

ANALYSE DE LA VARIABILITE SPATIALE DE LA SALINITE DES SOLS DANS UNE PALMERAIE ALGERIENNE (BISKRA, ALGERIE)

Reçu le 14/01/2009– Accepté le 20/02/2010

Résumé

L'objectif de ce travail est d'étudier la variabilité spatiale de la salinité à différentes profondeurs du sol d'une palmeraie située aux portes du désert algérien (ITDAS; Ain Benoui), afin de mettre en valeur les zones les plus affectées par un phénomène qui ne cesse de progresser dans le monde.

Les analyses de la conductivité électrique du sol ont montré qu'il y a une salinisation évidente et que cette dernière est liée à la qualité des eaux d'irrigation diversement minéralisée de la nappe phréatique du mio-pliocène de la région de Biskra.

La lecture des cartes interpolées de la conductivité électrique du sol, obtenues avec un système d'information géographique (SIG), montre que la zone sud de la parcelle est plus affectée que la partie nord.

Cette répartition spatiale de la salinité semble liée à plusieurs facteurs tels que les propriétés physiques du sol, la pente et le mauvais drainage.

Mots clés : *Palmeraie, cartographie, conductivité électrique, SIG.*

Abstract

The objective of this work is to study the spatial variability of the salinity with various depths of the ground of a palm grove situated near the Algerian desert (Ain Benoui; Biskra), to emphasize zones the most affected by a phenomenon which does not stop progressing in the world.

The analyses of the electric conductivity of the ground showed that there is an evident salinisation and that this last one results from the quality of waters of irrigation variously mineralized of the groundwater of the mio-pliocène of the region of Biskra.

The reading of maps obtained with a geographical information system (GIS) shows that the south zone of the plot of land is more affected than the north part.

This situation seems connected to several factors such as the physical properties of the ground, the slope and the bad drainage.

Key words: *Palmgrove, mapping, electrical conductivity, GIS*

S. DEKHINAT¹
R. BENSAÏD²
Z. BENSID¹
F. KOREIB¹
Y. MOUNA¹

¹ Département d'agronomie,
Université de Batna. Algérie.

² Département d'agronomie,
Université de Skikda. Algérie.

ملخص

(ITDAS)

(SIG)

La salinité est un phénomène mondial qui affecte 1 milliard d'hectares, soit 7% de la surface terrestre [1]. L'accumulation des sels dans les horizons des sols peut engendrer une dégradation des caractéristiques physiques des sols [2]. La salinité est aussi un facteur de désertification qui ne cesse d'intéresser les chercheurs [1, 2, 3]. Les dommages de la salinisation sont connus dans les pays du Maghreb, à cause de la mauvaise gestion des eaux d'irrigation [4,5].

En Algérie, les périmètres irrigués, surtout au sud où les apports en eau sont importants à cause du déficit hydrique (ETP : +200 mm/an), sont largement affectés par la salinisation secondaire [4]. Cette dernière participe aux chutes des rendements agricoles. La rareté de la pluie (<100 mm /an) a contraint les agriculteurs à utiliser les eaux des nappes phréatiques qui sont fortement minéralisées.

Pour lutter contre la salinisation, il faut passer par une bonne connaissance du terrain. La cartographie est un outil non négligeable pour mettre en valeur les potentialités d'un environnement et ses contraintes par la mise en œuvre de systèmes d'information géographique (SIG) [6, 7, 8]. Ces derniers intègrent des outils d'analyses et de géotraitements qui utilisent l'information spatiale pour communiquer les résultats dans de bonnes conditions prêtes à l'exécution.

Cette étude a pour objectif d'utiliser un système d'information géographique pour réaliser une spatialisation de la salinité [7, 8] dans une palmeraie irriguée afin de mettre en relief les niveaux de contamination des sols pour une meilleure exploitation agricole. La cartographie est basée sur la moyenne d'une année de la conductivité électrique à partir de six prélèvements étalés sur quatre saisons. Ensuite, il s'agit de faire un géotraitement des données afin de tester la fiabilité de notre échantillonnage et la tendance spatiale de la salinité. Enfin, il s'agit de délimiter les zones qui présentent une réelle salinisation afin de proposer les aménagements adéquats.

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

La région de Biskra appartient à l'étage bioclimatique aride à hiver chaud. La pluviométrie moyenne annuelle est de 125 mm, avec des maxima de 21 mm, en hiver et des minima de 0 mm, en été. Les températures sont très élevées en été (40°C) et modérées en hiver (8°C).

Le sirocco, vent chaud du sud, souffle en période estivale et se caractérise par son action nuisible sur les plantes. Il a un pouvoir évaporant très important et capable de déposer les sables et poussières sur de grandes superficies. L'augmentation de l'irrigation est le seul moyen efficace pour lutter contre ce fléau.

La parcelle étudiée, de forme triangulaire, présente une surface de 24100 m² et appartient à l'institut technologique du développement de l'agriculture saharienne (ITDAS) d'Ain Benoui, Biskra. Elle se situe à 10 km à l'ouest de Biskra (fig.1). Son altitude est de 116 m. Ses coordonnées géographiques sont : 34°48' 30''N, 5°39' 13''E.

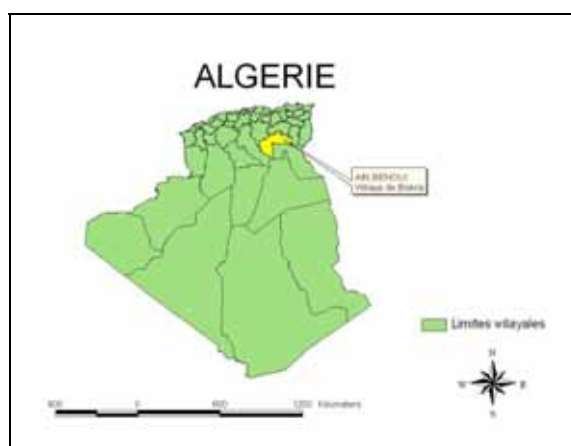


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

Elle fait partie d'une station expérimentale qui a comme objectif la recherche sur le palmier dattier. La plantation, d'une cinquantaine d'année, se spécialise dans la production de deglet noir (*phaenix dactylifera*). C'est une variété très réputée pour ses qualités gustatives. L'irrigation se fait à l'aide de canaux aériens traditionnels (*seguias*). Ils se situent entre les rangés des palmiers. Aucune autre culture n'est associée aux palmiers de la parcelle.

La géologie

Les reliefs qui dominent la zone d'étude se situent au nord. Ce sont les crêtes du crétacé du djebel Boughzel. Au sud, s'étendent les glacis polygéniques qui constituent la transition entre les ensembles telliens et espaces-plans du désert. La station d'Ain Benoui est située sur la flexure atlasique qui court de la Tunisie jusqu'au Maroc. Ce sont les calcaires et les marnes qui dominent, viennent ensuite les grès. Le quaternaire est bien représenté avec plusieurs niveaux de glacis encroûtés (gypse et calcaire). Ces derniers sont surmontés de dunes de sables, d'alluvions, d'éboulis, de croûtes calcaires, de gypse, et parfois d'efflorescences salines [9].

C'est un milieu très marqué par l'érosion mécanique et hydrique. Le réseau hydrographique est dense. Parmi les contraintes qu'on rencontre le plus souvent dans cette région, ce sont les croûtes et les encroûtements gypseux et calcaires qui se trouvent au niveau des racines des plantes. Ils constituent des amas nocifs freinant le cycle biologique des sols [10].

La région de Biskra repose sur quatre unités aquifères [9, 11] :

- **la nappe phréatique du quaternaire** : elle se localise dans des accumulations alluvionnaires et se caractérise par une eau très salée (résidu sec : 8 à 16 g/l). La profondeur des niveaux des eaux varie entre 0 et 1m sur les 2/3 de la superficie de la nappe. La température est de 30 °C. Elle a une grande influence sur le processus pédogénétique du piémont sud (Tolga, Ourgla, Oued Rhigh, etc.), notamment dans la formation des accumulations gypseuses.

- **la nappe des sables du mio-pliocène** : Elle repose dans les terrains continentaux du tertiaire. Sa lithostratigraphie se caractérise par l'alternance de couches d'argiles imperméables à passée de sables et cailloutis. Sa profondeur est de 60 m au niveau de la station de Biskra. Les eaux de cette nappe se rapportent au type sulfaté alcalin, sulfaté calcique et sulfaté calcéo-magnésien. Elles se caractérisent par un résidu sec qui varie 3 et 6 g/l, et une température de 25 °C.

- **la nappe des calcaires l'éocène et du sénonien** : le réservoir de cette nappe est constitué essentiellement de calcaire. Sa profondeur varie de 150 à 400 m environ. Les eaux présentent un faciès sulfaté alcalin et alcalino-terreux, avec prédominance de ce dernier. Le résidu sec varie entre 2 et 2,5 g/l. La température est de 25 °C.

- **la nappe profonde albienne** : Elle correspond au complexe terminal continental en grande partie gréseux. Les eaux sont diversement profondes selon la flexure Atlasique (1500 à 2500m) et très chaudes (60 °C). Elles sont utilisées pour les cures thermales à Biskra. Ce sont aussi les moins salées ; (résidu sec : 1,5 à 2,35 g/l).

L'ENVIRONNEMENT DE LA ZONE D'ETUDE

L'examen de l'image Landsat 2003 (Fig. 2), fausses couleurs (RGB Bandes 4, 3, 2) montre un aspect désertique de la zone. Les parcelles en rouge vif sont des palmeraies qui subsistent grâce à l'irrigation. Les surfaces à fortes reflectances sont les glacis emboîtés du piémont sud de l'atlas saharien. Ils sont couverts de matériaux colluvionnaires, deb-debs (formation calcaro-gypseuse) et de sables.

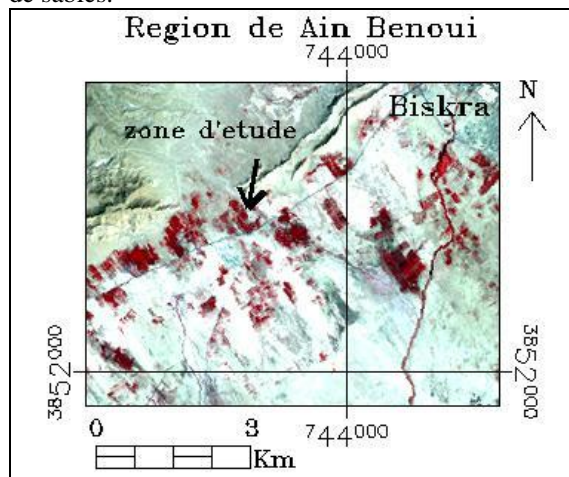


Figure 2: Composition colorée de l'image Landsat

MATERIELS ET METHODE

Echantillonnage

Le prélèvement des échantillons s'est effectué de la manière suivante :

- partage de la parcelle en 24 sites (fig.3).



Figure 3: Localisation des îlots sur Google Earth

- prélèvement à la tarière, au milieu de chaque site, des échantillons selon deux profondeurs, 0 – 30 cm et 30 – 50 cm.

- les points d'échantillonnage sont éloignés les uns des autres de 30 à 50 m (fig.4).

Les prélèvements sont étalés sur une année et concernent six campagnes :

-l'année 2006 : mai, juillet, octobre, décembre

-l'année 2007 : février, avril

Ce choix est guidé par le souci d'apprécier la salinité dans le temps car la salinité est un phénomène plus dynamique que statique ; donc plusieurs mesures sont nécessaires pour évaluer son statut [12].

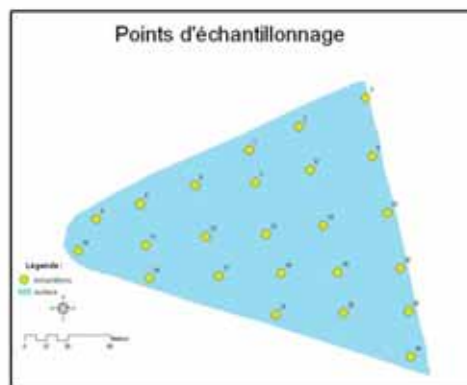


Figure 4: localisation des points d'échantillonnage

Au laboratoire

Les analyses physico-chimiques réalisées sur 48 échantillons de sol (profondeurs 0-30 cm et 30-50 cm) concernent : la fraction fine (argile+limon) ; la conductivité électrique (CE) ; la matière organique ; la capacité d'échange cationique (CEC) ; le pH ; les chlorures, le sodium ; le calcaire total et le gypse. Pour l'eau d'irrigation : la CE ; le sodium, le calcium et magnésium pour calculer le SAR (Sodium Adsorption Ratio) [13].

Cartographie et statistiques

Les cartes thématiques de la CE et de la fraction fine sont interpolées avec spatial analyst d'ArcMap 9.1 [14]; en utilisant la méthode IDW (Inverse Distance Weighted). Cette dernière est préférée au kriging, parce qu'elle permet l'ajustement par la méthode des moindres carrés qui minimise l'impact des erreurs expérimentales, en ajoutant de l'information dans le processus de mesure surtout dans le domaine physico-chimique [7].

La carte fausses couleurs est réalisée avec ENVI 4.2 [15]. La carte d'Algérie, la carte du drainage et la carte d'aménagement sont réalisées avec ArcView 3.2 [16]. L'analyse statistique est faite avec le logiciel Statistica 5 [17]. Le semi-variogramme est réalisé avec le module de géotraitement d'ArcMap 9.1.

RESULTATS

Caractéristiques pédologiques de la station

Généralement, les sols de cette région sont des *typic torripsamment hyperthermic* [4] (sols d'origine colluviale à régime thermique chaud) ou des *xéric calcigypsid* [18]. Ils sont peu évolués et se caractérisent par deux horizons : A et C. La couleur est 10YR. Le taux de calcaire moyen est de 19%. Le gypse est faiblement représenté avec 2%. Le pH est légèrement alcalin avec 8,7 en moyenne. La matière organique est assez bien représentée (2%). Le sodium et les chlorures présentent des moyennes respectivement de 1,1 méq/100g et 4.05 méq/100g en surface et 0.9 méq/100g et 4.5 méq/100g.

Qualité de l'eau d'irrigation

L'eau utilisée pour l'irrigation de la station provient de la nappe des sables (mio-pliocène). Elle joue un rôle néfaste dans les milieux arides, en accumulant les sels solubles dans les sols (sodium, chlorures, potassium, etc.). Pour qu'une eau ne soit pas nocive il faut que sa conductivité électrique soit inférieure à 0,25 dS/m [19]. L'analyse chimique de l'eau se distingue par une CE = + 5 dS/m, un SAR = 12 et un résidu sec = 4g/l (Tableau 1).

Tableau 1 : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation (en dS/m)

Été	Automne	Hiver	Printemps
5.31	5.88	5.43	5.67

La conductivité électrique du sol

La salinité des sols du piémont de Biskra peut avoir plusieurs origines (diapir d'El Outaya, dépôts éoliens et nappe phréatique) [10]. Généralement, on estime la salinité d'un sol à partir de mesures faites sur la conductivité électrique de l'extrait aqueux ou d'une pâte saturée en eau distillée en prenant soin de veiller à ce que le rapport sol/eau soit constant (1/5 ou 1/10) à 25° [19].

La conductivité électrique de la parcelle, estimée à partir de la pâte saturée, présente des moyennes relativement faibles (inférieure à 0,5 dS/m) au nord, et des valeurs dépassant le seuil toléré (supérieur à 4 dS/m) au sud.

Le coefficient de variation montre que la conductivité électrique a une variabilité moyenne de 46 % (Tableau 2).

Tableau 2 : Statistiques de la CE du sol

Profondeur (cm)	Moy	Min	Max	SD	CV%	N
[0 - 30]	1.97	0.00039	4.74	0.75	47	24
[30 - 50]	1.74	0.00034	4.30	0.64	45	24

Moy : moyenne, **Min** : minimum, **max** : maximum, **SD** : Standard deviation, **CV** : coefficient de variation, **N** : Taille Echantillon

Interpolation et corrélation de la CE et de la fraction fine (argile + limon)

Les données ponctuelles de la CE du sol et de la fraction fine sont interpolées avec l'extension Spatial Analyst (ArcMap 9.1).

Le traitement statistique a permis de mettre en valeur la relation spatiale des variables CE et fraction fine.

Le semi-variogramme de la CE

Pour mieux estimer la distribution et la validité de notre échantillonnage, on a soumis la base de données de la CE de l'horizon 0-30 cm au géotraitement statistique.

Avec le modèle sphérique, on a obtenu un semi-variogramme théorique qui présente un effet pépite et une portée significatifs. La carte du semi-variogramme montre la dépendance de la direction de la salinité du sol.

DISCUSSION

L'eau d'irrigation se classe dans le diagramme USSL (1954) comme étant très saline et dangereusement sodique (C5S4). Elle est normalement non utilisable sauf pour les sols très perméables avec un bon drainage [19].

Le sud de la parcelle est le plus exposé à la salinité, comme c'est mis en évidence sur les cartes de la CE (fig.5 et fig.6).

Beaucoup de facteurs peuvent expliquer cette situation :

- la présence d'argile (30%)
- l'apport des sels solubles par irrigation
- une pente favorable (3% de dénivelé)
- un mauvais drainage

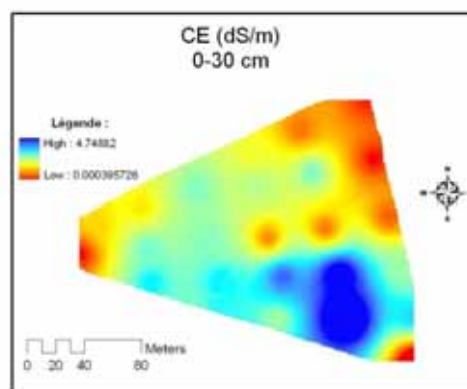


Figure 5 : Interpolation de la CE (0-30 cm)

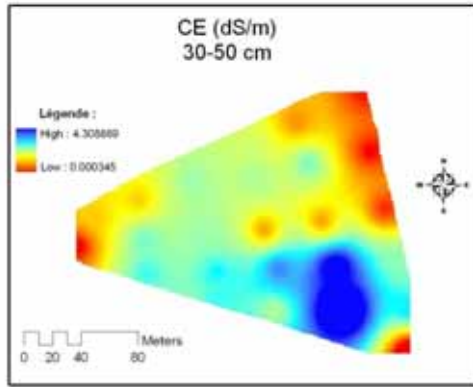


Figure 6 : Interpolation de la CE (30-50 cm)

Il apparaît que la fraction fine (argile + limon) présente les mêmes tendances spatiales que la conductivité électrique (fig.7 et fig.8). Cette dernière a une distribution verticale homogène. Cette relation spatiale entre la CE et la fraction fine a pourrâit s'expliquer par une CEC des sols élevée (22%) de la partie sud de la parcelle.

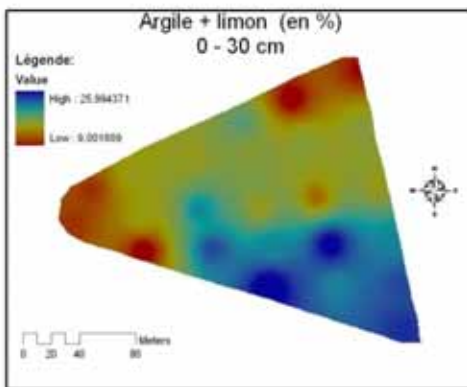


Figure 7 : Interpolation de la fraction fine (0-30 cm)

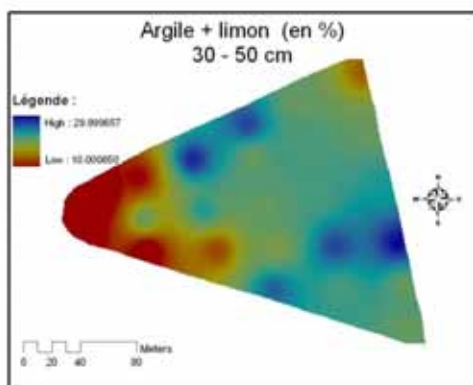


Figure 8 : Interpolation de la fraction fine (30-50 cm)

Par ailleurs, la partie nord renferme moins de salinité. C'est une zone où la texture est plutôt sableuse. Les sels ne se fixent pas à cause de la faible CEC (< à 10 méq/100 g). En outre, Ces sols sont bien drainés par l'irrigation et par la pluviométrie.

La corrélation argile-salinité est positivement significative ($r = 0.65$) (fig.9) . L'argile constitue un réservoir de sels solubles grâce à ses propriétés physiques. Mais cette relation pourra s'amoinârir si le drainage est amélioré.

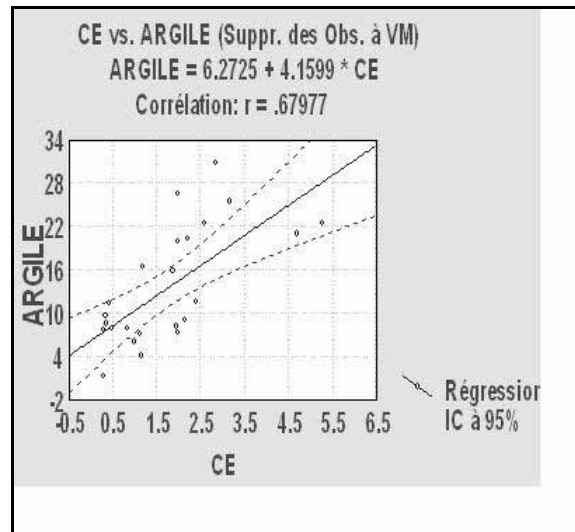


Figure 9: Corrélation CE – fraction fine

Le géotraitement met en valeur une anisotropie (dépendance de la direction) de la variable étudiée (CE). Celle-ci présente une direction de 58° nord, probablement la source de la salinité de la parcelle. La courbe du semi-variogramme présente un effet pépite nul, à l'origine, dû à l'infime erreur de l'échantillonnage et des analyses au laboratoire. Quant à la portée, elle est d'environ 50m; ce qui signifie qu'au delà de cette distance les valeurs de la conductivité sont indépendantes et qu'il est inutile de faire un échantillonnage à une distance de moins de 50m (fig. 10).

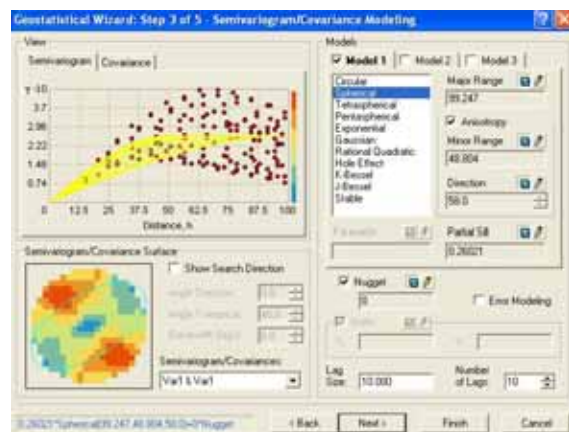


Figure 10: Semi-variogramme de la CE

Perspectives

Tenant compte de la salinité des eaux d'irrigation, les gestionnaires de la station ont installé un réseau de drainage (fig. 11) pour évacuer les eaux excédentaires et parer à la recharge de la nappe phréatique du quaternaire. Mais ce dispositif ne semble pas atténuer efficacement la salinité des sols.

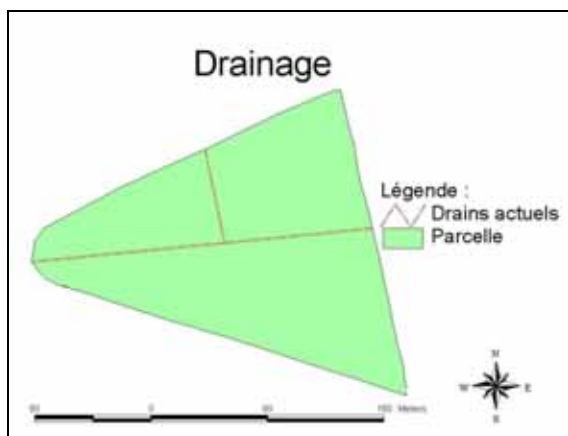


Figure 11: Situation du drainage

Avec Spatial Analyst on a pu ressortir la surface qui présente la combinaison argile-CE élevée. Cette dernière correspond à la partie mal drainée, c'est à dire le sud de la parcelle (fig.12).

L'installation d'un système de drainage adéquat est urgente à ce niveau de la parcelle, afin d'éviter l'aggravation de la salinité. Ce système aura pour but de :

- lessiver les sels en excès vers le sud de la station
- alléger la texture des sols de la zone sud
- éviter l'hydromorphie

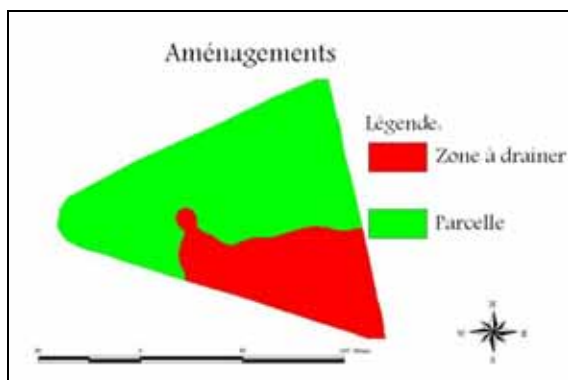


Figure 12 : Proposition d'aménagement

Par ailleurs, il serait préférable de changer de méthode d'irrigation, en utilisant le système goutte à goutte, surtout si les gestionnaires introduisent d'autres cultures sous-palmiers. Ce système a prouvé son efficacité dans les milieux arides, car les dépôts de sels sont limités et les rendements agricoles se sont améliorés de plus de 20% [18, 20].

CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en valeur la spatialisation de la conductivité électrique dans une parcelle irriguée dans le sud Algérien. Des cartes thématiques sur la conductivité électrique et de la fraction fine ont pu être établies et leur comparaison a montré qu'il existe un lien étroit dans leur distribution spatiale. L'étude statistique a confirmé cette tendance, en démontrant une forte corrélation spatiale entre les deux éléments.

L'irrigation est un facteur de contamination non négligeable dans la station d'Ain Benoui.

Les analyses chimiques ont montré une nette tendance à la salinisation et à la sodisation. Le mauvais drainage et la texture lourde ont beaucoup affecté la zone sud. Des actions d'assainissement pourraient diminuer considérablement la teneur en sels des sols dans cette partie de la parcelle. La partie nord présente des aptitudes culturales intéressantes (texture légère, faible salinité, etc.) et pourrait être utilisée pour la culture d'un maraîchage qui supporte la salinité ambiante.

REFERENCES

- [1]- Ghassimi F, Jakeman AJ, Nix HA. *Salinisation of land and water resources : human causes, extent, management and case studies..* CAB International, Canberra Australia. 1995; 544 p.
- [2]- Durand JH. *Les sols irrigables.* Presses universitaires de France Paris, 1983 ; 322 p.
- [3]- Halitim A. *Sols des régions arides.* OPU Alger, 1988 ; 384 p.
- [4]- Djili k, Daoud Y, Gaouar A, Beljoudi Z. La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sécheresse* 2003; 4 : 241-6.
- [5]- Daoud Y, Halitim A. Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sécheresse* 1994; 5 : 151-60.
- [6]- Burrough PA. Principles of geographical information systems for land resources assessment. *Monographs of soils resources survey*, Oxford university press 1986; 12.
- [7]- Corwin DL, Lesch SM. Characterizing soil electrical conductivity. Part II. Case study. *Comp Electro Agri* 2006; 46 :135-152.
- [8]- Panagopoulos T, Jesus J, Antunes MDC, Beltrao J. Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce. *European Journal of Agronomy* 2006; 24:1-10.
- [9]- Gousskov N. Notice explicative de la carte géologique au 1/200 000 de Biskra. *Serv Géol De l'Algérie* Alger,1964.
- [10]- Pouget M. Contribution à l'étude des croûtes et encroûtements gypseux dans le Sud-tunisien. *Cahiers ORSTOM Série Pédol* 1968; 3-4 : 309-365
- [11]- Messahel M, Meza N. Evaluation des eaux de la nappe phréatique et profondeur des drainage dans les terres irriguées en milieu saharien. *La Houille Blanche.*2004 ; 4 : 25-28 .
- [12]- Herrero J, Synder L. Aridity and irrigation in Aragon, Spain. *Journal of arid environments.* Spain, 1997 ; 35 : 535-547 .
- [13]- Aubert G. *Méthodes d'analyses des sols.* CRDP Marseille, 1978.
- [14]- ESRI. Environmental System Research Institut. ArcMap 9.1, 2005; ESRI Redlands, CA.
- [15]- ENVI 4.2. The Environment for vizualizing images, 2005; CO 80301, USA.
- [16]- ESRI. Environmental System Research Institut. ArcView 3.2, 2000; ESRI Redlands, CA.
- [17]- STATISTICA 5. Statsoft, Inc, 1984-2008.
- [18]- Bala S. Evolution des sols sous serre en milieu aride. Cas de l'ITDAS de Biskra.Mémoire de Magister, INA, 2005 ; 129 p.
- [19]- United States Salinity Laboratory. *Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils.* USDA Handbook, Washington 1954; 60:160 p.
- [20]- Bogle CR, Hartz TK, Nunez C. Comparaison of subsurface trickle and furrow irrigation on plastic-mulched and bare soil or tomato production. *J Amer Soc Hort Sci* 1989; 114(1), pp: 40-43.