

LES FACTEURS INTRINSEQUES DE DEGRADATION DE LA STRUCTURE DE SURFACE DES SOLS DU BAS CHELIFF

DOUAOUI A. (1), BENBOUALI E. (1) et GAOUAR A. (2),

(1) Centre Universitaire de Chlef - chercheurs associés au CRSTRA

(2) CRSTRA

R E S U M E

La connaissance de l'état de dégradation actuelle des couches de surface des sols du Bas Cheliff nécessite la mise en évidence des différents niveaux de dégradation ainsi que les paramètres d'interaction. Il est aussi connu que cette dégradation est liée principalement à la salinité, et à d'autres caractéristiques physico-chimiques induites ou favorisant celle-ci. Parmi ces caractéristiques, ce sont celles qui sont les plus ou moins liées à la structure qui ont été retenues : la stabilité structurale estimée par le MWD, le pourcentage de sodium échangeable, la conductivité électrique, les argiles, les limons, les sables, la matière organique, le calcaire total et le pH. Pour une telle analyse, deux méthodes statistiques multidimensionnelles ont été appliquées (ACP et AFD). Les résultats obtenus montrent que ces sols atteignent souvent des niveaux de dégradation très avancés. L'ESP est le principal facteur de dégradation, suivi par les limons et la salinité. L'intervention de la matière organique dans l'amélioration de la structure n'est pas apparente.

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

THE INTRINSIC FACTORS OF THE SOIL SURFACE structure of Lower Cheliff

ABSTRACT

The information about the present state of the surface soil layers deterioration of the lower Cheliff's soil surface requires a deep study to evaluate the different levels of the deterioration as well as the closer attaching parameters to it. It is well known that this deterioration is linked particularly to the continuous progressive evolution of the salts, in addition to other induced physico-chemical features that encourage this latter. Among these features, those which are more or less related to the structure that were taken in account: the structural stability estimated by MWD, the exchangeable sodium percentage, the electrical conductivity, clays, silts, sands, the organic matter, the total limestone and the pH. For such study, low multidimensional methods had been applied (ACP, AFD) related results show that these soils often reach some very advanced deterioration levels. The ESP is the main characteristic of deterioration, followed by silts and saltiness. The intervening of the organic matter in the improvement of structure is not obvious.

Key words : Saltiness, deterioration, stability, ACP, AFD.

INTRODUCTION

La dégradation des sols du Bas Chéiff est principalement liée à la salinisation des terres dont l'importance dépend d'autres caractéristiques pédologiques tels que la texture, l'ESP et la salinité.

Les conséquences traduites par l'ensemble de ces paramètres se manifestent dans le sol par une augmentation de la conductivité électrique et une concentration saline élevée ainsi que par une dégradation de la couche de surface aboutissant à la formation d'une croûte de battance pouvant atteindre parfois plus de deux centimètres d'épaisseur. Cette croûte a une influence négative sur les échanges sol - atmosphère par sa nature imperméable, ce qui réduit fortement les échanges gazeux, diminue l'infiltration de l'eau, favorise l'évaporation et limite les chances de germination des semences. (LE BISSONNAIS Y. et al, 1989; ABU-AWWAD A.,1997; ABU-AWWAD A. et AKASHEH O.,1997)

L'objectif de ce travail consiste à évaluer le niveau de dégradation des couches de surface des sols du périmètre du Bas Chéiff, et d'apporter des éléments de réponse quant aux facteurs qui contribuent le plus à la dégradation de ces sols.

Les variables prises en compte sont : La texture pour son influence directe sur la salinisation et la structure (SCHWING, 1979; SCHAINBERG et LETEY, 1984; MBAGWU et BAZZOFFI, 1998), la salinité (CE) c'est la caractéristique principale des sols de la région (DURAND, 1958; BOULAIN, 1957; MC DONALD et BNEDER, 1990; INSID, 1997), la matière organique (MO) qui est déterminante dans la stabilité structurale (MONNIER, 1965; HAYNES, 1993; LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995), le calcaire total (CaCO₃) dont le rôle positif sur l'amélioration de la stabilité structurale est indéniable (HARIS et al., 1966, MBAGWU et BAZZOFFI, 1998), le Pourcentage du Sodium Echangeable (ESP) dont l'effet négatif sur la stabilité structurale est prouvé sans ambiguïté par son action très dispersante sur les argiles (EMERSON, 1967; DUCHAUFOR, 1977; DAOUD, 1999), la stabilité structurale par ma méthode du MWD a été retenue pour estimer la stabilité structurale (LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995; SAIDI et al., 1999), et enfin le pH qui constitue la synthèse des interactions chimiques entre les variables.

Une analyse en composantes principales et une analyse factorielle discriminante ont été appliquées à ces variables.

MATERIEL ET METHODE

Matériel d'étude

La parcelle d'étude d'une superficie de 100 ha fait partie de la station expérimentale de H'madena (INRAA). Le choix de cette parcelle se justifie par le fait que cette station a été déjà choisie à partir des années 50 comme représentative des sols du périmètre du Bas Chélif.

Les échantillons ont été prélevés à partir des couches de surface sur une profondeur de 20 cm.

Le nombre des échantillons ayant fait l'objet de mesures au laboratoire est de 29. le choix des coordonnées des prélèvements de ces derniers a été fait suite à l'établissement de la carte de la salure des sols de la parcelle.

Méthodes d'analyse

Les échantillons de sols prélevés ont été séchés à l'air, tamisés à 2 mm et analysés.

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 1/2,5, la Granulométrie par la méthode internationale avec l'emploi de la pipette de Robinson., le dosage du Sodium échangeable, la CEC par la méthode de Bower et l'utilisation du photomètre à flamme, la stabilité structurale par la méthode de LE BISSONNAIS, 1988.

RESULTATS ET DISCUSSION

Analyse en Composantes Principales

L'ACP est un outil statistique d'analyse de données pour mettre en évidence la structure des variables (leurs corrélations, leurs associations), les ressemblances et les dissemblances entre les individus (FENELON, 1985; PHILIPPEAU, 1986)

Il est toujours intéressant avant toute analyse en composantes principales de passer par les statistiques élémentaires en évaluant les moyennes, les écart-types des variables ainsi que les corrélations bivariées linéaires entre elles. Au vu de la nature différente des variables d'étude, l'ACP utilisée dans ce cas est calculée sur des données centrées réduites.

- Statistiques élémentaires

Le tableau 1 montre que la granulométrie est dominée par les argiles qui atteignent la moyenne de 45.11% suivie par les limons avec 40.27%. Les valeurs faibles des coefficients de variation 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 rendant ainsi 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 très élevée de cette variable. Le calcaire total avec une moyenne de 22.8% est modérément élevé, il présente une faible variabilité spatiale.

Tableau 1 : Moyennes et coefficients de variation 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 tableau 2, renferme les valeurs des coefficients linéaires entre deux variables. Le seuil de signification à 5% retenu est de 0.36. Il en ressort donc que toutes les valeurs supérieures à 0.36 ont une corrélation significative.

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 à 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.

- Les axes principaux

Le nombre des axes principaux à prendre en considération dépend des valeurs propres de chaque axe et des pourcentages correspondants. N'étant pas corrélés entre eux, la part de l'information expliquée par les axes principaux est tout simplement la somme de leurs pourcentages. L'axe 1 et l'axe 2 possèdent des valeurs propres très proches avec des pourcentages respectifs de 27.04% et 25.10%, (figure 1).

Le troisième axe avec une valeur propre de 1.49 donne un pourcentage de 16.57%. Le pourcentage cumulé de ces trois premiers axes atteint la valeur de 68.91%. Un pourcentage jugé suffisant pour une approche d'analyse des variables et des individus au vu de la dispersion élevée des données représentées surtout par les cinq premiers axes.

Le tableau 3 montre les quatre premières composantes principales où l'ensemble des variables sont bien représentées avec un pourcentage variant entre 73 % et 94 % (première colonne). 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.

Tableau 2 : Matrice de corrélation

	%A	%L	%S	CE	MO	CACO3	PH	%NA/CEC	MWD1
%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
CACO3	-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
MWD1	0.3X06	-0.40	0.12	-0.47	0.40	-0.09	-0.11	-0.70	1.00

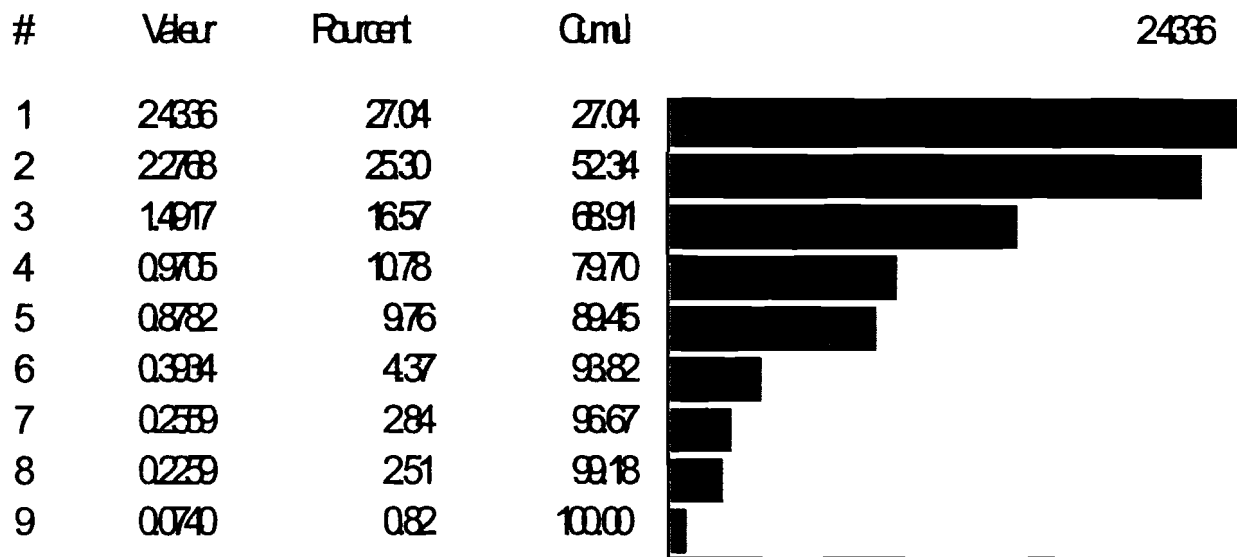


Figure 1 : Pourcentage des valeurs propres de l'ensemble des axes

Tableau 3 : Coordonnées et corrélations des variables sur les axes principaux

	Qlt	Axe 1		Axe 2		Axe 3		Axe 4	
		Coord	Cor	Coord	Cor	Coord	Cor	Coord	Cor
%A	0.94	-0.32	0.10	0.81	0.65	-0.23	0.05	0.36	0.13
%L	0.69	0.60	0.36	-0.29	0.08	-0.00	0.00	-0.50	0.25
%S	0.71	0.01	0.00	-0.84	0.71	0.06	0.51	0.01	0.00
CE	0.88	0.59	0.34	0.10	0.01	0.63	0.40	0.36	0.13
MO	0.80	-0.49	0.24	0.07	0.00	0.67	0.45	-0.33	0.11
CACO3	0.80	0.15	0.02	-0.59	0.35	-0.60	0.36	0.28	0.08
PH	0.73	-0.04	0.00	0.49	0.24	-0.47	0.22	-0.52	0.27
ESP	0.78	0.77	0.59	0.44	0.19	0.04	0.00	-0.07	0.00
MWD	0.84	-0.88	0.78	-0.21	0.04	0.09	0.01	-0.04	0.00

Les variables qui contribuent le plus à la formation de l'axe 2 sont liées à la granulométrie. Les sables en premiers suivis par les argiles. Le calcaire total a une corrélation de 0.35.

Les valeurs des coefficients de corrélation des variables : MWD, ESP, limons, salinité, sont pratiquement nulles dans l'axe 2 et celles des variables sables, argiles et CaCO₃ le sont aussi dans l'axe 1. Ceci révèle l'absence d'une corrélation entre ces deux groupes de variables.

L'axe 3 est formé principalement par la MO, la CE et le calcaire total. Au niveau de l'axe 4, aucune variable n'est bien expliquée.

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 Corrélations

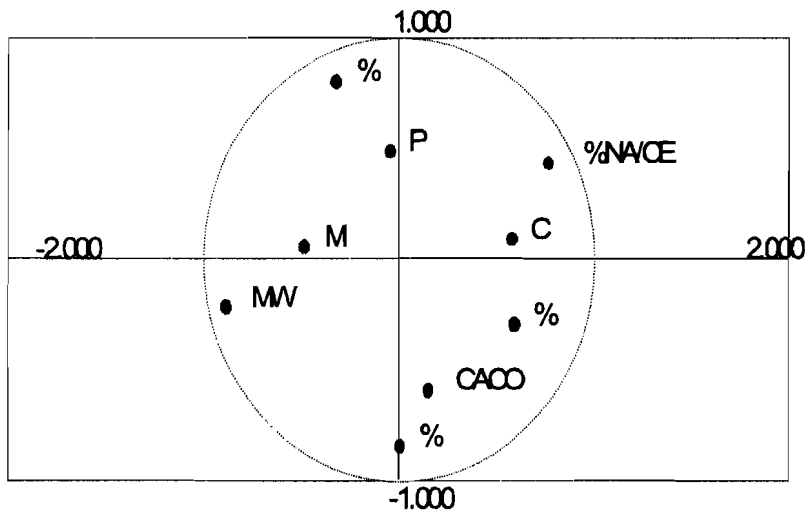
Les cercles de corrélation en combinant les axes deux à deux permettent d'associer l'information disponible et augmenter les chances d'interprétation.

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, présentent une bonne à moyenne 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 variable n'a aucune corrélation avec le premier.

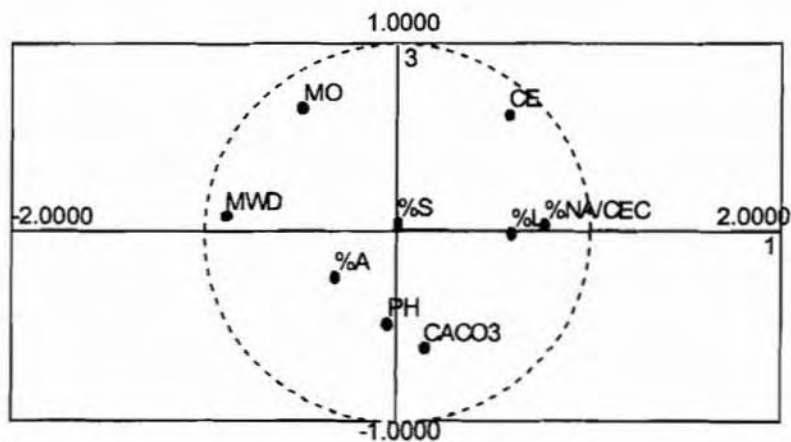
Il est donc clair que les variables qui participent à la dégradation structurale sont par ordre décroissant l'ESP, la salinité et les Limons, par contre, les Sables, le Calcaire et les Argiles n'ont pas d'influence sur cette dégradation.

Le plan formé par l'axe 1 et 3 avec 43.61 % d'information reste aussi important à interpréter d'autant plus que la MO, la CE et le CaCO₃ en plus du MWD, l'ESP et à un degré moindre les Limons sont assez bien représentés. Dans ce cas, l'opposition entre l'ESP, les Limons et de façon moins apparente la CE est encore retrouvée. La MO a un effet positif mais qui reste faible sur le MWD. Ceci veut dire que la CE n'est pas toujours synonyme de dégradation structurale et la MO peut parfois l'influencer et de façon positive.

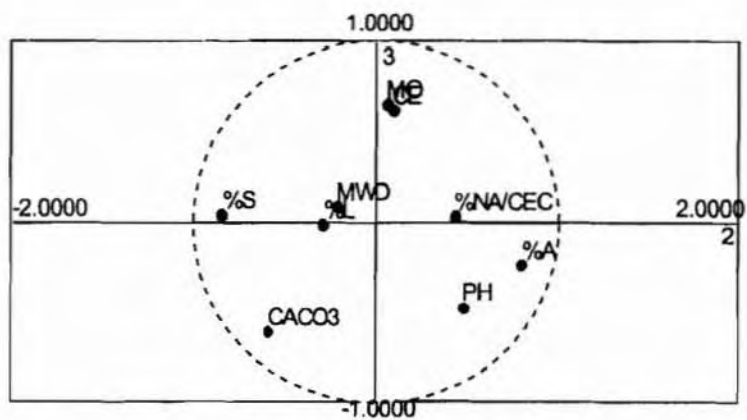
Le plan formé par l'axe 2 et 3 montre une évolution semblable entre la matière organique et la salinité ceci peut être expliqué, comme on peut le vérifier sur le terrain, par le développement de la végétation thallophte sur les sols salés non cultivés. L'opposition des argiles aux sables a été déjà établie par le coefficient de corrélation linéaire (- 0.72) et le plan principal.



(a)



(b)



(c)

Figure 2 : Les cercles de corrélation

Le Plan des Individus

Si on se maintient au plan principal, il apparaît clairement qu'il y a trois groupes de sol (figure 3) qui évoluent surtout par rapport à l'axe 1. Comme ce dernier est formé principalement par les variables traduisant la dégradation structurale, il est permis de dire alors, 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 1 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 quatre classes sur le plan principal (figure 2) illustre bien le rôle que joue la structure dans les sols de H'madena.

Les individus isolés qui ne peuvent figurer 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 MWD le plus élevé (à priori le plus stable) possède une MO élevée et surtout une teneur en sable très élevée.

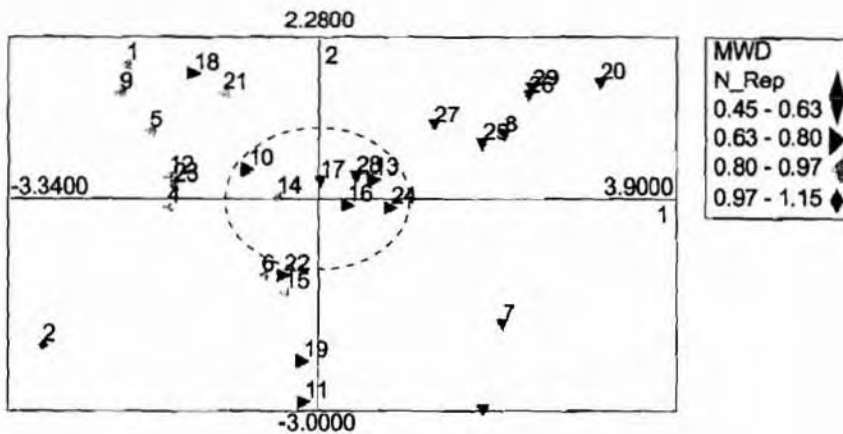


Figure 3 : Projection des individus sur le plan principal

Analyse factorielle discriminante (AFD)

- Analyse de la variance

La question qui se pose tout de suite quand on aborde une AFD est de savoir si réellement il y a différence entre les différents groupes considérés.

Ensuite, il va falloir déterminer les variables qui différencient (discriminent) ces groupes. Dans ce cas et suite à l'analyse en composantes principales (ACP), trois groupes ont été dégagés et certaines conclusions ont été déduites dans le cadre de cette analyse.

Les premiers résultats fournis par les analyses de variances monofactorielles montrent selon les probabilités attachées à chaque valeur de F de FISHER-SNEDECOR que plusieurs variables participent effectivement dans la différenciation des trois groupes (tableau 4). Ces variables selon cette analyse au seuil de 1% par ordre décroissant sont : l'ESP, le MWD, les limons, La salinité, le calcaire total. Au seuil de 5 %, il y a les argiles.

Tableau 4 : Analyse de la variance des différentes variables

Variable	Rg	im	Ab	CE	MO	aCO3	pH	ESP	MWD
F	3.59	7.31	1.82	6.65	2.46	5.64	1.84	48.88	25.67
Proba%	4.12	0.31	17.98	0.47	10.32	0.92	17.65	0.00	0.00

Il y a donc certes des différences selon ces variables entre les groupes, alors, serait-il nécessaire de faire une analyse discriminante ?

- Analyse factorielle discriminante proprement dite

Pour répondre à cette question, il faut tout d'abord regarder la colonne correspondante au pseudo F (tab.5). Il faut rappeler que le programme a fourni seulement deux axes discriminants représentant l'ensemble de l'information. La plus grande valeur des deux pseudo F est 86.03, elle est très largement supérieure à la plus grande valeur de F (FISHER SNEDECOR) qui est de 48.88. Cette différence, aussi importante entre ces deux valeurs, montre tout l'intérêt qu'il y a pour faire justement une analyse factorielle discriminante pour la simple raison qu'aucune variable ne peut expliquer la différence entre les trois groupes à elle seule.

Le tableau 5 montre que la statistique de WILKS est égale à 67.35 pour l'axe 1 et 22.68 pour l'axe 2 avec des probabilités respectives de 0.00 % et 0.39 %. Ces résultats montrent que les deux axes avec des probabilités inférieures à 1 % participent à la différenciation des groupes avec une discrimination plus prononcée pour l'axe 1.

Les coefficients de corrélation canoniques qui expriment les mesures de la relation qui existe entre les variables et les axes correspondant montrent que les variables expriment très favorablement la subdivision des trois groupes pour l'axe 1, cette relation est aussi conséquente pour l'axe 2 (tableau 5).

Tableau 5 : Résultats de l'AFD

Axes	val prprs	Inertie %	PseudoF	Wilks	ddl	proba	Corrélat
1	6.62	78.6	86.03	67.35	18	16Y0.00	0.87
2	1.80	21.4	23.44	22.68	8	0.39	0.64

Il apparaît donc (tableau 6) que les variables qui expriment le plus la différenciation des unités du sol sont par ordre décroissant : La salinité, l'ESP, le MWD et de façon moindre la matière organique et les limons. Les autres variables liées à l'axe 2 interviennent aussi dans cette discrimination mais de façon moins importante.

Tableau 6 : Corrélations entre les variables et les axes discriminants

Axes	Arg	Lim	Sab	CE	MO	CaC	pH	ESP	MWD
1	0.27	-0.56	0.26	-0.99	0.65	0.3	-0.22		0.95
2	-0.96	0.83	0.96	0.09	-0.75	0.95	-0.97	-0.19	-0.32

Les distances de MAHALANOBIS calculées entre les trois groupes (tableau 7) montrent que les groupes les plus différents sont les groupes 1 et 3 suivis des groupes 2 et 3 et enfin les groupes 1 et 2. Le groupe trois étant celui qui renferme les échantillons ayant la salinité, l'ESP les plus élevés et les MWD les plus faibles, représente les sols les plus dégradés. Par opposition, le troisième groupe représente les sols les moins dégradés relativement.

Tableau 7 : Distance de Mahalanobis

Groupe	1	2	3
1	0.000		
2	1.873	0.000	
3	2.629	2.330	0.000
	3	6	

Enfin, la classification selon les trois groupes déduite de l'ACP pour cette analyse (AFD) donne un pourcentage des individus bien classés de 100%. IL n'y a pas de changement dans l'affectation des individus aux trois groupes dans l'application de l'AFD et la classification effectuée par l'ACP a été confirmée.

L'existence de trois groupes d'individus veut dire qu'il y a trois populations différentes du point de vue statistique et trois unités de sol (zones homogènes) du points de vue pédologique.

A la lumière des résultats obtenus, il s'avère que les facteurs qui interviennent sur la dégradation structurale des couches de surface ne sont pas toujours les mêmes qui sont à l'origine de la différenciation des différents groupes.

Le pourcentage du Sodium échangeable est le facteur qui intervient le plus sur la dispersion des agrégats et par conséquent sur la structure. Toutefois, il reste que le lien trouvé entre lui et le MWD n'est pas aussi étroit qu'il ne l'était attendu. Ceci pourrait être expliqué par son action qui diffère selon ses teneurs dans le sol. En effet, il peut intervenir à partir de 10 %, voire dans certains cas particuliers dès 2 % (EMERSON, 1977) et ceci est d'autant plus vrai que la teneur en argile est plus importante. Il faut ajouter aussi son interaction avec d'autres facteurs tels que la matière organique et la salinité (CHEVRRY & ROBERT, 1993).

La corrélation entre la salinité et la stabilité pourrait être le fait d'un autre facteur tels que l'ESP qui augmente parfois avec la salinité, tout particulièrement lorsque les teneurs en argiles sont élevées (DAOUD, 1999). En plus, le processus d'action des sels est particulièrement complexe (CHEVRRY et ROBERT, 1993).

Le rôle des limons sur dégradation de structure est conforme à ce qui a été trouvé en bibliographie (GAUCHER, 1950 ; SCHWING, 1978 ; SHAINBERG et LETEY, 1984).

Paradoxalement, le rôle de la matière organique sur la stabilité structurale trouvé dans ce travail, même s'il est positif, ne répond pas à ce qui a été attendu au vu de la bibliographie consultée (MONNIER, 1965; TISDALL et OADES, 1982; CHURCHMAN et JATE, 1987 ; HAYNES, 1993 ; LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995; MBAGWU et BAZZOFFI, 1998). En fait, c'est surtout par rapport à sa nature et à son stade d'évolution que son action pourrait être expliquée (TISDALL et OADES, 1982; MALLOUHI, 1989; LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995).

CONCLUSION

La parcelle de H'madena a une texture plutôt fine dominée généralement par les argiles avec en moyenne 45.11 %, l'ESP et le pH dépassent parfois les valeurs critiques respectives de 15 % et 8.5. Les variables qui paraissent avoir une influence sur la stabilité structurale, selon les coefficients de corrélations linéaires sont : l'ESP, la salinité, les limons et la matière organique.

L'analyse en composante principale a montré que l'ESP en premier lieu, suivi par les limons et la salinité sont à l'origine de la dégradation des sols. Toutefois, la salinité n'est pas toujours synonyme de dégradation structurale. La matière organique n'a que de faible effet sur l'amélioration de la structure.

La projection des individus sur le plan principal a donné trois groupes répartis principalement selon leurs états structuraux allant des sols les plus dégradés vers les moins dégradés.

L'application de l'analyse factorielle discriminante justifiée par les résultats de l'analyse de la variance confirme le classement de l'ACP et montre que la différenciation entre les sols se fait principalement par la salinité, l'ESP, le MWD et de façon moindre la matière organique et les limons. Les distances MAHALANOBIS montrent que les groupes les plus différenciés entre eux sont les groupes 1 et 3. Le groupe 1 représente les sols les moins dégradés, le groupe 3 représente les plus dégradés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABU-AWWAD A. M., 1997** : Water infiltration and redistribution within soils affected by crust, *Journal of arid environments*, N°37 : 231-242.
- ABU-AWWAD A. M., AKASHEH O. Z., 1997** - Irrigation and soil surface management in arid soils with surface crust. *Journal of arid environments*, N°37 : 243-250.
- BOULAINÉ, 1957** : Les sols des plaines du Cheliff, Thèse de doctorat d'état, Université d'Alger, 582p.
- GAUCHER G., 1950** : Essais d'une représentation cartographique des facteurs de salure de la plaine de Relizane. *Bulletin du service de carte géologique de l'Algérie*, Série 3, 68p.
- CHEVERRY & ROBERT, 1993** : Salure des sols maghrébins – influence sur les propriétés physiques et physico-chimiques des sols. Répercussion des modifications de ces dernières sur la fertilité, notamment azotée, des sols. Rapport CEE, ENSA de Rennes, France, 8p.
- CHURCHMAN G. J. & TAKE K. R., 1957** : Stability of aggregates of different size grades in allophanic soils from volcanic ash in New Zealand. *Journal of soil science* 38. pp19-27.
- DAOUD Y., 1999** : Influence des conditions salines sur les propriétés physiques des sols des plaines du Cheliff. Séminaire National sur la Salinisation des Terres Agricoles en Algérie, Chlef le 01 et 02 Juin 1999.
- DUCHAUFOUR P., 1977** : Pédologie. Pédogénèse et classification, Masson, 477 p.
- EMERSON W. W., 1967** : A classification of soil aggregates based on their coherence in water. *Aust. J. Soil research* 5 : pp. 47 - 57.

- FENELON J.P., 1985** : Qu'est ce que l'analyse des données ?
Lefonen, 311p.
- HARRIS R. F. et al., 1966** : Dynamics of soil aggregation in : N. C. Brady (Ed.), *Advances in Agronomy*. Academic Press, New York, NY18, pp 107-169.
- LE BISSONNAIS Y. & LE SOUDER C., 1995** : Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Etude et gestion des sols*, 2,1,pp43-56.
- LE BISSONNAIS Y., BRUAND A., JAMAGNE M., 1989** : Etude expérimentale sous pluie simulée de la formation des croûtes superficielles : apport à la notion d'érodibilité des sols, OROSTOM, série Pédologie, vol.25 N°1-2.
- MALLOUHI N., 1989** : Etude de la dynamique de la matière organique dans les sols affectés par la salinité. *Tropicultural*, 7,3,90,90-97.
- 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 Chéiff.
- MONNIER G., 1965** - Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. *Ann. Agron.* 16(4), pp 327-340.
- PHILIPPEAU G., 1986** : Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ? Service des Etudes Statistiques, ITCF.
- SAIDI D., DOUAOUI A., LE BISSONNAIS Y., WALTER Ch., 1999** : Sensibilité de la surface des sols des plaines du Chéiff à la dégradation structurale. *Revue EGS (France)*, Vol 6, N°1, 1999.

TISDALL J. M. & OADES J. M., 1982 - Organic matter and water - stable aggregates in soils. *Journal of soil science*, 33, pp.141-163.

SHAINBERG I. & LETEY J., 1984 - Response of soils to sodic and saline conditions. *Hilgardia* 52. pp1-57.

SCHWING J. F., 1978 : Limites d'utilisation de l'indice de Henin et du rapport limon/argiles dans l'estimation de l'erosibilité des terres, d'après les résultats obtenus dans le vignoble alsacien. *Recherches géographiques, Strasbourg*, N° 9.