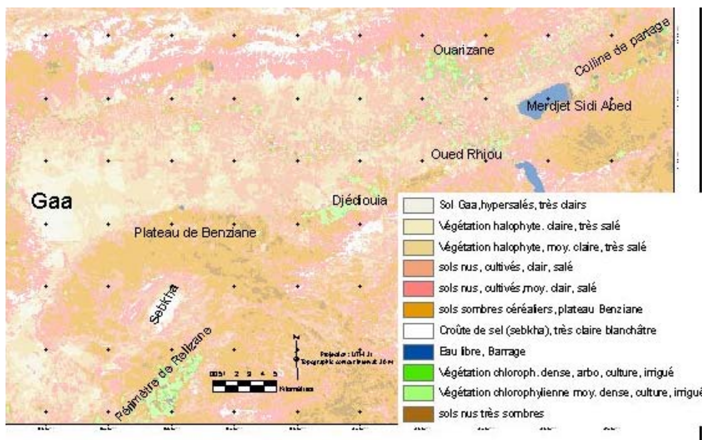


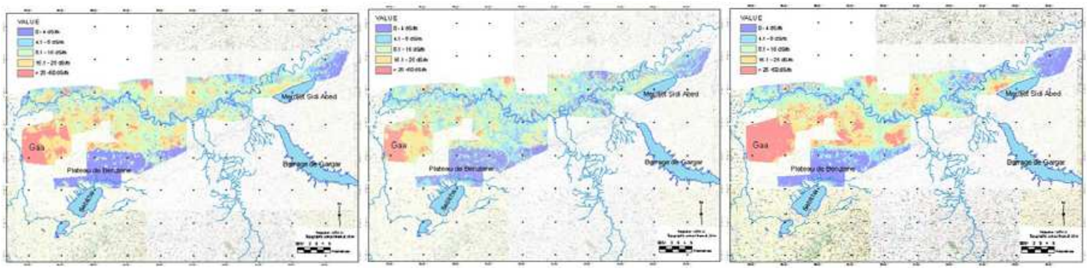
Figure 2. Classification de l'image SPOT XS

La meilleure combinaison possible des données de télédétection qui soit la mieux corrélée aux points de CE échantillonnés, souvent mise en évidence (Metternicht et Zink, 2003) est exprimée par un coefficient de corrélation égal à 0.66 correspondant à une combinaison des données de la télédétection définie par :

$$\text{Indice de salinité} = (V^2+R^2)^{1/2}$$

Etablissement des cartes de la salinité par l'apport de la télédétection

La carte de la salinité (téléd-moy.) issue de la CE moyenne des classes de télédétection montre une sous-estimation importante des superficies dont la salinité est supérieure à 25 dS/m. La carte de la salinité établie par la régression entre la CE mesurée et l'indice de salinité montre une sous-estimation encore plus élevée des superficies dont la salinité est très élevée. L'application de la méthode de régression-krigeage sur la régression entre la CE mesurée et l'indice de la salinité de la télédétection a permis d'obtenir des superficies plus importantes en CE > 25 dS/m (fig. 3).



a b c

Figure 3. Carte de la salinité (téléd-moy.) a, (téléd-regr) b, (régression-krigeage) c

Le tableau 1 montre que pour la CE élevée (> 16 dS/m), les superficies trouvées selon les méthodes utilisées sont par ordre décroissant :

RKR> téléd-moyenne > KO > téléd-régression

Tableau 1. Superficies des classes de CE selon les quatre méthodes de cartographie

EC (dS/m)	0 - 4	4 - 8	8 - 16	> 16
EC ordinary kriging	6326	7876	12371	12891
EC mean (classes)	7923	4894	12908	13860
EC regression (Is)	7773	10851	13418	7543
EC regression-kriging	7601	6184	11184	14491

Cette amélioration de la qualité de l'estimation par le KRK devient nettement plus performante par rapport aux autres méthodes à partir des valeurs de CE de 25 dS/m (tab. 2).

Tableau 2. Validation statistique de la qualité de l'estimation des points > 25 dS/m (100 points)

	KO	Téléd. moy.	Téléd. regr.	Reg. Krig. regr.
EM	-8.57	-10.60	-14.22	-6.50
RCEM	11.49	13.54	16.46	11.1
RM	2.17	2.35	3.39	1.94

CONCLUSION

Les cartes obtenues ont permis de montrer l'ampleur de la salinisation des sols dans la plaine du Bas Chéliff. L'estimation spatiale de la salinité obtenue par l'introduction de la variable auxiliaire « Is » de la télédétection dans le cadre de la méthode régression-krigeage a permis d'améliorer la cartographie de la salinité.

La cartographie de la salinité par la combinaison du SIG et de la télédétection, même si elle reste moins précise que le KO et la RKR, présente, néanmoins, l'avantage d'avoir estimé la CE par des superficies très proches de la RKR en utilisant que 9 valeurs moyennes. Ces résultats sont très prometteurs dans une perspective d'un suivi spatio-temporel de la salinité par combinaison de la géostatistique, du SIG et de la télédétection avec un minimum d'échantillons (échantillonnage stratifié) et un niveau de précision acceptable.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bishop, T.F.A., McBratney, A.B., 2001. A comparison of prediction methods for the creation of field-extent soil property maps. Geoderma 103, 149-160.
2. Girard, M.C., Girard, C.M., 1999. Traitement des données de télédétection. DUNOD Ed. Paris, 529 p.
3. Metternicht, G. I., Zink, J. A., 2003. Remote sensing of soil salinity : potentials and constraints. Remote Sensing of Envoronment, 5812, 1-20.