

DETERMINATION DES NIVEAUX DE DEGRADATION DES SOLS DU PERIMETRE DE HMADENA (BAS CHELIFF) PAR L'APPLICATION DE L'APPROCHE GEOSTATISTIQUE MULTIPARAMETRIQUE

E. BENBOUAL¹, A.DOUAOUI¹, N.BETTAHAR¹, A. BERROKIA²,

1. CU .CHLEF, 2. INRAA H'madna.

Résumé : Une grande partie des sols des plaines du Cheliff, particulièrement à l'Ouest présente un caractère salin, ce qui rend ces sols stériles. La présence de quantités excessives de sels à l'origine de l'instabilité structurale et de la dégradation des couches superficielles mettant en péril leur capacité de production. Il serait, dès lors, important de déterminer les différents niveaux de réel de ce phénomène sur le devenir de nos terres productives. L'étude que nous avons menée à la station expérimentale de l'INRAA (Relizane) montre que la dégradation des sols de cette région est liée aux caractéristiques physico-chimiques de ces derniers, tels que la stabilité structurale, exprimée par le MWD, la CE, l'ESP, la granulométrie, la matière organique, le calcaire total et le pH.

Afin de déterminer les différents niveaux de dégradation de ces sols, nous avons établi une carte synthétique basée sur l'application de la géostatistique multiparamétrique. La méthode consiste en une combinaison de l'ACP et de la géostatistique (krigeage).

Mots clés : Salinité, dégradation, stabilité, ACP, krigeage.

Abstract : The large part of Cheliff valley soils, especially the western sector affected by salinity which turn it to wan face, the development of salts in huge amounts, the reason for instability and damaging its surface layers which affect on its productivity. For this reason we tend to predicate the degree of soil degradation and fixing its effect on future producing soil. The experiment conducted at (INRAA) station in Relizane province, which appeared that the soil degradation in this place connected with physico-chemical characteristics of soil. Such as the structure stability (MWD), salinity, ESP, organic matter, total CaCO₃ and hydrogen element. To fix different degrees of degradation for thes soils we designate the map by using poly parametrics geostatistics method, which depend on the combination between two different methods (ACP and Kriging).

Key words : salinity, degradation, stability, ACP, Kriging.

DETERMINATION DES NIVEAUX DE DEGRADATION DES SOLS DU PERIMETRE DE HMADENA (BAS CHELIFF) PAR L'APPLICATION DE L'APPROCHE GEOSTATISTIQUE MULTIPARAMETRIQUE

E. BENBOUAL¹, A.DOUAOUI¹, N.BETTAHAR¹, A. BERROKIA²,

1. CU .CHLEF, 2. INRAA H'madna.

Résumé : Une grande partie des sols des plaines du Cheliff, particulièrement à l'Ouest présente un caractère salin, ce qui rend ces sols stériles. La présence de quantités excessives de sels à l'origine de l'instabilité structurale et de la dégradation des couches superficielles mettant en péril leur capacité de production. Il serait, dès lors, important de déterminer les différents niveaux de réel de ce phénomène sur le devenir de nos terres productives. L'étude que nous avons menée à la station expérimentale de l'INRAA (Relizane) montre que la dégradation des sols de cette région est liée aux caractéristiques physico-chimiques de ces derniers, tels que la stabilité structurale, exprimée par le MWD, la CE, l'ESP, la granulométrie, la matière organique, le calcaire total et le pH.

Afin de déterminer les différents niveaux de dégradation de ces sols, nous avons établi une carte synthétique basée sur l'application de la géostatistique multiparamétrique. La méthode consiste en une combinaison de l'ACP et de la géostatistique (krigeage).

Mots clés : Salinité, dégradation, stabilité, ACP, krigeage.

Abstract : The large part of Cheliff valley soils, especially the western sector affected by salinity which turn it to wan face, the development of salts in huge amounts, the reason for instability and damaging its surface layers which affect on its productivity. For this reason we tend to predicate the degree of soil degradation and fixing its effect on future producing soil. The experiment conducted at (INRAA) station in Relizane province, which appeared that the soil degradation in this place connected with physico-chemical characteristics of soil. Such as the structure stability (MWD), salinity, ESP, organic matter, total CaCO₃ and hydrogen element. To fix different degrees of degradation for thes soils we designate the map by using poly parametrics geostatistics method, which depend on the combination between two different methods (ACP and Kriging) .

Key words : salinity, degradation, stability, ACP, Kriging.

INTRODUCTION

La dégradation des sols est principalement liée à la salinisation des terres dont l'importance dépend de d'autres caractéristiques pédologiques.

Ce travail constitue une contribution à la caractérisation de l'état de surface des sols de la station expérimentale de H'madena (INRAA) ainsi qu'à la détermination des zones homogènes représentant les différents niveaux de dégradation.

Pour cela, l'approche géostatistique multiparamétrique regroupant l'ensemble des variables prises simultanément en compte et déterminant l'autocorrélation entre les coordonnées des individus déterminées par l'ACP a été appliquée.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le terrain d'investigation avoisine les 70 ha. Le nombre des échantillons ayant fait l'objet de mesure au laboratoire est de 29. Le choix des coordonnées des prélèvements des échantillons a été fait suite à l'établissement de la carte de salure des sols de la station. Les mesures ont porté sur : la conductivité électrique à l'extrait dilué 1/5, la matière organique par la méthode ANNE, le calcaire total par la méthode du calcimètre de BERNARD, le pH eau de rapport 1/5, la stabilité structurale par la méthode de LIBISSONNAIS., la Granulométrie par la méthode internationale avec l'emploi de la pipette de Robinson., le dosage de Sodium échangeable, ainsi que la CEC par le photomètre à flamme.

Choix des paramètres et justification

L'idéal serait de prendre tous les paramètres qui interviennent dans le comportement et le fonctionnement du sol. Ceci n'est malheureusement pas possible ni réalisable dans le cadre de ce travail. Les variables et leur nombre sont limités par l'outil de traitement des données utilisables.

- **La conductivité électrique (CE)** : C'est la caractéristique principale des sols de la région (DURAND, 1953; BOULAIN, 1957; MC DONALD et BNEIDER, 1990). Pour les agriculteurs, c'est en fonction de sa teneur que s'établit la qualité du sol.

- **La matière organique** : Indicatrice de l'activité biologique du sol, elle est déterminante dans la stabilité structurale (HAYNES, 1993; LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995).

- **Le calcaire total** : Le rôle positif du calcaire total dans l'amélioration de la stabilité structurale est indéniable (HARIS et al., 1996; MBAGWU et BAZZOFFI, 1998). Ce rôle est particulièrement important dans les sols du terrain d'étude, où le risque d'un ESP élevé est permanent, par le calcium qu'il fournit au sol pour équilibrer le complexe absorbant.

- **pH** : Il constitue la synthèse des interactions chimiques entre les variables. Dans le cas de cette étude, il pourrait, entre autres, nous informer sur les échantillons dont l'ESP est élevé. En plus, ce sont des paramètres très facile d'accès.

- **La granulométrie** : Elle est déterminante dans le comportement physico-chimique des autres paramètres. En outre, lorsqu'on parle de perméabilité, lixiviation, drainage, la granulométrie est le premier paramètre à étudier vu les influences directes sur la salinisation (MBAGWU et BAZZOFFI, 1998).

- **La stabilité structurale** : Par le caractère synthétique de l'ensemble des caractéristiques physiques et chimiques qu'elle possède, la stabilité structurale renseigne sur l'aptitude du sol à résister aux différents paramètres de dégradation et donc sur l'état structural du sol (EMMERSON, 1967; LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995).

- **Le MWD** : (Meane Weight Diameter) a été retenu pour estimer la stabilité structurale. C'est une méthode récente qui a donné de

bons résultats (LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995 ; SAIDI et al., 1999).

- L'ESP (pourcentage du Sodium

Echangeable) : Son effet négatif sur la stabilité structurale est prouvé sans ambiguïté par une action très dispersante sur les argiles (EMERSON, 1977 ; DAOUD, 1993).

Analyse en Composantes Principales

L'A.C.P. est une méthode statistique descriptive (c'est un terme qui désigne l'ensemble des méthodes de collecte, de classement, de synthèse et de présentation de données). Son objectif est de présenter, sous une forme graphique, le maximum d'information.

Géostatistique multiparamétrique

Cette méthode consiste à cartographier les valeurs des coordonnées des individus sur les différents axes pris en considération. Elle permet de dégager un fond régional des mesures, c'est à dire la tendance en grand de la parcelle d'étude (GUOULARD & al., 1987).

Krigeage

Le krigeage est une technique d'estimation d'un phénomène connu en un certain nombre de points qui a l'avantage, parmi d'autres techniques d'interpolation, d'utiliser la structure spatiale de la variable pour l'estimation (JOURNEL, 1977). il existe plusieurs types :

Krigeage simple en covariance

C'est le cas où la fonction aléatoire est stationnaire d'ordre 2, c'est à dire que :

- l'espérance mathématique existe et est constante :

$$E (Z (x)) = m$$

- la covariance pour chaque couple existe et ne dépend que de l'interdistance h :

$$C (h) = E (Z (x) - Z (x + h)) - m^2$$

Notons que le cas où la condition de la variance finie est posée n'est que rarement vérifié en réalité, d'autres hypothèses sont alors à envisager.

Krigeage dans le cadre de l'hypothèse intrinsèque

Cette hypothèse est moins forte que la première. Elle considère que ce sont les accroissements $[Z (x) - Z (x + h)]$ qui sont stationnaires d'ordre 2 (Laborde, 1989).

- La moyenne est constante :

$$E (Z (x) - Z (x + h)) = m (x) - m (x + h) = 0$$

Les accroissements sont nuls en moyenne et $Z (x)$ est stationnaire en moyenne.

La variance est constante pour une distance h :

$$\text{VAR} [z (x) - Z (x + h)] = 2 \gamma (h)$$

Krigeage universel

Certaines propriétés du milieu naturel peuvent présenter un gradient se traduisant par une tendance. C'est le cas lorsque ni la variance ni la covariance ne peuvent être définies. L'espérance mathématique n'est donc plus constante et elle est fonction de la position des points d'appui de x ; on aura donc :

$$E (Z (x)) = m (x)$$

et $E (Z (x) - Z (x + h)) \neq 0$

dans ce cas, l'estimation du variogramme par l'équation habituelle n'est plus valable et devient (Webster, 1985) :

$$\gamma_{\text{réel}}(h) = \gamma_{\text{estimé}}(h) - 1/2[m(x) - m(x+h)]^2$$

dans ce type de krigeage, il faut donc estimer simultanément le variogramme brut et la dérivé que l'on suppose généralement être fonction simple variant relativement lentement.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

- Statistiques élémentaires

Le tableau 1 montre que la granulométrie est dominée par les argiles qui atteignent la moyenne de 45.1 % suivies par les limons avec 40.27 %. les valeurs faibles des CV de ces deux variables montrent une assez bonne homogénéité de leur répartition spatiale. La salinité est élevée avec une moyenne de 3.52 dS/m pour l'extrait dilué au 1/5 et son CV montre, contrairement aux argiles et aux limons, une variation importante de la salinité dans le terrain d'étude.

Le pH a une moyenne supérieure à 8 qui le classe dans les sols alcalins. Le pourcentage du Na échangeable (ESP) reste moyennement élevé avec 12.5 % et un CV très élevé (90 %) témoignant d'une dispersion importante de cette variable. Le calcaire total avec une moyenne de 22.8 % est modérément élevé et présente une faible variabilité spatiale.

Tableau I : Moyennes et coefficients de variations des caractéristiques des sols.

Variable	Arg%	Lim%	Sab%	CE ds/m	MO%	CaCO3%	pH	ESP	MWD
Moy	45,1	40,27	15,59	3,52	2,11	22,8	8,13	12,5	0,69
CV %	16	10	41	64	33	9	3,1	90	23,9

La matrice de corrélation (tab.2) renferme les valeurs des coefficients linéaires entre deux variables. Le seuil de signification à 5 % de ces coefficients de corrélation selon le nombre

d'échantillons est de 0.36. Il en ressort donc que toute valeur supérieure à ce seuil a une corrélation significative.

Tableau II : Matrice de corrélation.

	%A	%L	%S	CE	MO	CAC03	PH	%NA/CEC	MWD
%A	1,00	-0,51	-0,72	-0,16	-0,05	-0,29	0,26	0,03	0,06
%L	-0,51	1,00	-0,00	0,07	-0,23	0,08	-0,14	0,21	-0,40
%S	-0,72	-0,00	1,00	0,00	-0,00	0,42	-0,24	-0,25	0,12
CE	-0,16	0,07	0,00	1,00	0,04	-0,21	-0,32	0,48	-0,47
MO	-0,05	-0,23	-0,00	0,04	1,00	-0,43	-0,03	-0,24	0,40
CAC03	-0,29	0,08	0,42	-0,21	-0,43	1,00	-0,11	-0,15	-0,09
PH	0,26	-0,14	-0,24	-0,32	-0,03	-0,11	1,00	0,26	-0,11
ESP	0,03	0,21	-0,25	0,48	-0,24	-0,15	0,26	1,00	-0,70
MWD	0,06	-0,40	0,12	-0,47	0,40	-0,09	-0,11	0,70	1,00

Les variables qui sont significativement corrélées entre elles sont les argiles avec les limons et les sables (négativement), la salinité, les limons et l'ESP avec le MWD (négativement). Le calcaire total est positivement corrélé aux sables et négativement à la matière organique. Cette dernière est positivement corrélée au MWD.

Il y a donc lieu de retenir que les argiles sont inversement proportionnelles aux limons et aux sables. Les variables salinité, ESP et limons favoriseraient la dégradation structurale alors que la matière organique semble améliorer la stabilité structurale.

#	Valeur	Pourcent	Cumul
1	2,4336	27,04	27,04
2	2,2768	25,30	52,34
3	1,4917	16,57	68,91
4	0,9705	10,78	79,70
5	0,8782	9,76	89,45
6	0,3934	4,37	93,82
7	0,2559	2,84	96,67
8	0,2259	2,51	99,18
9	0,0740	0,82	100,00

- Les axes principaux

Le nombre des axes principaux à prendre en considération dépend des valeurs propres de chaque axe et les pourcentages correspondants. Le pourcentage cumulé des trois premiers axes atteint une valeur de 68.91 % (Fig. 1) et représente la part de l'information expliquée par ces derniers, jugée suffisante pour une approche d'analyse des variables et des individus.



Figure 1 : Pourcentage des valeurs propres de l'ensemble des axes.

Le tableau III représente les trois premières composantes principales où l'ensemble des variables sont bien représentées avec un pourcentage variant entre 73 % et 94 %. Les variables qui participent le mieux à la formation du premier axe sont: le MWD, l'ESP et de façon moindre les limons et la salinité. Ces variables sont toutes directement ou indirectement liées à la stabilité structurale et montrent que l'ESP, les limons et la salinité sont bien des paramètres de dégradation de la structure puisqu'ils évoluent dans le sens inverse du MWD.

La variable la plus significative dans la dégradation est l'ESP. Les variables qui contribuent le plus à la formation de l'axe 2 sont liées à la granulométrie. Les sables viennent en tête et suivis des argiles. Le calcaire total a une corrélation de 0.35. Les corrélations des variables : MWD, ESP, limons, salinité sont pratiquement nulles avec l'axe 2 alors que celles des variables sables, argiles et Ca Co₃ le sont avec l'axe . Ceci démontre l'absence d'une quelconque corrélation entre ces deux groupes de variables. L'axe 3 est formé principalement par la MO, la CE et le calcaire total.

Tableau III : Coordonnées et corrélations des variables sur les axes principaux.

	Qlt	Axe 1		Axe 2		Axe 3	
		Coord	Cor	Coord	Cor	Coord	Cor
%A	0,94	-0,32	0,10	0,81	0,65	-0,23	0,05
%L	0,69	0,60	0,36	-0,29	0,08	-0,00	0,00
%S	0,71	0,01	0,00	-0,84	0,71	0,06	0,00
CE	0,88	0,59	0,34	0,10	0,01	0,63	0,40
MO	0,80	-0,49	0,24	0,07	0,00	0,67	0,45
CACO3	0,80	0,15	0,02	-0,59	0,35	-0,60	0,36
PH	0,73	-0,04	0,00	0,49	0,24	-0,47	0,22
ESP	0,78	0,77	0,59	0,44	0,19	0,04	0,00
MWD	0,84	-0,88	0,78	-0,21	0,04	0,09	0,01

Suite à ces résultats, il apparaît que les variables qui interviennent de façon directe dans la dégradation structurale sont par ordre décroissant: l'ESP, les limons et la salinité.

- Les cercles de corrélation

Le plan principal formé par l'axe 1 et l'axe 2 représente un pourcentage d'information cumulé de 52.34 %. L'ensemble des variables excepté la MO et le pH sont d'une bonne

moyenne de représentativité. C'est ainsi qu'on peut voir que la CE, les limons et particulièrement l'ESP s'opposent au MWD et que les sables et le calcaire s'opposent aux argiles. Ce dernier groupe de variables n'a aucune corrélation avec le premier. La MO, même faiblement représentée, est la variable la plus proche du MWD, traduisant ainsi sa participation dans l'amélioration de la structure du sol (fig.2).

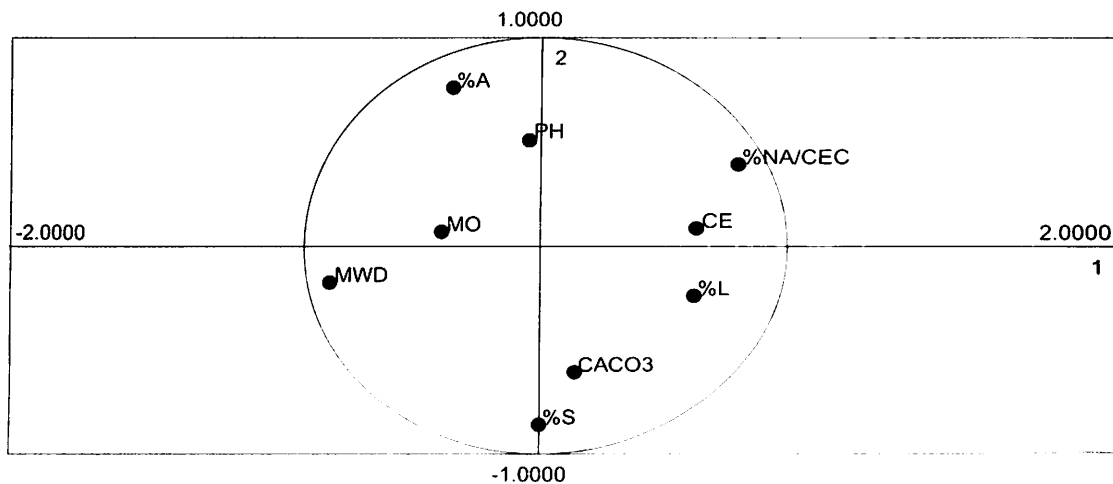


Figure 2 : Les cercles de corrélation.

Il est donc clair que les variables qui participent à la dégradation structurale sont par ordre décroissant l'ESP, la salinité et les limons et de façon moindre la matière organique. L'influence des sables, du calcaire et des argiles n'apparaît pas.

- Le plan des Individus

Il apparaît clairement qu'il y a trois groupes de sol qui évoluent, surtout par rapport à l'axe 1 (fig.3). Comme ce dernier est formé principalement par les variables traduisant la dégradation structurale, il est permis de dire, que ces trois groupes se rassemblent et se positionnent par rapport à leur stabilité structurale.

En effet, un retour aux données expérimentales montre que le premier groupe se trouvant à droite de l'axe renferme les individus qui ont les MWD les plus faibles (mauvaise stabilité structurale) et le groupe se trouvant à gauche de cet axe est formé par les individus ayant les MWD les plus élevés (bonne stabilité structurale). Le groupe du milieu renferme les individus dont les MWD ont des valeurs intermédiaires.

La répartition des individus en fonction des valeurs du MWD en trois classes sur le plan principal (fig.3) illustre bien le rôle que joue la structure dans les sols de H'madena.

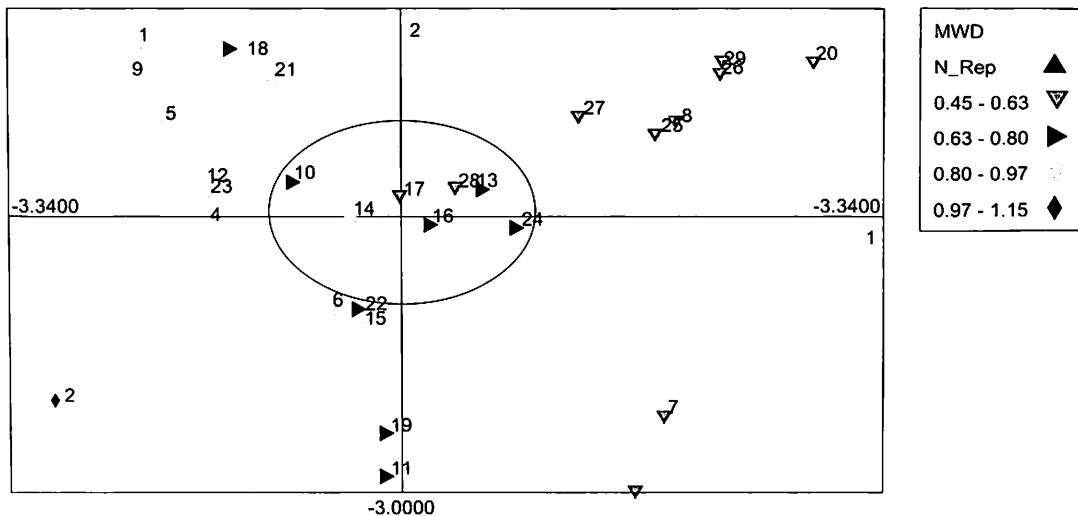


Figure 3 : Projection des individus sur le plans principal.

Les individus isolés qui ne figurent pas dans l'un des trois groupes présentent des caractéristiques particulières et ne peuvent être expliqués uniquement par les variables liées à la dégradation structurale. A titre d'exemple, le cas de l'individu n°2 qui a le plus élevé (à priori le plus stable) possède une MO élevée et surtout une teneur en sable très élevée.

Etablissement de la carte

Le calcul des valeurs des coordonnées des individus sur les axes principaux, pour des variables réduites, se fait de la façon suivante:

Tableau IV : Exemple de calcul des valeurs des coordonnées des individus.

Variables initiales	Variables centrées et réduites	Vecteur propre
A	$(57.00 - 45.09)/8.12 = 1.46$	0.1313
L	$(33.40 - 39.77)/4.34 = -1.46$	-0.1556
.	.	.
.	.	.
.	.	.
MWD	$(0.47 - 0.38)/0.11 = 0.81$	-0.5335

La coordonnée sur l'axe choisi (1) est égale à :
 $(0.13). (1.46) + (- 0.156). (-1.46) + \dots + (-0.53). (0.81) = -0.65$

Les valeurs des coordonnées ainsi calculées sont considérées comme étant des variables régionalisées dont on va essayer d'établir la carte.

La cartographie multiparamétrique par krigeage va se faire par l'interpolation des coordon-

nées de l'axe 1. Ce choix est justifié par le fait que cet axe est bien corrélé aux variables qui sont les plus liées à la dégradation.

La carte obtenue par cette méthode (fig.4) montre la répartition des trois unités en zones homogènes représentant les différents niveaux de dégradation des sols en fonction de plusieurs paramètres et particulièrement la salinité, l'ESP et la stabilité structurale.

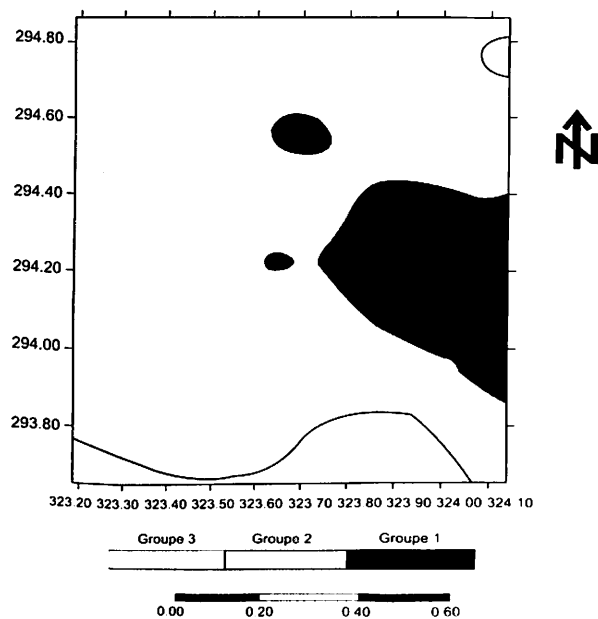


Figure 4 : Cartographie des trois unités (groupes).

Le groupe 3 (unité 3) représentant les sols les moins dégradés se localisent dans la partie Sud avec une très petite plage isolée dans la partie Nord - Est. Le premier groupe 1 (unité 1) occupe le milieu de la partie Est avec une tendance vers le centre. Les sols de cette unité atteignent une dégradation très avancée où même la végétation halophyte n'arrive pas à se développer. Le deuxième groupe (unité 2), intermédiaire entre les deux unités précédentes, couvre des superficies importantes.

Dans l'ACP, il a été remarqué que l'évolution de la dégradation du sol se faisait essentiellement en fonction de l'axe 1, en allant des coordonnées positives vers les coordonnées négatives. Il devient alors possible de représenter sur une carte plusieurs niveaux de dégradation croissante sous forme de différentes zones homogènes (fig. 5).

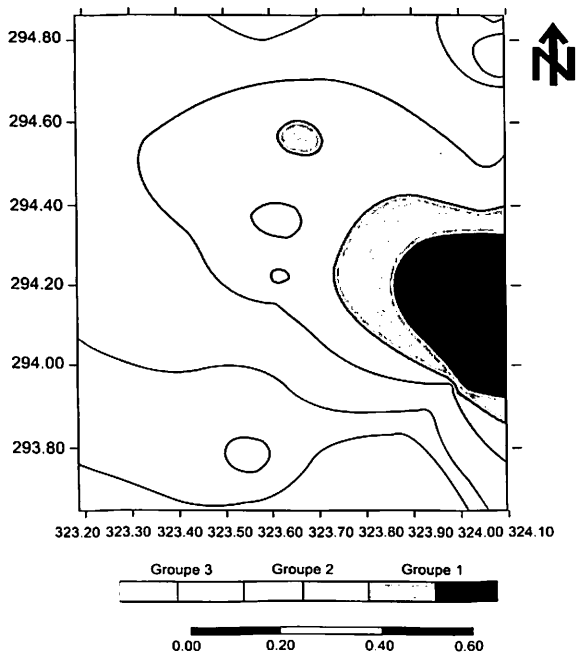


Figure 5 : Carte des zones homogènes établie selon les coordonnées de l'axe 1.

Il apparaît alors sur la carte une dégradation croissante des sols vers la partie Est du terrain d'étude. Les sols les moins dégradés se localisent particulièrement au sud de la parcelle et de façon moindre dans la partie Nord.

C'est justement au niveau de ces endroits qu'il y a une activité agricole basée toutefois sur les cultures tolérantes aux sels. Au niveau des zones les plus dégradées, aucune pratique culturale ne se réalise. Sur certaines zones dont la dégradation n'est pas trop élevée, il

se trouve une végétation halophyte spécifique qui peut être dense. Au niveau des zones les plus dégradées (gris foncé), les sols sont totalement nus et aucune végétation n'a pu s'installer.

L'inexistence de la végétation même halophyte n'est pas due seulement à la salinité élevée mais à l'état avancé de la dégradation structurale du sol. Dans de pareils cas, il se forme à la surface du sol une croûte de battance pouvant dépasser une épaisseur de 1 cm.

Cette dernière forme une couche imperméable à la surface du sol suite à une dispersion élevée des agrégats dans le cas d'une mauvaise structure provoquée généralement par la chute des gouttes de pluies. Les échanges sol - atmosphère sont ainsi réduits au maximum, la porosité du sol devient très faible et la végétation ne peut se développer dans de pareilles conditions.

CONCLUSION

Les résultats fournis par l'ACP ont montré que les variables qui interviennent le plus dans la dégradation de la structure sont par ordre décroissant l'ESP, la salinité, les limons et la matière organique. La projection des individus sur le plan principal a montré l'existence de trois groupes représentant les différents niveaux de dégradation.

L'établissement d'une carte multiparamétrique par la combinaison entre la géostatistique et l'ACP a rendu possible la représentation simultanée de l'ensemble des variables étudiées avec particulièrement celle qui sont les plus corrélées à l'axe 1. La mise en évidence des zones de dégradation ne peut être réalisée par la cartographie monoparamétrique, qui ne permet pas une interprétation de plusieurs cartes superposées.

Il apparaît alors différents niveaux de dégradation de sols dont les plus prononcés se localisent à l'Est de la parcelle d'étude. Ces plages marquées par une dégradation très poussée représentent des sols qui sont impropres à toute pratique agricole et sont par conséquent totalement abandonnés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

• **BOULAINÉ, (1957)** : Les sols des plaines du Cheliff, thèse de doctorat d'Etat, Université d'Alger, 582 p.

• **DAOUD Y., (1981)** : Contribution à l'étude de la dynamique et des sols dans un sol irrigué de périmètre du Haut Cheliff, Thèse de magister 104 p.

• **DURAND J.H., (1958)** : Les sols de la station d'étude des sols salins de Hamadena. Quelques aspects de la saturation d'étude des sols salins de Hamadena et de ses activités. Revue "Terres et eaux" N° 28. 2ème et 3ème trimestre 1956 pp.02-17.

• **EMERSON W.W., (1967)** : A classification of soil aggregates on their coherence in water. Aust.J.Soil research 5 : pp.47-57.

• **GOULARD M., VOLTZ M., MONESTIEZ P., (1987)** : Comparaison d'approches multivariées pour l'étude de la variabilité spatiale des sols. Agronomie, 7 (9), pp 657-665.

• **GUERIF J., (1988)** : Résistance en traction des agrégats terreux: influence de la texture, de la matière organique et de la teneur en eau. Agronomie 8,pp 188-195.

• **HARRIS R.F. et al., (1966)** : Dynamics of soil aggregation in: N.C Brady (ed.), Advances in Agronomy. Academic Press, New York, NY 18 pp 107- 169.

• **HAYNES R. J., (1993)** : Effet of sample pre-treatment on aggregate stability measured by wet sieving or turbimetry on soils of different cropping history. Journal of soil science, 44, pp 261 - 270.

• **JOURNEL A. G., (1977)** : Géostatistique minière. Centre de géostatistique. Ecole des mines, Fontainebleau, 737 p.

• **LE BISSONNAIS Y.& LE SOUDER C., (1995)** : Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur stabilité à la battance

et à l'érosion. Etude et gestion des sols, 2,1,pp 43 - 56.

Maireana species in the PUNJAB, Pakistan Halophite utilisation in agriculture Agadir. Morocco 538 pp.

• **MBAGWU J.S.C & BAZZOFFI P., (1998) :** Soil characteristics related to resistance of breakdown of dry soil aggregates by water-drops. Soil & Tillage Research 45, pp 133- 145.

• **MC DONALD & BNEDER, (1990) :** Etude de l'avant projet détaillé des extensions de Guerouaou et de Sebkhath Benziane et du

Réaménagement du Bas Cheliff.

• **SAIDI D. et al., (1999) :** Sensibilité de la surface des sols des plaines du Cheliff à la dégradation structurale. Revue EGS (France), Vol 6 n°1, 1999.

• **WEBSTER R., (1985) :** Quantitative spatial analysis of soil in the field. In advances in soil Science, Vol.3, Springer.