

CARTOGRAPHIE DE LA VARIABILITÉ SPATIALE DE LA SALINITÉ DU SOL DANS DE LA ZONE ENDORHÉIQUE DE GADAINÉ (NORD-EST ALGÉRIEN)

RABAH BOUHATA*, MAHDI KALLA**, HADDA DRIDDI**

Mots clés: salinisation, géostatistique, krigeage ordinaire, conductivité électrique, Gadaine (Algérie).

Mapping the spatial variability of soil salinity in an endorheic region (Gadaine, North-Eastern Algeria). The process of soil salinization is one of the causes of desertification in Algeria and in the world, according to the figures (FAO, 2005), where it found that 500 000 ha/year of soils belong to them. In eastern Algeria, the endorheic areas of Gadaine plain present an expanding soil salinization taking the form of a generalized phenomenon. The environmental and effective management requires a mapping of the spatial distribution of this geochemical phenomenon. To explore the spatial variability of soil salinity in this area, we used the approach of geostatistical mapping (ordinary kriging) to generate a map of salinity. 258 samples were taken laterally from the field, in order to determine the electrical conductivity (EC) of the soil. Results show that, the salinity affects a large part of the study area and also show the influence of the natural drainage on the spatial distribution. The use of database associated with digital mapping has helped to ensure the most accurate results.

1. INTRODUCTION

Près de 33% des terres arables dans le monde sont affectées par la salinité, soit 7% de la surface terrestre (Gupta et Abrol, 1990). En Algérie, les zones arides et semi-arides constituent les espaces géographiques privilégiés de ce phénomène (Halitim *et al.*, 1987; Halitim, 1988). La mise en valeur du terrain agricole par l'instauration de systèmes de drainage adéquats dans les régions à caractère climatique aride et semi-aride, a permis une nette amélioration du rendement agricole (Dakak *et al* 2011).

On estime la salinité d'un sol à partir de mesures effectuées sur la conductivité électrique de celui-ci (Corwin et Lesch, 2005; Curtis Allen *et al.*, 2006).

Nombreuses sont les méthodes de mesures de la conductivité électrique (CE). Cependant la méthode de l'extrait dilué 1/5 (USSLS, 1954) que nous avons utilisé au laboratoire est généralement considérée comme la plus efficace pour la quantification de la salinité des sols. Selon (Richards, 1954; Calvet, 2003), les sols salins ont une CE supérieure à 4 ds/m à 25°C.

Les sols de la plaine de Gadaine au Nord-est algérien sont formés par des alluvions quaternaires dont une bonne partie est touchée par ce processus.

Cette salinisation généralisée des sols est liée aux caractéristiques morpho-climatiques de cette zone mais aggravée par une socialisation rapide de ces espaces endoréiques.

L'étude proposée dans cet article est basé sur les données de salinité mesurées sur des échantillons prélevés sur terrain et soumis à l'application de l'analyse géostatistique dans le but de dresser une carte de synthèse sur l'état de la salinité des sols. De tels documents permettent d'orienter les actions d'aménagement et de mise en valeur dans ces zones marginalisées.

* Maître de conférence B, Département Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Hadj Lakhdar Batna, avenue Chahid Boukhrouf, Batna 05000, Algérie, m_bouhata24@yahoo.fr.

** Professeur, Département Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Hadj Lakhdar Batna, avenue Chahid Boukhrouf, Batna 05000, Algérie, m_kalla1@yahoo.fr, hadda.dridi@gmail.com.

2. PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

La région d'étude fait partie des hautes plaines sud constantinoises de l'Est algérien qui constituent un vaste couloir dominé par deux chaînes de montagnes: le massif des Aurès au sud et la chaîne des Monts de Constantine au nord. Elle se trouve à quelques dizaines de kilomètres au nord de la wilaya de Batna, délimitée entre les fourchettes des coordonnées; Longitude: 6°12'15" E et 6°29'50" E, Latitude: 35° 55'51"N et 35°40'50" N. Selon l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) elle appartient au bassin versant des hautes plaines constantinoises (07-03) (Fig. 1). Située à une altitude de 784 m à 1246 m, la zone d'étude est caractérisée par une platitude impressionnante dont la pente ne dépasse guère les 5%. L'ensemble est étalé sur une surface de 348 km² représentant 46% de la surface totale. Ceci favorise la présence de l'endoréisme traduit par une multitude des sebkhas (Fig. 2) et chotts qui occupent le centre de la plaine.

Sur le plan géologique l'existence des formations quaternaires (sol de sebkha, limons salé) et formations triasiques (marnes bariolés et gypses bréchiques) contribuent largement au caractère salin (les chlorures et les sulfates de sodium) de ces espaces endoréiques. Le climat est de type semi-aride avec des précipitations faibles ne dépassant pas 400 mm annuellement d'où la pauvreté en végétation.

De manière générale, on retrouve dans cette zone des espèces steppiques et halophytes qui résistent à la salinité des sols; une végétation caractéristique de grosses touffes d'Atriplex ou de Salsolacées (Fig. 3).

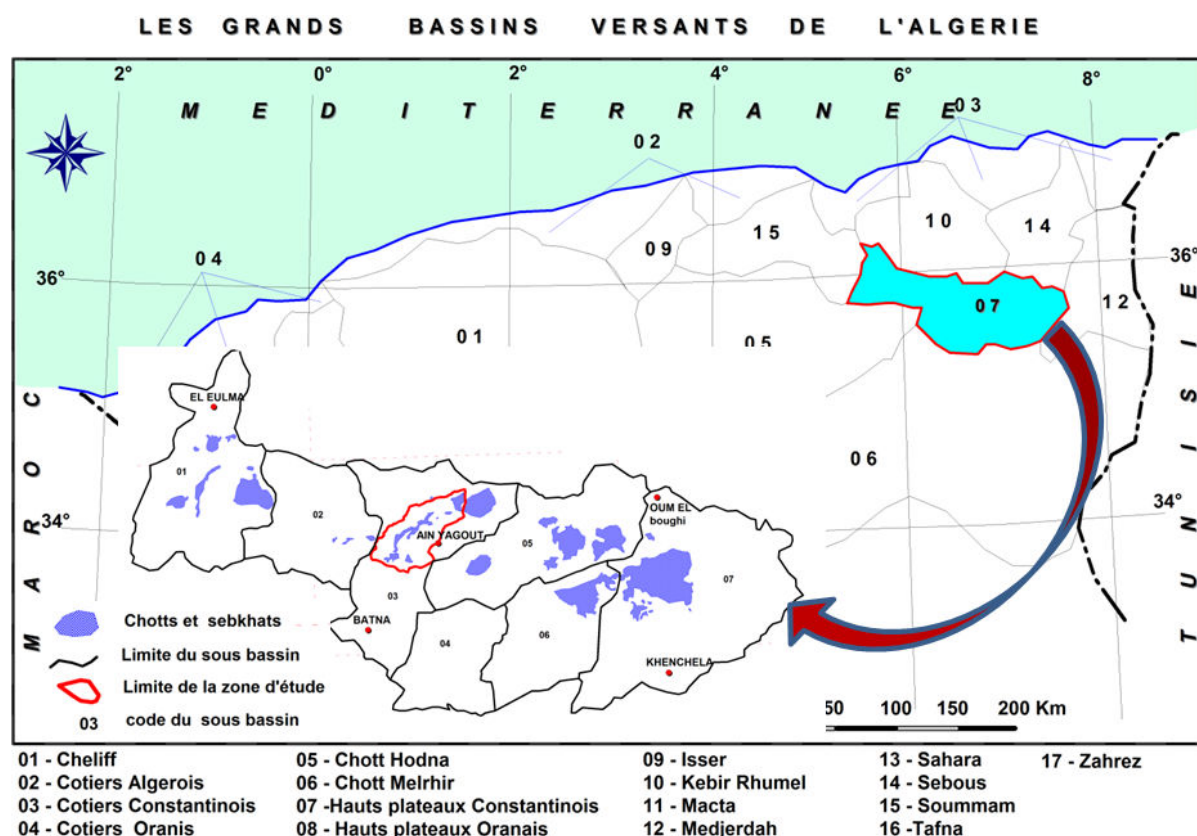


Fig.1 – Localisation de la zone d'étude selon la répartition de l'ANRH.



Fig. 2 – Un couvert végétal steppique et halophyte.



Fig. 3 – Sebkha Tinsilt.

3. MATÉRIEL ET MÉTHODOLOGIE

Echantillonnage

Les échantillons prélevés sur terrain ont été effectués et géoréférencés à l'aide d'un GPS de type Garmin (OREGON 550). L'échantillonnage des sols a été effectué sur une profondeur de 0-30 cm et avec une densité et une répartition permettant de couvrir toute la variation latérale des thématiques de terrain durant la saison d'été (mois de juillet) 2013. Le choix de cette période coïncide avec l'accumulation des sels à la surface du sol et une couverture végétale réduite à sa plus simple expression. La salinité des 259 points échantillonnés au GPS (Fig. 4) a été mesurée dans le laboratoire par la méthode de l'extrait dilué 1/5 (USSLS, 1954).

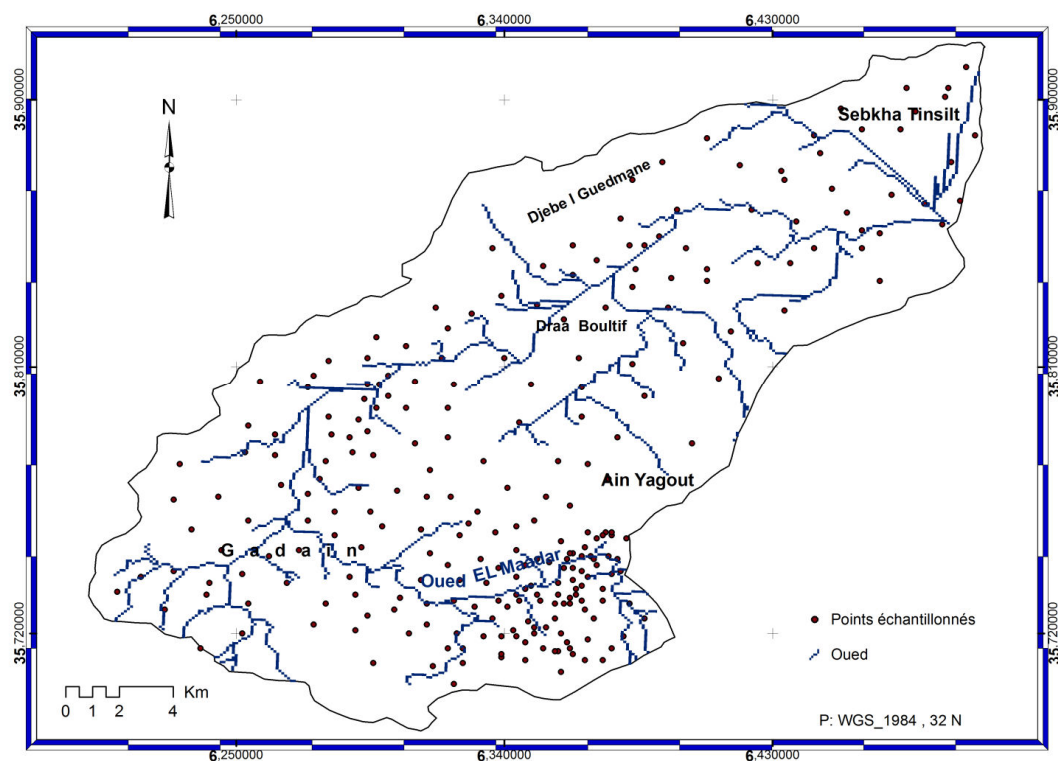


Fig. 4 – Carte de la répartition spatiale des échantillons.

La procédure géostatistique de krigeage (Webster et Oliver, 2001), fondée sur la théorie des variables régionalisées (Matheron, 1963), permet l'interpolation spatiale entre les endroits échantillonnés. Elle permet d'exploiter la corrélation spatiale entre des observations voisines dans l'espace pour prédire aux endroits non échantillonnés.

Le krigeage ordinaire (KO) est la méthode la plus générale et largement utilisée pour caractériser et cartographier la variation spatiale de la salinité des sols (Schloeder *et al.*, 2001; Walter *et al.*, 2001; Nawar, 2009; Reza *et al.*, 2010; Nawar *et al.*, 2011), l'application de cette méthode est réalisée à l'aide d'une Plate-forme ArcGIS; Geostatistical Analyst (Johnston *et al.*, 2001; ESRI, États-Unis, 2004;). A ce titre, les données ont été interpolées par krigeage ordinaire, le modèle sphérique utilisé, s'ajuste bien à nos échantillons.

Pour cartographier les valeurs de la conductivité électrique, nous avons reparti les 259 données en 5 classes conformément au classement adopté par «Manuel USDA agricole 60» comme suite:

Tableau 1

Mode de classement des sols salins

Non salines	Légèrement saline	Modérément saline	Fortement saline	très forte ent saline
0–4 dS/m	4–8 dS/m	8–16 dS/m	16–32 dS/m	> 32 dS/m

Source: Lamond 1992.

Les paramètres statistiques empiriques des données de la CE sont présentés dans le tableau suivant:

Tableau 2

Les données statistiques de la CE

Taille de l'échantillon	Moyenne	Ecart type	Maximum	Minimum
259	10,71	21,98	98,5	0,17

4. RESULTATS

La carte de la salinité obtenue par le krigeage ordinaire (Fig. 5) montre une grande variation de la salinité des sols sur le plan spatial, obéissant à de nombreux facteurs, tels que: la topographie, le réseau hydrographique, l'intervention anthropique, etc.

Cet état de la salinité spatialisée a fait l'objet d'une évaluation surfacique pour chaque classe (Tab. 3). Celle-ci servira à orienter les actions de mise en valeur agricole.

Tableau 3

Les superficies des classes de CE estimées

Classes de CE (dS /m)	Surface (Km ²)	%
0–4	203,67	58,52
4–8	48,43	13,91
8–16	46,78	13,44
16–32	31,68	09,10
> 32	17,44	05,01
Totale	348	100

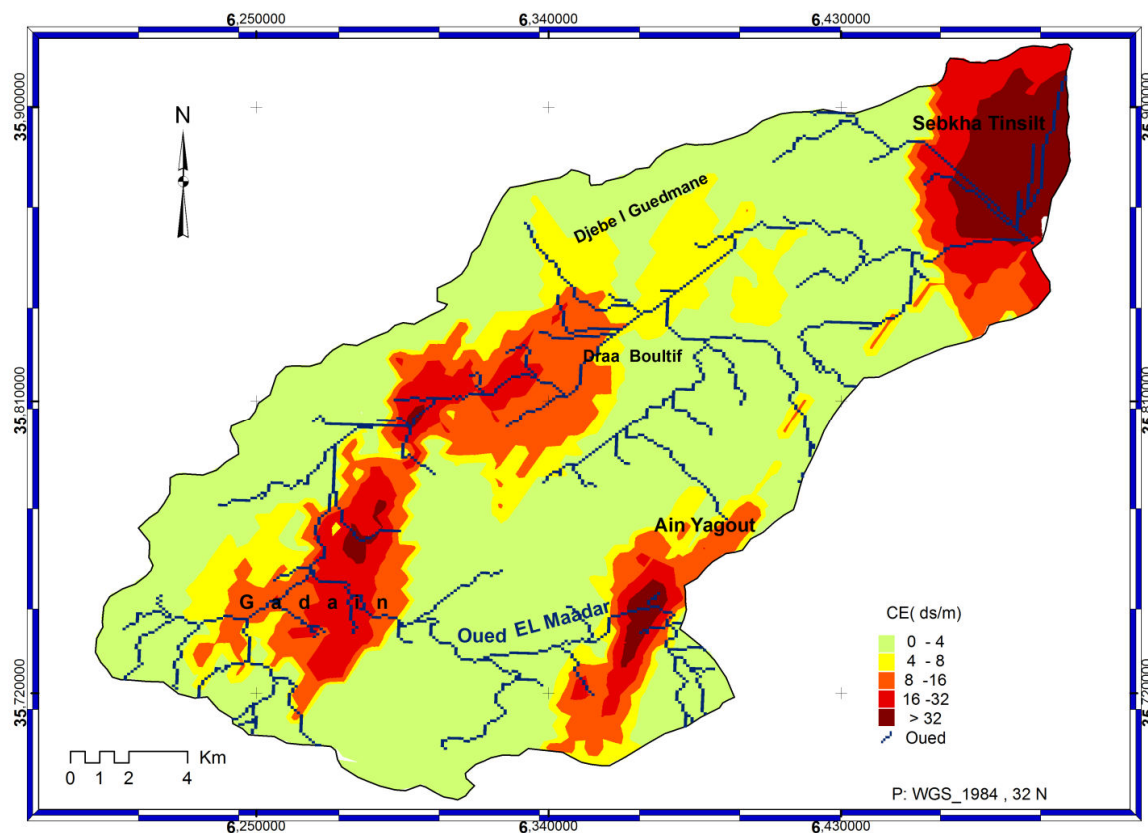


Fig. 5 – Carte de la salinité estimée.

En effet, nous pouvons constater que:

- Les sols non salés < 4 ds/m représentent plus de la moitié (58%) de la superficie totale de la zone d'étude, elles se localisent sur les bordures de la plaine de Gadaine qui se caractérisent par une certaine pente engendrant un drainage naturel vers Oued El Madher, —émissaire principal— ce qui favorise une lixiviation des sels, évitant ainsi leur accumulation dans les profils. Cette catégorie des sols est souvent dédiée à la céréaliculture.

- Les sols légèrement salins (4–8 ds/m) représentent presque 14% (48,43 km²) de la superficie totale, ils occupent les zones où les eaux de drainage et d'irrigation entraînent un début de salinisation, sous l'effet de la pression sociale. Les aptitudes de cette classe semblent répondre plutôt aux cultures commerciales, en l'occurrence le tabac.

- Les sols modérément salins (8–16 ds/m) couvrent une superficie similaire à la classe précédente avec 13,44% de la superficie totale. Ce type occupe généralement les chotts et les zones de la transition entre ces derniers et les sebkhas.

- La classe des sols fortement salins (16– 32 ds/m) occupent une superficie de 31,68 km² soit 09,10 %. Ces sols se localisent en auréoles autour des sebkhas, (sebkha Tinsilt et sebkha Falenta) où la salinité est supérieure à 32 dS / m représentant les espaces hypersalés de la cinquième classe.

Cette articulation spatiale des concentrations salines prend la forme d'un dégradé des valeurs de la salinité à partir du milieu des sebkhas vers les zones limitrophes (les chotts et les terres semi arables). Cette variabilité spatiale obéit d'une part au niveau et à la durée de submersion des sebkhas et d'autre part à la dynamique éolienne qui assure le déplacement des particules des sels vers les bordures.

Cependant les caractéristiques topographiques des terrains notamment la densité des réseaux hydrographiques et le niveau de drainage qu'il assure influent fortement sur les processus de salinisation.

5. CONCLUSIONS

La dégradation des sols est un phénomène généralisé, varié et complexe, n'épargnant aucun milieu bioclimatique. Les recherches menées ces dernières années montrent de manière incontestable le caractère préoccupant de ce fléau.

Cette dégradation peut prendre la forme d'une érosion, d'un lessivage, d'une salinisation ou d'une pollution des sols.

Dans cet article qui se focalise sur l'étude de la salinité et son articulation spatiale en milieu endoréique, nous nous efforçons d'évaluer l'étendue de la dégradation, les disparités spatiales du phénomène de salinité qui en découlent ainsi que les cause et les mécanismes qui en sont responsables.

En effet le résultat montre que près de 42% de la superficie totale est plus ou moins touchés par les processus de salinisation ($CE > 4ds/m$). Le risque touchera à terme les sols agricoles limitrophes et on assistera sans doute à des processus irréversible de dégradation en égard au rythme d'anthropisation de ces espaces et en l'absence d'actions de protection et d'aménagement intégrées.

Il ressort de l'analyse spatiale que cette zone est soumise à une salinisation différentielle. Celle – ci s'accroît au niveau des dépressions occupées par les sebkhas et diminue de façon progressive vers les bordures. Les concentrations se réduisent à leur plus simple expression dans les secteurs où le réseau hydrographique est le mieux hiérarchisé et le plus dense, assurant un bon drainage.

Enfin, les résultats ont montré la contribution de l'analyse géostatistique et la modélisation spatiale pour générer une cartographie numérique précise pouvant constituer un outil d'aide à la décision pour la gestion et la durabilité des terres agricoles dans les régions arides et semi-arides.

BIBLIOGRAPHIE

- Calvet, R. (2003), *Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques*, Tome 2, Ed. France. Agricole, 511 p.
- Corwin, D-L. Lesch, S-M. (2005), *Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity I*, Survey protocols Computers and Electronics in Agriculture, **46**, pp. 103–133.
- Curtis, Allen, C., Cardon, G., Jessica, D. (2006), *Salt chemistry effects on salinity assessment in the Arkansas River Basin, Colorado*, Colorado Water Resources Research Institute, 49 p.
- Dakak, H., Soudi, B., BenMohammadi, A., Douaïk, A., Badraoui, M., Moussadek, R. (2011), *Prospection de la salinité des sols par induction électromagnétique sur la plaine du Tadla (Maroc): tentative d'optimisation par analyse géostatistique*, Sécheresse; vol. **22**, nr. 83.
- F.A.O. (2005), *Annuaire statistique de la FAO*, Roma.
- Johnston, K., Ver. Hoef, J-M., Krivoruchko, K., Lucas, N. (2001), *Using ArcGIS® Geostatistical Analyst*, ESRI, 380 New York Street, Redlands, CA 92373–8100, USA.
- Halitim, A. (1988), *Sols des régions arides d'Algérie*, OPU, Alger, 384 p.
- Halitim, A., Robert, M. (1987), *Interaction du gypse avec les autres constituants du sol, analyse microscopique de sols gypseux en zone aride (Algérie) et études expérimentations*. In Fedoroff et al (Ed): *soil micro morphology*. Afes, pp. 179–186.
- Gupta, R-K., Abrol, I-P. (1990), *Salt-affected soil: Their reclamation and management for crop production. Advances in Soil Science*, vol. **11**. Springer-Verlag, New York. 288 p.
- Lamond, R., Whitney, D-A. (1992), *Management of saline and sodic soils*, Kansas State University, Department of Agronomy MF-1022.
- Matheron, G. (1963), *Principles of geostatistics*, Economic Geology, vol. **58**, no. 8, pp. 1246–1266.
- Nawar, S., Reda, M., Farag, F., El-Nahry, A. (2011), *Mapping soil salinity in El-Tina plain in Egypt using geostatistical approach*, Proceeding (11) of GI_Forum 2011 – Geoinformatics Forum. Conference, Salzburg, Austria, 5–8 July 2011, pp. 81–90.

- Nawar, S. (2009), *Mapping Units of Some Soil of El-Salm Canal Basin Using Geographic Information Systems (GIS)*. M.Sc. Thesis, Fac. of Agric., Suez Canal Univ., Egypt.
- Reza, S., Sarkari, D K., Daruah, U., Das, T.H. (2010), *Evaluation and comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting methods for prediction of spatial variability of some chemical parameters of Dhalai district*, Tripura. *Agropedology*, **20**(1), pp. 38–48.
- Richards, L-A. (1954), *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. US Department of Agriculture, Agricultural Handbook no. **60**, Washington (USA), 160 p.
- Schloeder, C-A., Zimmerman, N-E., Jacobs, M-J. (2001), *Comparison of Methods for Interpolating Soil Properties Using Limited Data*. Soil Science Society of America Journal, vol. **65**, No. 2, pp. 470–479.
- U.S.S.L.S. (United State Salinity Laboratory Staff) (1954), *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. US Department of Agriculture, Handbook no. **60**, U. S. Gov. Print. Office, Washington DC.
- Walter, C., McBratney, A-B., Douaoui, A., Minasny, B. (2001), *Spatial prediction of topsoil salinity in the Chelif Valley Algeria, using local ordinary kriging with local variograms versus whole-area variogram*. *Australian Journal of Soil Research* **39**: pp. 259–72.
- Webster, R., Oliver, M-L, (2001), *Geostatistics for environmental scientists*. New York: John Wiley & Sons, 271 p.

Reçu le 25 mai 2014

