

**République Algérienne Démocratique et
Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de
la Recherche Scientifique**

**Université HASSIBA BENBOUALI
Facultés des sciences de l'ingénieur
Département d'hydraulique**

MÉMOIRE

En vue de l'obtention du diplôme de magister
Spécialité : aménagement et mise en valeur

**Méthode d'analyse multidimensionnelle et l'évaluation des sols de la
plaine du bas Cheliff
Evolution des sols et détermination des contraintes pour
l'aménagement intégré**

Jury

**Présenté
par
Zidane L.**

Président

Al Chamkhany Hussain, Professeur à l'université Hassiba
Benbouali Chlef

Directeur de thèse

Dr. Saaed Hammoudi A., maître de conférence à l'université
Hassiba Benbouali Chlef

Co-promoteur

Saidi D., chargé de cours à l'université Hassiba Benbouali Chlef

Examineurs

Dr. Meddi M., maître de conférence au centre universitaire de
khemis miliana

Dr. Hammouche B., chargé de cours à l'université de Blida

Promotion 2003 - 2004

INTRODUCTION	8
APERÇU BIBLIOGRAPHIQUE	10
I-1. LE SOL, SYSTEME POREUX DEFORMABLE	11
I-2. L'INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX SUR LA STRUCTURE	12
I-3. L'EVALUATION ET CONSERVATION DES SOLS	13
I-4. ETUDE DU DECLIN DE LA PRODUCTIVITE DES TERRES RESULTANT DE L'EROSION	14
I-5. EVALUATION DES RISQUES EROSIFS SUR LA BASE DES CARTES THEMATIQUES	15
I-6. LES SOLS SALES DANS LE MONDE	16
I-7. LA SALINITE DES SOLS DU BAS CHELIFF	16
I-7-1. ORIGINE DE LA SALINITE	16
I-8. DEGRADATION DE LA STRUCTURE DU SOL	18
I-8-1. L'ECLATEMENT TOTAL	19
I-8-2. LA DESAGREGATION MECANIQUE	20
I-8-3. MICROFISSURATION	21
I-8-4. LA DISPERSION PHYSICO-CHIMIQUE DES ARGILES	21
PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	23
II-1. SITUATION GEOGRAPHIQUE	24
II-2. CLIMAT	25
II-2-1. LA PLUVIOMETRIE	25
II-2-2. LA TEMPERATURE	26
II-2-3. AUTRES PARAMETRES	26
II-3. GEOLOGIE ET GEOMORPHOLOGIE	27
II-3-1. LES GLACIS COLLUVIONNAIRES	27
II-3-2. LA PLAINE ALLUVIALE	28
II-3-3. LES LITS DES OUEDS ACTUELS	28
II-4. LA PEDOLOGIE	28
II-4-1. LES SOLS PEU EVOLUES	28
II-4-2. LES VERTISOLS	29
II-4-3. LES SOLS CALCIMAGNESIQUES	29
II-4-4. LES SOLS HYDROMORPHES	29
II-4-5. LES SOLS SALSODIQUES	30
MATERIELS ET METHODES	31
III-1. L'ORIGINE DES ECHANTILLONS	32
III-2. PRESENTATION DU DISPOSITIF D'ECHANTILLONNAGE	32
III-2-1. APPLICATION DES INDICES	35
EVALUATION ET CLASSIFICATION DES TERRES	42
IV-1. CLASSEMENT FINAL	43
IV-2. CARTOGRAPHIE DES RISQUES	44
IV-3. EXPRESSION CARTOGRAPHIQUE DE L'EVALUATION	45
IV-4. APPLICATION ET DISCUSSION	45
IV-5. LA STATISTIQUE ELEMENTAIRE	46
IV-5-1. ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES SIMPLES	48
IV-5-2. LES VALEURS PROPRES	49
IV-5-3. LES COORDONNEES	49
IV-5-4. LES CONTRIBUTIONS RELATIVES	49
IV-5-5. RESULTATS : VALEUR PROPRE	49
IV-6-1. ANALYSE DES CORRELATIONS SIMPLES	50
IV-6-2. ETUDE DES INDIVIDUS	51
IV-6. LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES ET LEURS PROPRIETES	51
IV-7. L'ETABLISSEMENT DE LA CARTE DE SALINITE	54
IV-8. LA REPRESENTATION TRIDIMENSIONNELLE	56
IV-9. DESCRIPTION DES SOLS	57
IV-10 NATURE DES SOLS	60
IV-11 ETUDE COMPARATIVE DES TESTS DE COMPORTEMENT STRUCTURAL	60
IV-11-1. L'ANALYSE FACTORIELLE DES CORRESPONDANCES MULTIPLE (AFCM)	60
IV-11-2. TRANSFORMATION DES VARIABLES EN CLASSES	61
IV-11-3. RESULTATS	62

IV-11-3-1)	VALEURS PROPRES	62
IV-11-3-2)	ÉTUDE DES VARIABLES	63
IV-11-4.	REPRESENTATION GRAPHIQUE	64
IV-12-	DISCUSSION	65
IV-13-	CONCLUSION	66
IV-14-	RESULTATS ET INTERPRETATIONS	66
	CONCLUSION	72
	ANNEXE	76

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Evolution de la salinité des sols au niveau d'une parcelle du Bas Chellif	18
Tableau 2 : Pluies maximales journalières de l'année 1997 (station de H'madena)	25
Tableau 3 : Pluies maximales journalières de l'année 1997 (station de H'madena)	39
Tableau 4 : Classement finale	43
Tableau 5 : Résultats restreint	43
Tableau 6 : Statistiques générales de certaines caractéristiques physico-chimiques	48
Tableau 7 : Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques	48
Tableau 8 : Valeur propre et pourcentage d'inertie	50
Tableau 9 : coefficients de corrélations et contributions des variables actives	50
Tableau 10 : Analyse statistique des caractéristiques physico-chimique des sols de la zone d'étude	52
Tableau 11 : Analyse statistique des propriétés physiques (paramètre de comportement structural) des sols de la zone d'étude	53
Tableau 12 : La signification statistique entre la propriété physique	53
Tableau 13 : Relations statistiques entre les propriétés physiques et leurs caractéristiques chimiques	53
Tableau 14 : les propriétés physiques avec les caractéristiques physiques	54
Tableau 15 : coordonnées et corrélations des variables sur les axes principaux	62
Tableau 16 : valeurs propres et pourcentage d'inertie	63
Tableau 17 : Description des unités pédologiques	66
Tableau 18 : Statistique descriptive des caractéristiques physico-chimiques	69
Tableau 19 : Statistique descriptive des propriétés physiques (Stabilité structurale et perméabilité)	70

LISTE DES FIGURES ET CARTES

Figure 1 : Diagramme représentant les facteurs intervenant dans le phénomène d'éclatement total	20
Figure 2 : Situation de la région d'étude	24
Figure 3 : Diagramme Ombrothermique de la station de H'madena (1979-1992)	26
Figure 4 : dispositif d'échantillonnage	33
Figure 5 : Carte des unités morpho - pédologique homogènes de la zone d'étude (03 classes)	43
Figure 6 : Carte des unités morpho - pédologique homogènes de la zone d'étude (04 classes)	44
Figure 7 : Carte de salinité	55
Figure 8 : Représentation tridimensionnelle de l'altitude	56
Figure 9 : Evaluation des caractéristiques chimiques des sols de la zone d'étude	57
Figure 10 : Variation des teneurs eau à la limite de plasticité et de liquidité du UMH	57
Figure 11 : Le diamètre moyen de la distribution textural	58
Figure 12 : Evaluation moyenne des micro et macro- agrégat selon les unités morphologiques homogènes	58
Figure 13 : Evaluation des propriétés physiques des sols de la zone d'étude	59
Figure 14 : Projection des variables sur le plan principal de l' AFCM	65
Figure 15 : Carte des unités morphopédologiques homogènes (UMH)	68

Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail à :

mon père et ma mère

ma femme et mes enfants

*mon frère **M'hamed ZIDANE** défunt du service de la
nation*

Remerciement

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné la force, le courage, la santé et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Mes vifs remerciements à :

- *Monsieur SAAED A. H., maître de conférence au département de l'hydraulique à l'université Hassiba Benbouali pour avoir bien voulu encadrer ce travail ;*
- *Monsieur SAIDI D., chargé de cours au département de l'agronomie à l'université Hassiba Benbouali pour avoir bien voulu encadrer ce travail ;*
- *Professeur AL CHAMKHANY H., professeur à l'université Hassiba Benbouali de m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury ;*
- *Monsieur MEDDI M., maître de conférence au centre universitaire de Khemis Miliana et Monsieur HAMMOUCHE B., chargé de cours à l'université de Blida pour avoir accepté d'examiner ce travail.*

Mes remerciements vont également à :

Messieurs ACHITE M., BENBOUALI E., AISSAOUI S, MENDES AEK, TADJROUNI K., KELLOUCHE AEH, et HADDOUCHE I. attaché de recherche au CNTS d'Arzew, HATTAB M., maître assistant à l'université Hassiba Benbouali et à tous mes amis pour leur soutien moral et matériel.

Résumé

Ce travail est basé sur l'étude d'évaluation des sols du Bas Cheliff ; afin de restituer d'une part les terres à risques et d'autre part de cartographier les sols à haut potentiel de production.

Où on a fait appel à l'analyse factorielle des correspondances multiples (A.F.C.M.) permettant de réaliser les différentes liaisons entre les caractéristiques physico-chimiques.

Les résultats obtenus par l'A.F.C.M. ont montré qu'il y'a une relation étroite entre la salinité, taux de sodium échangeable d'un côté et la stabilité, la perméabilité d'un autre côté ainsi que quatre (04) unités de sols de comportement homogène ont été dégagées.

Mots clés : salinité, stabilité structurale, perméabilité, A.F.C.M., Bas Cheliff.

Abstract

The aim of this study is to point out and evaluate the degradation which faces the lower Chlef plain soils because of salinity problem and preparing the appropriate maps for that, therefore we used the statistical method such as multidimensional analysis method. To get the relationship which correlate among the physico-chemical characteristics.

The result which obtained by this method, pointed out that there are good relationships between salinity and aggregate stability and permeability under saturation, and show that there are four units of soils with similar behaviour.

Key words: salinity, aggregate stability, permeability, multidimensional analysis method, lower chelif plain.

INTRODUCTION

Les besoins alimentaires de la population sans cesse croissants, l'entrée de l'Algérie dans l'économie de marché et son intégration au commerce international imposent au secteur de l'agriculture l'intensification de la production agricole afin d'assurer la sécurité alimentaire et d'assurer la qualité du produits. Pour assurer la réalisation du programme de développement de l'agriculture, l'évaluation et la classification des terres sont les outils techniques indispensables pour la maîtrise, la gestion de l'espace foncier tant sur le plan d'aménagement urbain que sur le plan d'aménagement rural.

La nécessité de maintenir la fertilité des sols à long terme et de réduire les atteintes à l'environnement est un thème d'actualité, dans le cadre de cette prise de conscience, le problème de dégradation des sols est devenue une préoccupation majeure.

Les premières approches ont d'abord été ceux de l'observation du phénomène dégradation et donc de ses dégâts. Ensuite, l'optique change. Ils s'attachent de plus en plus à tenter de la réduire elle-même, à l'anticiper. Dès lors, des classifications sont élaborées dans le but de repérer des sols ou des régions à risques d'érosion selon divers critères tels que le profil du sol, sa texture et sa structure, la salinité, la pente et sa longueur ou la pluviométrie.

Les types de classifications variant selon les domaines de travail des chercheurs (géographie, météorologie, pédologie, agronomie,...etc.). Des travaux de DRS se sont multipliés pour mettre en commun les résultats de leurs recherches. L'originalité dans ces études est de déterminer à partir des cartographies de risque érosif émanant de différentes études, des unités homogènes à chaque région.

Devant le nombre de données d'analyses pédologiques sur la plaine du Bas Cheliff, nous avons tenté d'évaluer les terres des différentes parcelles afin de repérer

d'une part les terres à risque selon divers critères et pour permettre d'autre part de cartographier les sols à haut potentiel de production en vue d'une meilleure utilisation.

Devant ce constat, et l'ampleur du danger de la salinité qui menace les sols du bas Cheliff, il devient impératif de mettre en évidence les degrés de salinisation et les niveaux de dégradation de ces sols ainsi que les paramètres d'interaction, pour une meilleure mise en valeur.

La première phase de ce travail consiste à établir une carte de la répartition spatiale de salinité.

La deuxième phase consiste en une étude multiparamétrique par l'application de l'analyse factorielle des correspondances multiple (AFCM) aux données physico-chimiques des sols de la région pour mieux comprendre le phénomène de dégradation.

Dans ce contexte, ce travail a été orienté de manière à évaluer le niveau de dégradation des couches de surface des sols et les variables qui en sont les plus responsables dans un contexte spatial. Ceci nous a amené à structurer ce mémoire comme suite:

Chapitre I : *Aperçu bibliographique*

Chapitre II : *Présentation de la zone d'étude*

Chapitre III : *Matériels et méthodes*

Chapitre IV : *Evaluation et classification des terres*

Chapitre I

Aperçu bibliographique

Introduction

Dans ce contexte et pour contribuer à combler le déficit en données agro-pédologique, notre étude contribue à l'évaluation de la sensibilité des sols à la dégradation structurale reflétant ainsi la fertilité physiques des couches de surfaces.

I-1. Le sol, système poreux déformable

La structure du sol apparaît comme une condition de production déterminante, en agissant sur la plante à travers divers facteurs physiques : l'humidité, aération, température et résistance mécanique à la pénétration (**Russel.1949. Eavis.1972**).

La structure des couches de surface des sols cultivés évolue rapidement sous l'action des pluies et des irrigations. La nature et l'intensité de cette évolution dépend de nombreux facteurs à savoir les caractéristique des pluies, le degré de couverture du sol et les propriétés physico-chimique du matériaux constitutifs.

La définition proposée par MONNIER et al, 1981, considère la fertilité physique comme la plus ou moins grande facilité de créer et maintenir un état physique adapte, dans ces conséquences, aux systèmes de culture pratique. Un sol n'a donc pas une fertilité intrinsèque définitive, mais différentes fertilités dont l'évaluation passe par 3 étapes :

- 1- Définition de l'état physique et l'inventaire des actions susceptible d'engendre ou de modifier le système sol.
- 2- Recherche des critères de fertilité traduisant le rôle du sol dans l'obtention de maintien de cet état.
- 3- Utilisation de ces critères dans des procédures de jugement comme moyen pour y remédier aux différents problèmes agronomiques.

L'évolution de ces différentes variables dépend de 2 principales séries des facteurs liées au sol : le volume et la configuration de l'espace poral.

Ce sont les états d'humidité auquel correspondent globalement l'énergie de rétention de l'eau par la phase solide et le taux de saturation de la porosité au cours du cycle cultural.

Un réseau continu dans tout le profil cultural de pores relativement grande taille, susceptible d'accueillir le système racinaire et d'assurer l'évacuation de l'eau saturante, ce qui favorise le renouvellement de l'atmosphère interne du sol et le réchauffement des couches superficielles.

D'une interface sol - atmosphère fragmentaire et perméable dépourvue d'obstacles susceptibles d'entraver la levée, les échanges gazeux, la propagation de la chaleur et l'infiltration de l'eau.

I-2. L'influence des caractéristiques des matériaux sur la structure

Les recherches confirment que les caractéristiques des matériaux de surface sont responsables du déterminisme des différents processus de désagrégation et peuvent être considérées comme facteurs de la stabilité structurale, la composition granulométrique, la nature minéralogique des argiles, les cations échangeables, la matière organique et les électrolytes de la solution sol.

a) La fraction argileuse

La fraction argileuse est constituée de particules dont le diamètre n'excède pas 2 μm . Elle joue un grand rôle dans la genèse des sols, t'intervient comme agent de cimentation dans la formation de la structure et dans l'amélioration de leurs propriétés physico-chimiques. Les argiles, en fonction de leurs teneurs et de leurs natures minéralogiques, interviennent à différents niveaux. L'argile a la propriété de retenir l'eau et être par conséquent sujette au gonflement. Elle est aussi responsable de la cohésion du sol à l'état sec et sa plasticité à l'état humide. Par ailleurs l'électronégativité des argiles fixe les cations de la solution sol.

b) La fraction organique

L'effet de la matière organique est très remarquable quand à la mouillabilité, la cohésion et l'absorption (**Chassin, 1979 ; Valain, 1987 ; Le Bissonnais, 1988 ; Le Souder, 1990 ; Saidi, 1992**)

Des recherches menées sur des sols limoneux calcaires à différents niveaux de sodicité ont montré qu'une augmentation de la teneur du carbone organique entraînait une diminution de la dispersion des argiles dans tous les niveaux de sodalité avec une augmentation de la conductivité hydraulique à un certain taux de sodium échangeable et enfin, une diminution des forces ruptures (**Sharma et Hunddal, 1984**). La matière organique est considérée alors comme un facteur favorable à la cimentation des agrégats dans le cas des sols salsodiques, (**Tisdall et Oades, 1982 ; Chaney et Swift, 1984 ; Le Bissonnais, 1988, Saidi, 1992**) et dans le cas de la fertilité des sols agricoles (**Chassin, 1979**).

c) Les électrolytes

Il s'établit entre la solution du sol et le complexe adsorbant un équilibre dynamique. Cet équilibre concerne les ions fixés sur le complexe et les ions libres dans la solution dont la présence en quantité suffisante réduit le gonflement des argiles et renforce la cohésion des agrégats (**Boulaine, 1981 ; Valain, 1987 ; Saidi, 1992**).

I-3. L'évaluation et conservation des sols

L'analyse des échecs de nombreux programmes de conservation des eaux et des terres (BENI CHOUGRANE, BENI SLIMANE et GRAREM) a révélé, entre autres, des lacunes sévères dans les processus d'identification des causes et des conséquences de la dégradation des terres. Ces lacunes sont basées, non pas sur une analyse scientifique erronée, mais sur un point de départ qui ne tient suffisamment compte du point de vue d'évaluation des terres au sein du paysage.

Les études présentant des approches différentes basées sur l'identification de l'environnement sol se sont axées d'une part sur l'étude des relations entre la

dégradation des terres et les facteurs qui en sont responsables et d'autre part sur l'étude du déclin de la productivité des terres résultant de l'érosion. Les méthodes proposées rendent possible l'élaboration d'une stratégie de conservation des terres qui tiennent compte du savoir, des conditions du milieu.

L'érosion hydrique des sols agricoles est un phénomène de dégradation des sols présent dans les climats aride et semi-aride. Une des causes de ce cycle d'appauvrissement se retrouve au niveau de la vocation des sols. La cartographie thématique des sols est donc un outil important pour une meilleure conservation des sols. Une des approches de cartographie des risques d'érosion hydrique de sols agricoles est appliquée sur les terres des plaines du Cheliff. Elle se réfère aux indices de stabilité structurale par l'utilisation de différentes méthodes (Saidi, 1992), les autres sont dérivées des cartes géomorphologiques et ceux qui utilisent des fiches originales d'évaluation des risques d'érosion. Les résultats montrent que les évaluations de risques concordent et sont comparables avec la réalité. Ces outils constituent une aide à la décision pour les agriculteurs au niveau des types d'assolement et des techniques culturales à utiliser et de la détermination de la vocation optimale des sols.

I-4. Etude du déclin de la productivité des terres résultant de l'érosion

L'appréciation de l'importance des symptômes physiques, pas en termes physiques mais en termes financiers et/ou économiques reste une préoccupation des agriculteurs et des secteurs utilisateurs. Il se peut, en effet, que l'érosion, même accélérée par un changement des pratiques culturales et la battance impliquent des conséquences financières négatives pour l'utilisateur et pour la productivité.

Dans le Monde, l'appréciation des pertes financières et économiques dues à l'érosion est effectuée fréquemment dans le domaine de l'analyse de facticité des programmes de barrages, de DRS et de mise en valeurs des terres.

Des études récentes par la FAO, (Stocking, 1984; 1985 et 1986) ont eu trait au déclin de la productivité des terres agricoles à cause de l'érosion. Stocking (1984) a

démontré que la relation entre le déclin de la productivité et l'érosion cumulative est d'une forme exponentielle négative. Cette fonction est déterminée surtout par le sol et l'utilisation que l'on en fait, certains sols perdent leur capacité productive plus rapidement que d'autres, certaines cultures résistent mieux à la dénudation que d'autres ; la perte de la capacité de rétention en eau est irremplaçable alors que les éléments nutritifs perdus à cause de l'érosion peuvent être remplacés.

Au Zimbabwe (**Stocking, 1986**), les pertes en azote, phosphore et matière organique du sol sont déterminées principalement par le taux d'érosion et par les caractéristiques du sol. Des fonctions établies pour 2 058 événements de ruissellement ont permis le calcul théorique du coût de l'apport d'engrais nécessaire au remplacement de l'azote et du phosphore perdus. Ce coût a été estimé à 1.5 milliard de dollars américains par an.

L'analyse financière effectuée pour le Zimbabwe est très simplifiée, et la recherche actuelle a été dirigée vers la modélisation du système productif sous l'influence de l'érosion, permettant ainsi la prévision du déclin du potentiel

I-5. Evaluation des risques érosifs sur la base des cartes thématiques

L'érosion du sol se manifeste de manière préférentielle le long des pentes. Le relief est ainsi le facteur déterminant du processus d'érosion. Un relevé topographique sous forme d'une carte géomorphologique permet donc, de manière simple, une appréciation des risques érosifs avec la condition qu'une échelle de 1:5000 au minimum soit utilisée. Cette méthode ne donne pas d'estimation quantitative précise de matériel érodé. Son intérêt réside plutôt dans le fait qu'en peu de temps et avec peu de moyens, elle procure une image différenciée de la répartition géographique des risques érosifs et, ceci d'autant plus lorsque l'érosion s'avère être un problème dans la région et qu'aucune donnée n'est disponible. Elle peut encore être affinée si des informations supplémentaires et à d'autres niveaux sont relevées (des exemples sont donnés par **Vogt (1986)**). Les données sont ensuite directement utilisables pour des mesures concrètes de lutte anti-érosive (**Herweg 1988**).

I-6. Les sols salés dans le monde

Au total 955 millions d'hectares dans le monde sont affectés par les sels. La perte annuelle dans le monde par le phénomène de salinisation est de 20 millions d'hectares. Avec 270 millions d'hectares, l'agriculture irriguée représente 17% de la surface totale exploitée et fournit le 1/3 de la production mondiale (**Qureshi, 1993**). Dans les régions arides et semi-arides, le recours à l'irrigation est nécessaire, voir indispensable pour la production agricole. Malheureusement, cette technique a aussi pour inconvénient majeur d'entraîner la salinité des sols. Les statistiques montrent que 25 % de ces zones sont affectées par cette salinisation, généralement due à la remontée de la nappe jusqu'à la zone racinaire dans un délai de 10 à 50ans après la mise en place des aménagements hydro-agricoles (**Smedema, 1994**). Le stade ultime de cette dégradation est la stérilité du sol, parfois irréversible.

I-7. La salinité des sols du bas Cheliff

La région Ouest du pays, s'étendant de la frontière marocaine (plaines côtières de Temouchent) jusqu'à la haute plaine de l'Oued Cheliff (Khemis Miliana) en passant par le haut, le moyen et le BAS CHELIFF, la MINA, l'HABRA, SIG et autres très importantes plaines (SIDI BELABBES, ...) subissent une nette chute de rendement des cultures et une dégradation plus ou moins avancée de ses terres.

Certaines de ces plaines ont pour origine de salinité une salinisation primaire (géologie-géomorphologique et climatique), d'autres, une origine secondaire (anthropique) ou humaine par une pratique des irrigations et une exploitation agricole non raisonnée.

I-7-1. Origine de la salinité

Les facteurs initiaux de la salinité des sols de la plaine du Bas Cheliff sont relatifs à la nature des argiles marneuses de formation Helvétique, Tortonnaïenne et Sahélienne qui entourent la plaine. Ils constituent les sources primaires de la

salinisation. Ces formations géologiques marneuses, fortement érodées par les eaux de crues des versants de la zone étudiée, constituent les matériaux de base des sols de la plaine. Ces matériaux, emportés par les petits ruisseaux et oueds, se déposent sur les couches d'évaporites formées lors de période estivale; ainsi, l'on se retrouve avec une superposition de couches favorisant la formation des sols salés (INSID, 1998).

Derrière le massif calcaire de l'Ouersenis, sont rencontrés des formations géologiques du Trias, du Pliocène et Helvétique avec des intercalations de gypse à partir desquels les cours d'eau souterraine et de surface vont se charger en sels dissous et les déposer en partie dans les sols du Bas Cheliff.

Les versants du Dahra qui dominant la plaine au Nord, d'une orientation Est-Ouest, et datant du quaternaire et du Pliocène, sont aussi source de salinisation. Parmi les facteurs intervenants dans la salinisation des sols du Bas Cheliff.

La nappe phréatique

Au niveau de Merdjet Sidi Abed, Djdiouia et la région du piémont du massif du Dahra, la nappe phréatique se trouve à une profondeur de 1.5 à 2 mètres avec un assez fort taux de salinité (INSID, 1998).

a) Les eaux d'irrigation

Les sols sont irrigués à partir des eaux des oueds Rhiau, Chellif et Djdiouia qui ont une forte minéralisation présentant ainsi un faciès chimique chloruré sodique. La salinité moyenne de l'eau est de 1.2 à 3.2 dS/cm , le SAR est de 6 à 9 % , cette eau est classée C3S2 selon la classification USDA(1954)et est toujours élevée à cause d'autres apports plus salés(eaux de lessivage et remontée de la nappe).(INSID, 1998).

b) Evolution de la salinité

Sur la base des travaux de Peter et Ghoul, 1972 concernant une partie du Bas Cheliff et de SAIDI, 1985 sur la même partie (pour une superficie de 1000 hectares), il a été démontré que la salinité a pris de l'ampleur (tableau 1).

Tableau 1 : Evolution de la salinité des sols au niveau d'une parcelle du Bas Chellif

Classe de salinité (dS/m)	Superficie (ha)	1972 %	Superficie (ha)	1985%
0à4	1524	74.34	208	10.14
4à7	265	12.92	1450	70.73
7à16	155	7.56	136	6.65
>16	106	5.18	256	12.48

Source : Saidi (1985)

Le tableau montre clairement qu'il y' a effectivement augmentation de la salinité des sols.

I-8. Dégradation de la structure du sol

La dégradation de la structure des sols et plus particulièrement la formation des croûtes de surface et la prise en masse des lits de semence diminue l'infiltrabilité et augmente la cohésion avec des conséquences néfastes sur le plan agronomique (mauvaise levée des cultures, diminution du stockage de l'eau dans le sol, difficultés de travail de sol) et sur le plan environnemental (ruissellement et son cortège de conséquences, érosion, pollution, inondation) (**Bresson, 1994**).

Cette dégradation se trouve être une conséquence directe ou indirecte des effets néfastes de l'eau, ce phénomène se déroule en deux phases:

- Détachement des particules sous l'effet de l'eau,
- Transport de ces éléments par ruissellement

Par la suite, les pores de la surface du sol se colmatent aboutissant à la formation de croûtes superficielles appelées couramment croûtes de battance.

La dégradation des sols dans la région du Bas Cheliff entraîne une perte de leur fertilité physique et chimique par une salinisation secondaire et la formation des organisations pelliculaires de surface ou croûte de battance.

Quatre mécanismes peuvent être responsables de la désagrégation du sol par l'eau. Ce sont l'éclatement total dû à la rupture par compression de l'air interne piégé lors de l'humectation rapide, l'action mécanique due à l'énergie d'impact des gouttes de pluie ou d'irrigation par aspersion, microfissuration (éclatement partiel) due à la rehumectation lente par capillarité et la dispersion physico-chimique des argiles (**Boiffin, 1984; Le Bissonais, 1988; Le Bissonais & al., 1989; Le Souder, 1990; Le Bissonais & Le Souder, 1985**).

I-8-1. L'éclatement total

Il se produit lorsque les agrégats secs sont immergés dans l'eau ou rapidement réhumectés (Emerson, 1991; Henin, 1976), à partir d'une irrigation par submersion ou puits intense (Orage de printemps ou été) (**Emerson, 1991 ; Le Bissonais & Le Souder, 1995**). Ce phénomène d'éclatement total diminue lorsque la teneur en eau des agrégats augmente du fait de la diminution du volume d'air piégé. Les sols argileux sont donc moins sujet à l'éclatement du fait de leur porosité réduite et aussi par ce qu'ils retiennent plus l'humidité (**Henin, 1976; Vilain, 1987**).

La désagrégation par éclatement total produit des particules élémentaires et des microagrégats de petite taille (<0.2 mm) conduisant à la formation de croûte structurale continue (**Emerson, 1954**). Emerson, 1954 propose le diagramme suivant dans le quel il fait ressortir tous les facteurs intervenant dans le phénomène d'éclatement total. (Figure 1).

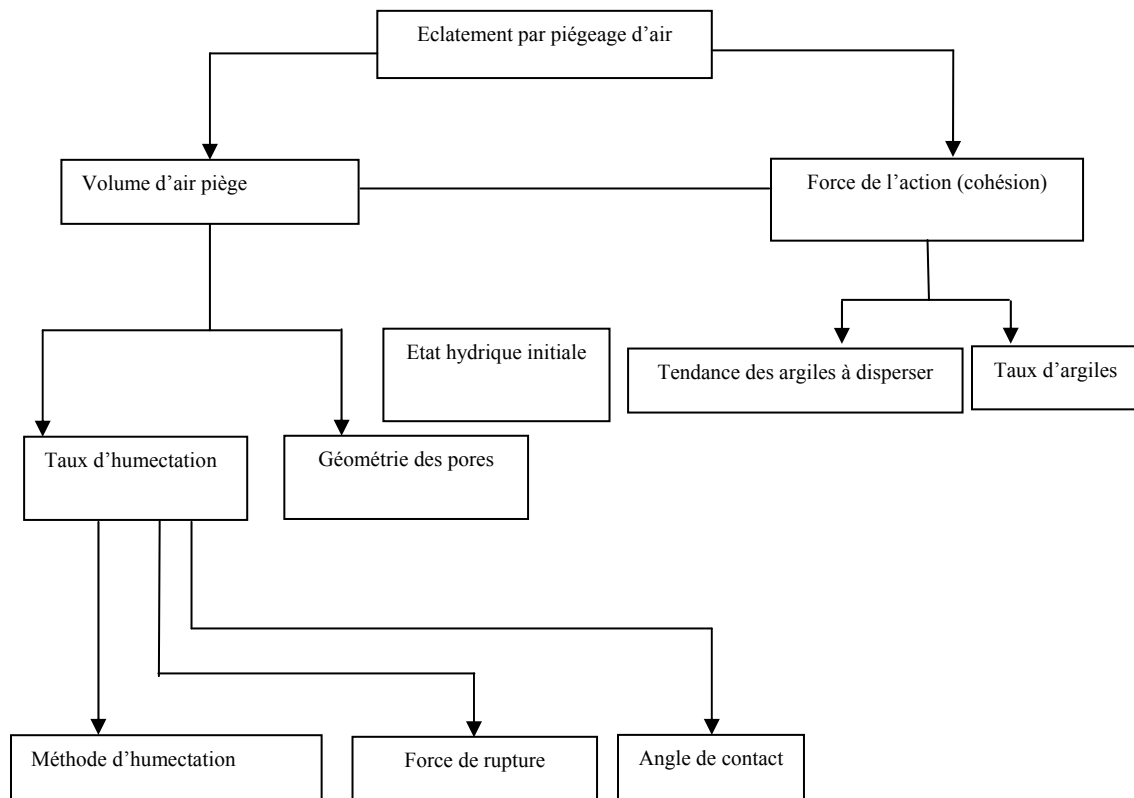


Figure 1 : Diagramme représentant les facteurs intervenant dans le phénomène d'éclatement total.

I-8-2. La désagrégation mécanique

Elle est provoquée essentiellement par l'impact des gouttes de pluie ou d'irrigation par aspersion (Boiffin,1984; Ben Hur & al.,1985; Le Bessonais,1990; Le Souder,1990; Shainberg,1992; Levy & al.,1992; Le Bessonais & SINGER, 1993). Cette énergie mécanique fait intervenir deux caractéristiques liées à la goutte de pluie qui sont : la taille et la vitesse de chute, dont la résultante est l'énergie cinétique, cette dernière joue un rôle prédominant sur les sols saturés (Emerson, 1954; Le Bissonais, 1990 ; Le Bissonais & Le Soudeur, 1995). En effet; lorsque une pluie se produit sur un matériau sec, la désagrégation par éclatement intervient de façon prédominante durant l'humectation jusqu'à saturation. Au delà, intervient surtout la désagrégation mécanique, se caractérisant principalement par le détachement de particules (splash) (Farell & al., 1974 ; Le Bissonais, 1990 ; Soutter & Musy, 1991 ; Le Bissonais & Singer, 1993).

I-8-3. Microfissuration

Elle est due également au phénomène d'éclatement, dit partiel, et ne se distingue du processus d'éclatement total que par son action et par la nature des particules qui sont effectivement beaucoup plus grossières (**Henin, 1976; Le Bissonais, 1988; Le Souder, 1990; Le Bissonais & Le Souder, 1995**).

Utomo & Dexter (1982) et BOIFIN (1984) ont remarqué lors d'alternance humectation – dessiccation, que les mottes et les agrégats de la surface du sol se fragmentent, ce qui entraîne l'individualisation des microagrégats et l'affinement progressif de la surface du sol.

Nous pouvons dès lors avancer que la microfissuration est un mécanisme dû aux alternances d'humectation et de dessiccation. Or, ce processus est habituellement interprété comme étant la conséquence des phénomènes de gonflement et de retrait des sols argileux (**Hilalia, 1988 ; Le Bissonais, 1990**).

I-8-4. La dispersion physico-chimique des argiles

Ce processus caractérise en particulier les sols argileux qui permettent la distinction des phénomènes d'éclatement. L'agrégat immergé dans l'eau subit d'abord un éclatement puis les particules argileuses se diffusent lentement en solution. Sur le terrain, les argiles se dispersent, migrent en profondeur et tendent à occuper les pores formant ainsi une structure continue.

La dispersion dépend de la taille de la valence des cations présents, qui peuvent former des ponts entre les particules chargées négativement. Elle est surtout liée à la présence du sodium échangeable (caractéristique des sols salins), le magnésium et à la concentration des électrolytes (**Tisdal & Oades, 1982; Youcef & al., 1987; Helalia & Lety, 1988; Le Bissonais, 1988**) Alors Que L'ion Calcium Favorise La Stabilité (**Shainberg, 1992**).

Enfin, la plaine du Bas Cheliff a fait l'objet de plusieurs études pédologiques basées surtout sur la classification et la caractérisation des sols de cette région. Néanmoins, l'aspect salinisation des sols et dégradation structurale a été négligé au vu de l'importance de ces phénomènes dans la région. En effet, très peu d'études ont concerné l'aspect salinité sans pour autant prendre compte l'aspect dégradation de la structure du sol.

Chapitre II

*Présentation de la
zone d'étude*

II-1. Situation géographique

La région d'étude est située au Nord-Ouest de l'Algérie, elle fait partie du grand bassin versant du Cheliff, elle se trouve à trente cinq kilomètres à vol d'oiseau de la Méditerranée et à 250 km d'Alger (Figure 2).

La zone d'étude est située dans la partie la plus occidentale du périmètre du Bas Cheliff, s'étend sur une superficie de 85.50 ha.

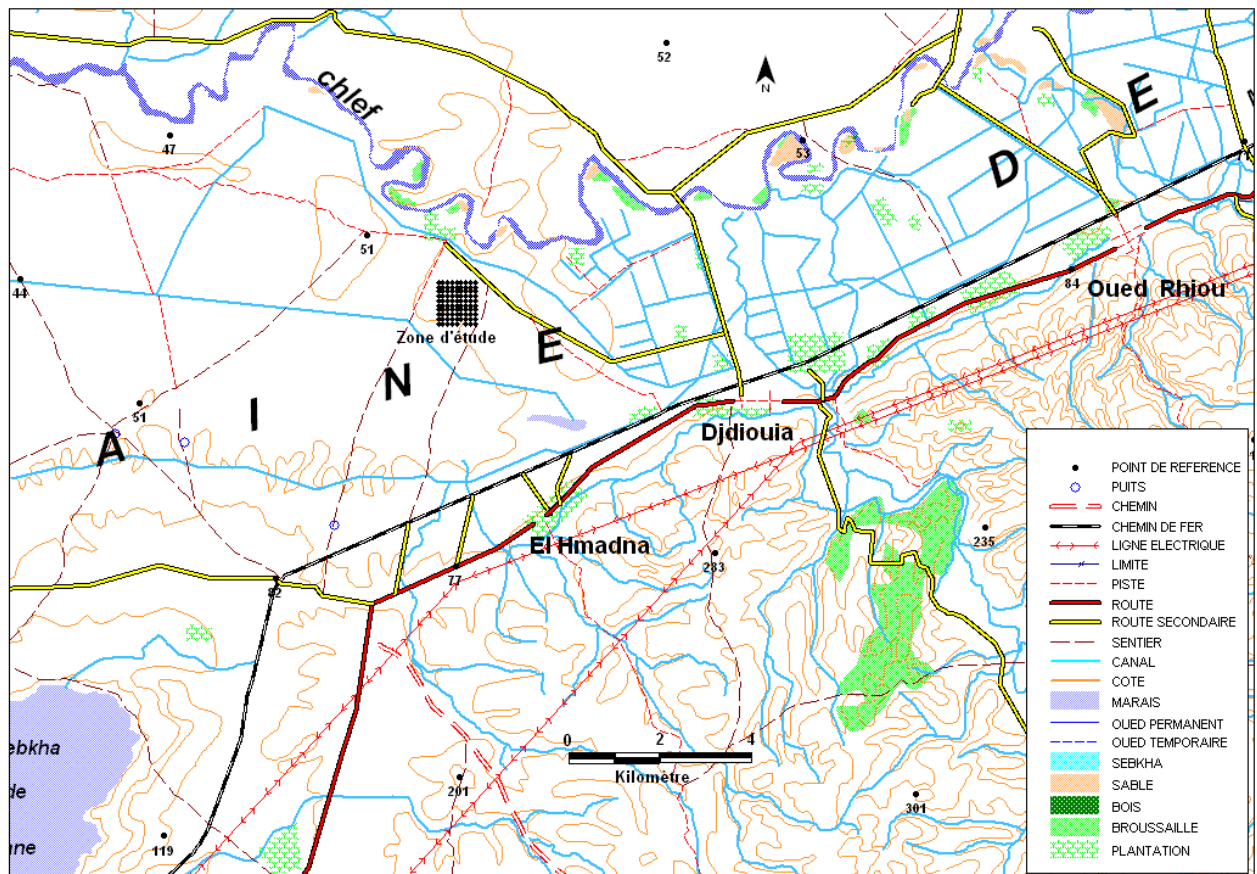


Figure 2 : Situation de la région d'étude

II-2. Climat

II-2-1. La pluviométrie

La région d'étude a connu durant la dernière décennie des cycles de sécheresse s'étalant de 1987 à 1990 et de 1992 à 1995.

En effet, l'analyse de la pluviométrie au niveau de la station de H'madena et pour la même période montre que depuis 1993, il n'y a pas eu de pluie sur les mois de Juillet et Août, ce qui confirme que l'influence directe sur la salinité du sol par lessivage des sels n'a pas eu lieu.

Généralement, la pluie tombe sous forme d'averses de courte durée donc de forte intensité causant ainsi des inondations en quelques endroits de la plaine. Le tableau 1 montre que durant l'année 1997, six mois de l'année présentent un pourcentage de pluies maximales journalières par rapport aux pluies mensuelles supérieures à 50%. Le mois de Février qui devrait être un mois pluvieux avec une intensité de pluie plus ou moins régulière puisque, faisant partie de la période hivernale, présente 96.77% Pmax / Pmens, ce qui correspond à une seule journée de pluie. Le mois d'Août, quant à lui, montre un nombre de journées de pluie plus élevé que certains mois de la période censée être plus pluvieuse avec 8 jours de pluie par mois.

Tableau 2 : Pluies maximales journalières de l'année 1997 (station de H'madena)

Mois	pluie max./24 h	Pluie mensuelle	% pluie maximale/ pluie mensuelle	nombre de jours de pluie
Janvier	23.10	42.10	54.87	11
Février	3.6	3.72	96.77	01
Mars	00	00	-	00
Avril	60.40	97.15	62.17	12
Mai	4.90	7.80	62.28	04
Juin	0.7	0.70	100	01
Juillet	00	00	-	00
Août	3.9	13.75	28.36	08
Septembre	13.20	28.50	46.36	07
Octobre	55.40	77.80	71.21	08
Novembre	50	97.35	51.36	18
Décembre	6.80	23.30	29.18	08

Le diagramme Ombrothermique de la station de H'madena entre 1979 et 1992 (Fig.3) montre que la période s'étalant entre le mois de Mai et la mi- Octobre (5.5 mois) est une période sèche.

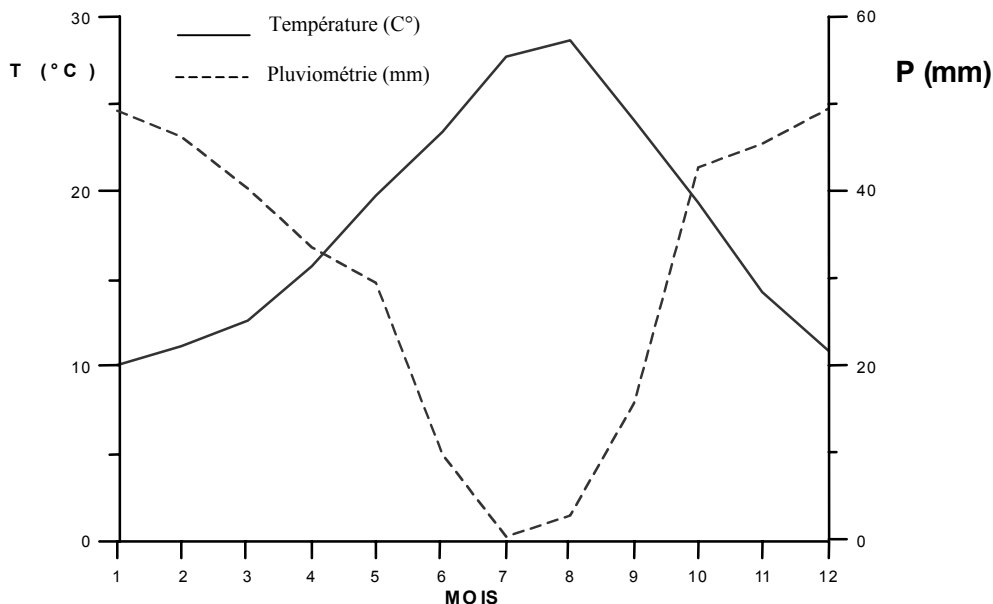


Figure 3 : Diagramme Ombrothermique de la station de H'madena (1979-1992)

II-2.2. La température

Une température élevée est enregistrée aux mois de Juillet et Août au niveau de la station de H'madena (fig.3). Elle atteint 28 °C sous abri durant le mois d'Août, ce qui correspond à une forte évaporation et une remontée capillaire de la nappe phréatique qui se trouve parfois à un mètre de profondeur. La température moyenne la plus faible égale à 10°C est enregistrée durant le mois de Janvier.

II-2.3. Autres paramètres

L'humidité de l'air, le vent, la durée d'exposition au soleil, le brouillard etc. ... sont des paramètres qui ont une grande influence sur le comportement des sols et des végétaux au niveau de la zone d'étude. L'accent est mis sur les paramètres pouvant jouer un rôle sur la salinisation des sols.

a) L'humidité

L'humidité relative de l'air est pratiquement supérieure à 50 %. Elle peut compenser à un certain degré l'absence ou la rareté des précipitations en favorisant le développement des plantes. Elle est importante pendant la saison hivernale avec souvent un pourcentage souvent supérieur à 75%. Elle est plus faible pendant la saison sèche mais reste tout de même assez élevée et s'articule autour de 50%.

b) Les vents

La vitesse du vent dans la région d'étude varie entre 13 et 33 Km/h jouant un rôle sur la dégradation mécanique du sol et sur l'amplitude de la température. Les variations sont considérables dans la zone où le couvert végétal est absent.

c) L'évapotranspiration (ETP)

Elle est définie comme étant la valeur maximale possible de l'évaporation dans des conditions climatiques données. Elle résulte de deux phénomènes, l'un physique ; l'évaporation, l'autre biologique : la transpiration.

L'évapotranspiration potentielle estimée selon la formule de PENMAN est de 1939 mm/an. Seulement les pluies tombées prennent une valeur de 279,3 mm/an. Notons que les précipitations efficaces sont estimées à 94,8 % des pluies tombées, ce qui indique que, celles-ci tendent à ruisseler avec une faible infiltration (INSID, 1997).

II-3. Géologie et géomorphologie

La plaine du Bas Cheliff est un synclinal traversé par le lit de l'Oued Chellif. Elle est comblée d'alluvions du quaternaire et encadrée au Nord et au Sud par des piémonts de l'âge Miocène et Pliocène (tertiaire) qui lui fournissent le matériau par ruissellement et érosion. On y rencontre :

II-3-1. Les glacis colluvionnaires

Ces glacis bordent la plaine particulièrement au Sud du périmètre. Ils sont constitués par des matériaux en provenance des calcaires du Miocène supérieur qui

domine la plaine, le glacis est assez étroit avec des pentes de 3 % à 5 %. La texture des sols est moyenne avec des graviers et des pierres par endroit.

II-3-2. La plaine alluviale

La plaine alluviale du Bas Cheliff date principalement du Rharbien. Les alluvions sont d'une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres, ils sont constitués par des matériaux originaires des bassins versants du Cheliff, de l'oued Rhiou et de l'oued Djediouia où dominant des schistes et des marnes du Miocène et du Pliocène, souvent riches en sels. Ces alluvions sont principalement des argiles et des limons souvent à caractère salin.

L'oued Rhiou et l'oued Djediouia forment des cônes de déjections assez étendus en contact avec la plaine du Bas Cheliff.

II-3-3. Les lits des oueds actuels

Les lits d'oueds sont encaissés dans la terrasse alluviale du Rharbien à un niveau inférieur à 10 mètres. Les bords sont très escarpés et très abrupts.

II-4. La pédologie

Les principaux sols rencontrés dans le Bas Cheliff sont :

II-4-1. Les sols peu évolués

Les sols peu évolués d'apport alluvial : Ce sont des sols dont les caractéristiques physico-chimiques sont très variées au vu des conditions différentes de leurs dépôts et de leurs migrations.

Leur granulométrie peut être argileuse, limoneuse ou sableuse. On les rencontre le plus souvent sur les terrasses des lits de l'oued. Ils sont généralement profonds. Leur superficie est de 17 km².

Les sols peu évolués d'apport colluvial : ces sols se localisent sur les bordures de la plaine à la rupture de pentes entre les piémonts et les glacis. On les retrouve aussi au niveau des cônes de déjection des oueds tels que Oued Rhiou et Oued Djedouia. Ils sont caractérisés le plus souvent par des dépôts de cailloux et de graviers à la surface et en profondeur du profil. Leur texture peut être très variée.

II-4-2. Les vertisols

Les vertisols sont riches en argiles gonflantes (smectite). Ils se définissent comme des sols à profil homogène ou irrégulièrement différencié, par suite aux mouvements vertiques par gonflement et rétraction respectivement en périodes humides et sèches. Ils présentent souvent le caractère salin. Leur superficie est de 15.63 km².

II-4-3. Les sols calcimagnésiques

Ces sols sont présents le long des limites Nord et Sud de l'aire d'étude. Ce sont des sols d'apport alluvial et colluvial. Ils sont plus ou moins différenciés et présentent parfois des accumulations calcaires continues sous forme d'encroûtement et de croûte. Leur superficie est de 53.13 km².

II-4-4. Les sols hydromorphes

Ce sont des sols profonds avec un drainage imparfait dû à la position basse qu'ils occupent formant généralement des dépressions fermées telles que les sols de la GAA. On les rencontre un peu partout dans le Bas Cheliff. Leur superficie est de 29.68km².

II-4-5. Les sols salsodiques

Les sols salsodiques appelés auparavant halomorphes sont définis comme étant des sols dont l'évolution est influencée par la présence de sels solubles et du pourcentage du sodium échangeable. Lorsque la conductivité électrique dépasse les 4 dS/m par la méthode de la pâte saturée ils sont appelés sols salés. Souvent dans le Bas Cheliff, la présence des sels est tellement importante qu'ils deviennent apparents à l'examen visuel sous forme d'efflorescences salines.

Il faut rappeler que souvent plusieurs caractères relatifs à plusieurs classes se retrouvent dans le même type de sol, tels que le caractère salin, vertique et hydromorphe. Leur superficie est de 12.6 Km².

Chapitre III

Matériels et méthodes

III-1. L'origine des échantillons

Les sols de la plaine de Cheliff sont formés par des alluvions du quaternaires (Gaucher, 1954 ; Boulaine, 1957, 1959). Se sont des sols en majorité peu différenciés, plus ou moins calcaires, de texture variable, parfois hydromorphe et salés. La majorité des sols des plaines du Cheliff appartiennent aux classes des sols vertiques, calcimagnésiques, isohumiques et peu évoluées (CPCS, 1967) tandis que la classe des sols salsodiques se rencontrent au niveau du Bas Cheliff.

Cette étude est focalisée principalement sur les sols limoneux et argileux avec en arrière plan les problèmes de dégradation qui affecte les sols des plaines du Cheliff.

L'étude et la caractérisation des système pédologique comme celle du comportement physique des sols ont subi au cours de ces dernières années une certaines évolution que nous essayerons de reconstituer et de comparer de façon très schématique.

Ce travail que nous avons entrepris doit passer par un certain nombre de phases majeures qui constituent autant d'étapes nécessaires à la recherche d'une meilleure connaissance de ces sols.

III-2. Présentation du dispositif d'échantillonnage

Le dispositif d'échantillonnage est illustré sur la figure 4. La localisation des 86 points d'observation a été établie selon un quadrillage régulier aux nœuds d'une grille à mailles de 100m de côté.

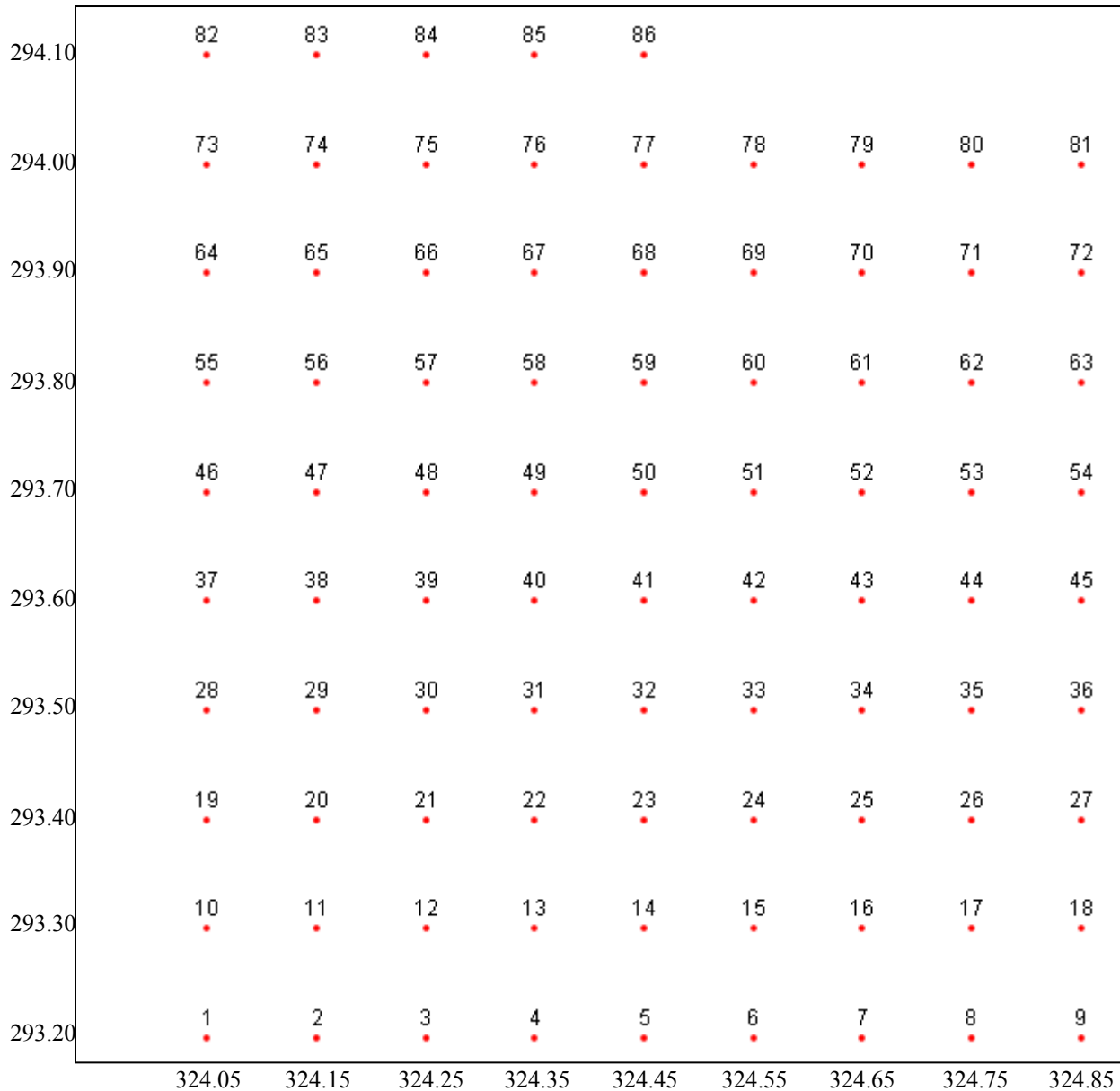


Figure 4 : dispositif d'échantillonnage

Les principales étapes de cette étude sont :

Etape 1 : Collecte des données pédologiques du secteur de référence,

Etape 2 : Sélection des variables de propriétés et de caractérisation physico-chimiques afin d'effectuer l'analyse factorielle des correspondance simple et multiple pour regrouper les sols en unité morpho pédologique homogène,

Etape 3 : Application de la méthode paramétrique pour l'évaluation des terres.

Durant cette première étape, nous avons sélectionné la zone du Bas Cheliff et nous avons inventorié un certain nombre d'échantillons de ce secteur. Quatre vingt six (86) échantillons qui ont été prélevés des couches superficielles entre 0 et 20 cm selon un échantillonnage systématique.

La deuxième étape a pour but d'inventorier les variables qui seront prises dans l'analyse descriptive et dans l'étude paramétrique. L'analyse granulométrique après décarbonatation (les argiles, les limons et les sables), la détermination de la texture, le pH du sol, la conductivité électrique de l'extrait dilué, le taux de matière organique et le calcaire total du sol sont les principaux variables de caractérisation et sont considérées comme des éléments de réponses satisfaisants vis à vis du problème posé. Les déterminations granulométriques ont été faites avec décarbonatation, après dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium. Le carbonate de calcium est déterminé par volumétrie au calcimètre de Bernard. Le carbone est analysé par la méthode Anne. Le pH est mesuré dans une suspension terre/eau de 1/2.5 et la conductivité électrique sur l'extrait de la pâte saturée. (Voir annexe)

Il est clair qu'un comportement défavorable d'un sol n'est qu'une résultante aux actions que subit ce sol. Les résultats des tests de stabilité structurale et la perméabilité sont les variables qui caractérisent des effets de comportement. Nous avons pu réunir, les résultats des tests de Le Bissonnais, 1996 sous forme de la DTPR afin d'avoir la plus grande étendue possible dans l'exploitation des résultats car à partir de la DTPR, nous pouvons calculer le diamètre moyen pondéral (MWD) par l'application de la moyenne arithmétique, l'indice d'instabilité structurale qui est calculé comme étant le rapport entre fraction fine et la fraction grossière et enfin l'indice d'agrégation pseudo textural. La perméabilité a été mesuré comme étant la vitesse d'écoulement des eaux dans un milieu saturé dans une colonne verticale. Les formules de calcul de ces paramètres sont :

a) Diamètre moyen pondérale (Mean Weight Diamètre) (MWD)

$$\text{MWD (mm)} = E (F_n, D_n) \dots \dots \dots (1)$$

F_n : Proportion de l'échantillon résiduel de la fraction n .

D_n : Diamètre moyen de la taille de classe n .

b) Instabilité structurale

$$I_s = \text{fraction} < 250 \mu\text{m} / \text{Fraction} > 250 \mu\text{m} \dots \dots \dots (2)$$

c) Indice d'Agrégation Pseudo texturale (Deboodt et al, (1961))

$$IPTA = (MWD - MWD_t) * 100 / X - MWD_t \dots \dots \dots (3)$$

MWD : diamètre moyen pondéral

MWD_t : diamètre moyen pondéral de la distribution granulométrique des particules primaires en mm.

X : diamètre moyen maximum de la taille de l'agrégat initial = 4 mm.

Justification du choix des paramètres

L'idéal serait de prendre tous les paramètres qui interviennent dans le comportement et le fonctionnement du sol. Ceci est malheureusement fonction de la disponibilité des données.

La couche de surface : ce choix est justifié pour plusieurs raisons

- C'est à travers cette couche que s'effectuent les échanges entre l'atmosphère et le reste du sol.
- Elle est très sensible à la dégradation (battance, salinité, tassement...)
- C'est une zone déterminante pour la plante.

III-2-1. Application des indices

Les indices de stabilité structurale qualifient les risques érosifs. Ils sont dus aux effets défavorables des caractéristiques du sol (texture, matière organique...). Plus ils sont élevés et plus les risques le sont moins. L'indice d'instabilité calculé en utilisant la DTPR, la perméabilité du sol, les analyses de sol constituent les paramètres de l'évaluation.

La conductivité électrique (CE)

C'est la caractéristique principale des sols de la région (**Durand, 1958 ; Boulaine, 1957 ; Mc Donald Et Bneder, 1990 ; INSID, 1997**). 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 (**Monnier, 1965 ; Haynes, 1993 ; Le Bissonais 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. 1966, Mbagwu et Bazzoffi, 1998**). Ce rôle est particulièrement important dans les sols de la région d'étude.

Le pH

Il constitue la synthèse des interactions chimiques entre les variables. Dans le cas de cette étude, il est élevé. En plus c'est un paramètre très facile d'accès.

La stabilité structurale

Elle nous renseigne sur l'aptitude du sol à résister aux différents paramètres de dégradation et donc de l'état structural du sol (**Henin et Monnier, 1956; Emerson, 1976; Le Bissonais et Le Souder, 1995**).

La perméabilité

C'est la propriété qui traduit la plus ou moins grande facilité de circulation de l'eau dans le sol (**Hellel, 1980; Vilain, 1987**). Dans le sol formé d'agrégats, l'eau risque de provoquer leur désagrégation et colmatage partiel. La perméabilité dépend donc de la stabilité structurale. Par ailleurs pour évaluer la stabilité, on mesure la vitesse de filtration (**Henin, 1976; Vilain, 1987**).

$$K_s = Q \times L / A \times H \dots\dots\dots (4)$$

K : conductivité hydraulique en cm/h

Q : Volume d'eau percolé pendant temps T en cm^3

L : longueur de la colonne de sol traversée Q en cm

H : Hauteur de la solution en cm

A : surface de la colonne tester en cm^2

T : temps de percolation (T = 1 heure).

III) Etape 3

L'analyse multidimensionnelle

Les outils d'analyses descriptives (AFC_{simple} et AFC_{multiple}) sont justifié par l'avantage qu'elles offrent d'une part le traitement dans le même plan des données, les individus en ligne et les variables en colonne pour regrouper les échantillons sols en unité morpho pédologique homogène et d'autre part, l'AFCM permet le codage des variables numériques en modalités où il serait possible de mettre en évidence des liaisons non linéaires entre les variables et augmenter la richesse des résultats (Escofier et Pages, 1990).

En plus la répartition des variables en modalités (classes) permet la distinction non seulement entre les individus en général mais aussi en fonction de l'importance de leurs valeurs plutôt qu'une valeur moyenne globale de la variable. En effet, la sodicité, la salinité, la matière organique ou une variable quelconque peut n'avoir d'effet sur la stabilité structurale qu'à partir d'un certain seuil et par conséquent, cette influence peut ne pas être apparente. Ces avantages ne peuvent être obtenus par une ACP ou AFC simple.

Méthode d'évaluations des terres

Il existe de nombreuses méthodes d'évaluation et de classification des terres dans le monde. Les plus utilisées sont celle de la méthode FAO et celle la méthode paramétrique.

1. Méthode FAO

La nécessité d'établir un cadre pour l'évaluation des terres est apparue des 1970. De nombreux pays avaient déjà élaboré leur propre méthode, rendant ainsi difficile toutes collaborations ou consultations entre experts.

En 1972, un premier débat au niveau international a permis de définir une méthode générale d'évaluation des terres (FRAME WORK FOR Land, Evaluation), ayant une valeur référentielle. Il s'agit du modèle FAO. Dans ce modèle, certains principe, et concept sont énoncés. Il propose en outre, la démarche à suivre pour évaluer et classer les aptitudes des terres. Ce modèle à donc ceci d'essentielle qu'il permet l'élaboration de système d'évaluation adaptés à des contextes physiques et socio-économiques donnés (**Morsli, 1985**).

2. Méthode paramétrique

Dans cette méthode, le concept de base consiste à mettre en évidence par une relation simple l'évaluation entre les facteurs et les caractéristiques physico-chimique du sol.

En se basant sur des études similaires par Storie,1954 ; Riquier, 1970 ; Sys & Frankart, 1972, nous avons estimé que la note attribué peut être considérer comme le produit de plusieurs facteurs, chacun d'eux exprime un paramètre spécifique.

Nous avons abouti d'après les résultats sur la combinaison des différents facteurs à une formule numérique dont le principe consiste à attribuer une note reflétant un jugement explicite permettant de classer les sols. Au cours de l'évaluation des individus, nous attribuerons à chaque facteur suivant l'ordre de dominance une note maximale. Les notes de différents facteurs sont ensuite totalisées pour atteindre une note globale interprétant ainsi la valeur réelle de la sensibilité de chaque individu. Une des deux attitudes pouvant être adopté par l'évaluateur lors de l'attribution des notes à savoir :

- Utilisation de la méthode additive consistant en une sommation des différentes notes.
- Utilisation de la méthode d'indexation (index compris entre 0 et 1).

Il semble que cette dernière méthode ait un caractère trop restrictif (**Hallaire**) car lorsque un facteur limitant absolu (empêchant une mise en valeur) est pris en considération, il est noté (0) et par voie de conséquence, elle annule la relation et ce quelque que soit les autres caractéristiques intrinsèques du sol.

Certains auteurs, comme Marin & La Flèche (1972), prennent ainsi position en faveur de la méthode multiplicative. Ils considèrent que cette méthode rend davantage compte de la réalité (**Morsli, 1985**).

a) Caractérisation des différents paramètres

Six paramètres ont été retenus, chacun estimant une composante de la dégradation du sol. Les différents paramètres sont regroupés dans le tableau 3. Le choix des coefficients attribués à chaque paramètre (tableau 3) repose sur les principes suivants :

1. le sol a une importance prépondérante par rapport au substrat, l'interface sol atmosphère
2. les paramètres sont hiérarchisés selon les valeurs du coefficient de corrélation et il a été accordé une importance aux paramètres mesurés qu'aux paramètres estimés.

Tableau 3 : Pluies maximales journalières de l'année 1997 (station de H'madena)

Stabilité structurale et perméabilité	0.35
Réserve organique	0.25
Réserve calcique	0.15
Salinité sodicité	0.15
Texture superficielle	0.10
Note Totale	Indice : 1.00

a-1) Diamètre moyen pondéral de la MWD, LE BISSONNAIS, 1995 (indice 0.10)

M W D (mm)	INDICE
< 0,4	0.00
0,4 - 0,8	0.03
0,8 - 1,3	0.06
> 1,3	0.10

a-2) L'instabilité structurale du sol, Saidi et al, 1999 (indice 0.06)

IS	INDICE
< 0,3	0.06
0,3 - 0,8	0.04
0,8 - 1,4	0.02
1,4 - 2,0	0.01
> 2	0.00

a-3) L'indice d'agrégation pseudo texturale Deboot et al 1961 (indice 0.07)

IPTA	INDICE
< 10	0.00
10 - 25	0.03
25 - 40	0.05
> 40	0.07

a-4) La perméabilité saturée du sol, Henin, 1977 (indice 0.12)

Ks (cm/h)	INDICE
< 0,1	0.00
0,1 - 0,5	0.02
0,5 - 2	0.04
2 - 6,5	0.08
>6,5	0.12

a-5) La réserve organique, Méthode Anne (indice 0.25)

Mat. Org. %	INDICE
< 1	0.00
1 -2	0.10
2 -4	0.15
>4	0.25

a-6) La réserve calcique, Méthode au calcimètre de Bernard (indice 0.15)

CaCO ₃ (%)	INDICE
<0,3	0.00
0,3 - 10	0.05
10 - 25	0.10
> 25	0.15

a-7) Salinité – Sodicité (0.15)

La conductivité électrique de l'extrait 1/5, méthode électrique (8 points)

Sodicité, le pourcentage du sodium échangeable (0.07)

CE (dS/m)	INDICE	ESP (%)	INDICE
0 – 0.6	0.08	0 -5	0.07
0.6 – 1.2	0.06	5 -8	0.05
1.2 – 2.4	0.04	8 -16	0.03
2.4– 6.00	0.02	16 -25	0.01
> 6.00	0.00	> 25	0.00

a-8) Texture superficielle (0.10)

Selon le triangle établi par le groupe d'étude des problèmes de pédologie appliquée (GEPPA, 1983) et selon le triangle de relation entre la stabilité structurale et la composition granulométrique de l'INRA Sciences du Sol (84) Montfavet.

Texture superficielle	INDICE
ALS / A /AS	0.10
ALS / AL / SA / AS	0.08
LAS /LA /LSA /LS /SAL	0.04
L /LL	0.02

A : Argileuse

LSA : Limono sablo argileux

AL : Argilo limoneuse

ALS : Argilo limono sableuse

AS : Argilo sableuse

LAS Limono argilo sableuse

LA : Limono argileuse

LS : Limono sableuse

LL : Limoneuse fin

L : Limoneuse

SAL : Sablo argilo limoneuse

SA : Sablo argileuse

Chapitre IV

*Evaluation et classification
des terres*

IV-1. Classement final

Le total est comptabilisé pour chaque échantillon, nous avons obtenu des indices qui varient de 0.3 à 0.85. Pour illustrer ces valeurs, nous avons regroupé les points selon trois modalités (Faible, Moyenne et Forte) vis à vis de la dégradation structurale (tableau 4).

Tableau 4 : Classement finale

Total des indices	Classes	Sensibilité
< 0.55	1	Forte
0.55 – 0.625	2	Modérée
>0.625	3	Faible

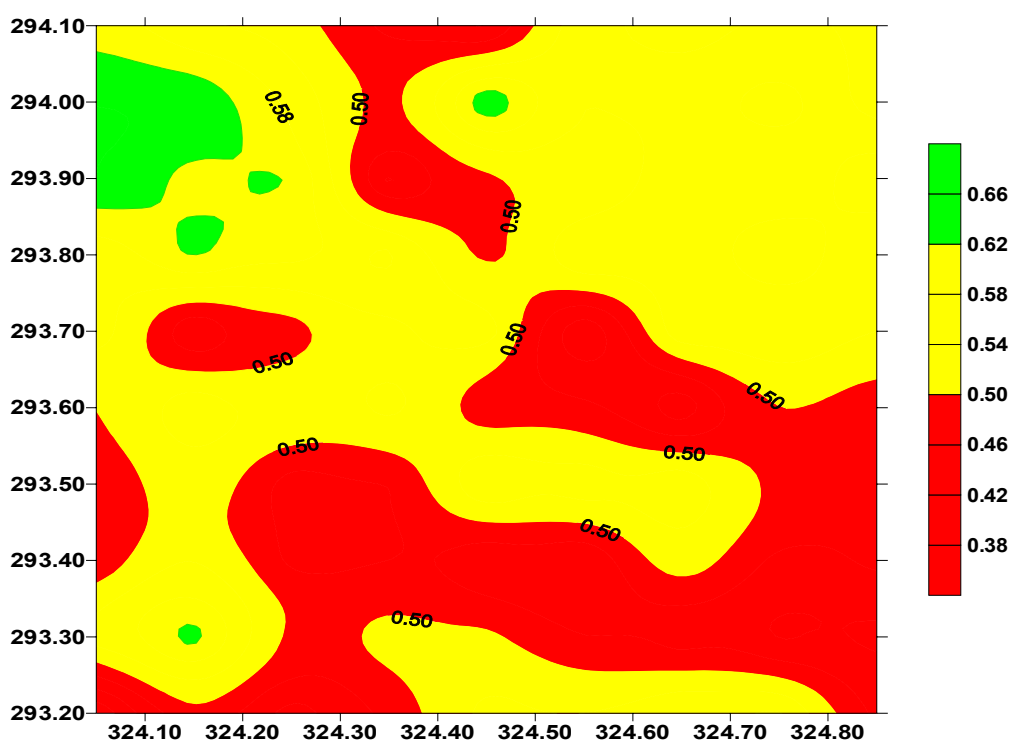


Figure 5 : Carte des unités morpho - pédologique homogènes de la zone d'étude (03 classes)

Ensuite, nous avons choisi d'élargir le spectre de la dégradation en fonction d'un certain nombre de classes (supérieur à 3 classes) pour une meilleure interprétation. Quatre classes ont été retenues (tableau 5).

Tableau 5 : Résultats restreint

Total points	Classe	Sensibilité	Couleur de la cartouche
< 0.55	1	Forte	Rouge
0.55 – 0.625	2	Modérée	Orange
0.625 -0.725	3	Faible	Verte
> 0.725	4	Très faible	Bleu

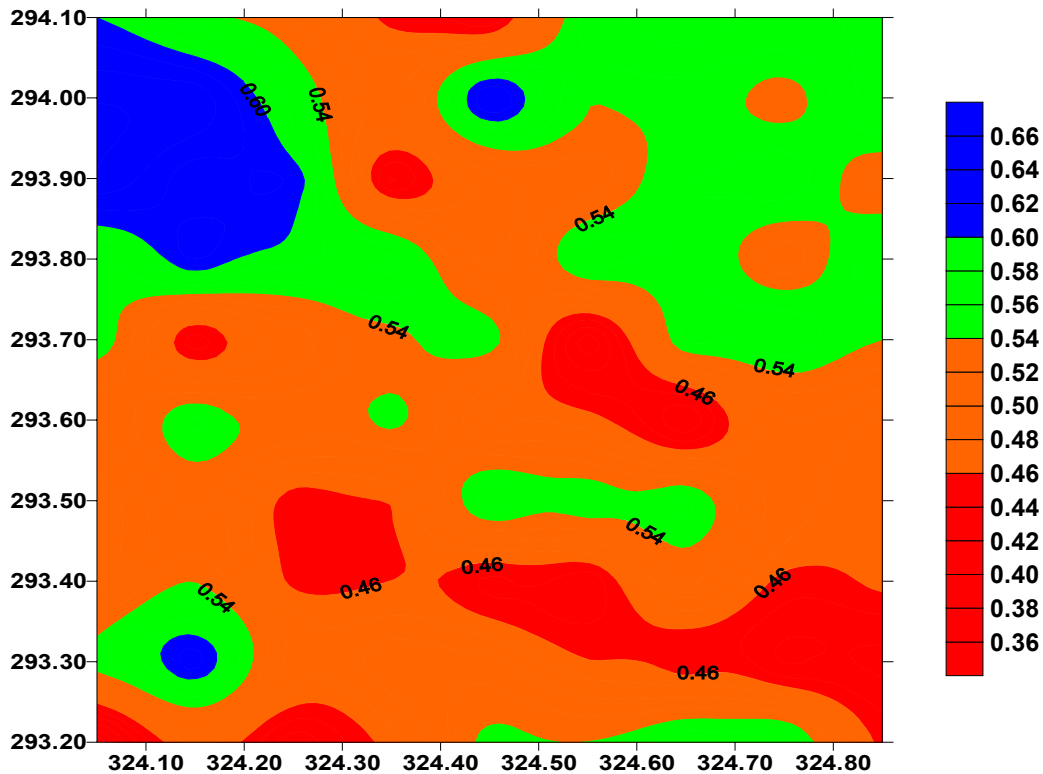


Figure 6 : Carte des unités morpho - pédologique homogènes de la zone d'étude (04 classes)

IV-2. Cartographie des risques

Afin de réunir l'ensemble des indices qui possèdent les mêmes valeurs de notation et de les représentées selon une image fidèle, nous avons procédé à l'établissement d'une carte des zones homogènes. Cette carte de la sensibilité est obtenue à l'aide du logiciel *Surfer version 6.0* qui met en évidence la méthode cartographique utilisée. Dans notre contexte, nous avons opté pour la méthode cartographique qui permet d'extrapoler la variabilité en des points non échantillonnés. Pour cela, nous avons choisi sur ce logiciel, la méthode du Krigeage.

L'étude de nombreux phénomènes naturels qui se développent dans l'espace repose nécessairement sur des données acquises ponctuelles. Ces connaissances spatiales discrètes sont insuffisantes et d'une interprétation difficile. Pour y remédier, une reconstitution en tout point l'intensité du phénomène à partir de ces données, c'est l'interpolation des valeurs.

Plusieurs méthodes d'interpolation existent dans notre travail, la méthode retenue est celle de Krigeage.

Le Krigeage est une technique de prédiction permettant l'estimation avec précision les propriétés de la variable étudiée en des sites non échantillonnés (Walter, 1990). C'est une méthode probabiliste d'interpolation spatiale, elle est probabiliste dans la mesure où elle considère que le champ spatial de la variable étudiée est une fonction aléatoire (Voltz, 1986).

La méthode paramétrique à caractère régionale a été choisie pour évaluer la sensibilité des couches de surface du sol à la dégradation structurale des plaines du Cheliff. Au total, six paramètres ont été pris en considération dont deux paramètres représentent les variables de propriétés et de comportements du sol, les quatre autres représentent les variables de caractérisations physico-chimiques du sol.

IV-3. Expression cartographique de l'évaluation

La carte de sensibilité des sols à la dégradation est présentée à l'échelle de 1/8.000, afin de gommer la variabilité locale du milieu et de lui conférer un caractère synthétique ; les informations concernent le comportement du milieu et non le fonctionnement en un point précis.

Le système de notation est établi sur un indice de 1.00, il définit 4 classes d'amplitude variable, dont les couleurs sur la carte permettent une bonne visualisation : les zones où la sensibilité est très forte sont rouge alors qu'à l'opposé les zones au sein desquelles la sensibilité à la dégradation structurale est faible à très faible apparaissent en bleu. Ainsi, quatre classes de convenance et d'aptitude à la production ont été dégagées.

IV-4. Application et discussion

Le système de notation appliqué, s'il permet une bonne représentation du fonctionnement physique du sol, présente néanmoins des imperfections liées à la

grande complexité et à la variabilité spatiale et temporelle des facteurs physico-chimiques de la stabilité structurale. L'exemple est que le système de notation de l'effet de la salinité sodicité dans les sols du bas Cheliff n'est pas forcément le même qui est appliqué dans la notation des autres secteurs car il existe un écart très important entre les valeurs de conductivité électriques entre chaque secteur.

Enfin, il faut assurer aussi une étude à la parcelle qui doit replacer l'information dans le contexte sol remanié et non remanié au niveau du paysage et du bassin versant pour mieux identifier d'une part la nature des risques liées à la stabilité et d'autre part de préconiser une solution adaptée au problème.

Mais d'une manière générale, la carte de sensibilité des sols à la dégradation structurale est un document de référence pour entreprendre des investigations complémentaires sur le transport solide et sur la formation des croûtes de surface qui gênent la levée des cultures. Cette carte précisera les zones sensibles, et les zones critiques.

A l'avenir, une multiplication des données spatialisées par l'intermédiaire de S.I.G. (Système d'Information Géographique) et des différents paramètres du milieu (climat, occupation du sol...) vont sûrement permettre d'améliorer la modélisation de la sensibilité des sols à la dégradation structurale et à l'infiltration.

La stabilité structurale est définie par l'aptitude d'un sol à résister à l'action dégradante de l'eau. L'évaluation de ce paramètre est liée à plusieurs facteurs qui modifient le comportement de sol de l'état non dégradé à l'état dégradé. Pour étudier l'influence de chaque facteur de cohésion des sols sur la stabilité structurale nous allons utiliser la méthode statistique descriptive qu'est l'analyse factorielle des correspondances simples.

IV-5. La statistique élémentaire

Les résultats statistiques montrent que la texture des sols est très variable avec des écarts importants entre les différents teneurs des constituants élémentaires. Au vu

des valeurs parfois élevées pour les argiles et les limons et les valeurs faibles des sables, la texture peut être argileuse ou limoneuse mais jamais sableuse. La valeur minimale pour les sables est seulement de 6.06 %. Ceci nous permet de dire que la richesse du sol en particule fine pourrait compromettre sérieusement l'état structural des sols de cette région.

La valeur moyenne de la salinité indique une salinité élevée. Toutefois la valeur minimale de 0.65 dS/m seulement montre la présence de sols non salés. Le coefficient de variation de la salinité traduit des teneurs très variables en sel d'un sol à un autre pouvant atteindre des valeurs maximales excessivement salées rendant compte d'une dégradation très poussée sur tous les plans.

Les valeurs extrêmes du calcaire total montre que les sols de la région sont bien pourvus pour être parfois fortement calcaire tels que le cas de la valeur maximale qui atteint les 26 %. Le coefficient de variation de cette variable reste faible (19.11 %), la répartition spatiale du calcaire total est donc relativement homogène.

La teneur moyenne de la matière organique est de 2.44 %. La valeur minimale de 1.27 % témoigne d'une légère pauvreté de certains sols. Dans ce cas la sensibilité des sols à la dégradation structurale est prononcée.

Le pH d'une valeur moyenne est de 8.12 indique la prédominance des sols alcalins. La valeur la plus faible est de 7.80, alors que la valeur la plus élevée égale à 8.32 fait que certains sols sont très alcalins.

La valeur moyenne du taux de saturation en sodium est de 28.64 %, est plus supérieur au seuil critique de 15 % à partir de laquelle les sols rentrent dans la catégorie des sols à alcali. Cependant, la valeur très faible du coefficient de variation (11.09 %) indique l'inexistence d'une dispersion dans les valeurs de cette variable chimique. La valeur maximale de 38.50 % en est un exemple.

Tableau 6 : Statistiques générales de certaines caractéristiques physico-chimiques

	A (%)	L (%)	S (%)	Ced dS/m	pH	MO (%)	CaCO ₃ (%)	ESP (%)	MWD mm	GMD mm	Rs (%)	MIS	Ks Cm/h	IPTA	HIS
Moy	31,29	46,83	24,31	2,44	8,12	2,36	19,30	28,64	0,90	0,43	1,20	0,92	4,23	21,51	3,37
Min	20,90	34,00	6,06	0,65	7,80	1,27	5,62	24,09	0,43	0,15	0,25	0,13	0,25	6,72	1,31
Max	48,20	59,57	43,65	8,68	8,32	3,60	25,64	38,50	1,62	0,88	3,91	2,63	10,30	44,35	15,14
E.T	6,31	6,25	7,36	2,22	0,13	0,59	3,69	3,18	0,29	0,17	1,01	0,56	2,59	9,16	2,40
CV (%)	20,16	13,34	30,27	90,99	1,56	24,93	19,11	11,09	32,31	39,05	84,02	60,59	61,12	42,61	71,10

Tableau 7 : Matrice de corrélation entre les variables physico-chimiques

	A	L	S	Ced	pH	MO	CaCO ₃	MWD	GMD	Rs	MIS	Ks	IPTA	ESP
A	1,00													
L	-0,17	1,00												
S	-0,26	-0,61	1,00											
Ced	0,07	0,25	-0,36	1,00										
pH	0,07	0,13	-0,02	-0,04	1,00									
MO	-0,16	0,13	-0,08	-0,24	0,05	1,00								
CaCO₃	0,02	0,04	-0,08	-0,11	-0,07	0,11	1,00							
MWD	-0,22	0,17	0,05	-0,50	0,22	0,76	0,22	1,00						
GMD	-0,11	0,09	-0,11	-0,01	0,28	0,62	0,29	0,65	1,00					
Rs	0,11	0,25	-0,36	0,97	-0,08	-0,27	-0,20	-0,54	-0,08	1,00				
MIS	0,05	0,09	0,00	0,13	-0,28	-0,47	-0,48	-0,55	-0,82	0,22	1,00			
Ks	-0,63	0,13	-0,02	-0,16	-0,09	0,30	0,24	0,31	0,31	-0,21	-0,31	1,00		
IPTA	-0,14	0,24	-0,23	-0,01	0,33	0,68	0,29	0,71	0,94	-0,08	-0,78	0,36	1,00	
ESP	-0,04	0,21	-0,23	0,83	-0,09	-0,13	-0,04	-0,35	0,05	0,79	0,07	-0,08	0,03	1,00
HIS	0,02	0,08	-0,13	0,01	0,00	-0,25	-0,23	-0,21	-0,25	0,09	0,28	-0,09	-0,21	-0,04

IV-5-1. Analyse factorielle des correspondances simples

Analyse factorielle des correspondances simples est une méthode statistique essentiellement descriptive, très proche de l'ACP. Le but de cette méthode est de réaliser un ou plusieurs graphiques à partir du tableau de données en réduisant les dimensions de l'espace de représentation des données tout est essayant de ne pas perdre trop d'information au moment de cette réduction.

Ce tableau doit être constitué en ligne par des individus sur les quels sont mesurés des variables quantitatives en colonnes (Gaudin, 1982, Diday et al, 1982, Voltz 1986 ; Philipeau, 1982 ; Dervin, 1992).

L'AFC permet l'utilisation d'éléments supplémentaires, ce sont des éléments (ligne et colonne) qui n'interviennent pas au moment du calcul des axes principaux, mais qui sont projetés sur les sorties graphiques. Ils peuvent alors servir de points de

repère au moment de l'interprétation des axes ou être confrontés aux « individus actifs » (ce qui ont effectivement contribué au calcul des axes) (**Dervin, 1988**).

Le processus se déroule ainsi jusqu'à l'obtention de la dernière composante principale, la part d'information expliquée par chacune d'elle devient de plus en plus faible (**Dervin ; 1992, Philipeau, 1992**).

IV-5-2. Les valeurs propres

Les valeurs propres vont nous permettre de qualifier la part de l'information expliquée par les différents axes. C'est à partir des valeurs propres que nous pourrons décider du nombre d'axes que nous allons conserver c'est à dire du nombre d'axes sur les quels nous allons projeter le nuage des lignes et le nuage des colonnes.

IV-5-3. Les coordonnées

Les coordonnées sur les axes principaux demandés correspondent à celles des points lignes et points colonnes sur les représentations graphiques.

IV-5-4. Les contributions relatives

Les contributions relatives des points à la variance de chaque axe vont nous permettre de chercher à expliquer les axes principaux à partir de certains caractères lignes ou colonnes. Les éléments qui ont les plus fortes contributions sont les plus explicatifs pour l'axe principal considéré.

IV-5-5. Résultats : Valeur propre

La répartition de l'information par l'AFC est faite sur 3 axes principaux correspondant à 3 valeurs propres. La première composante principale a pour valeur propre de 0.0243 représente environ 48.61 % de l'information totale. Le deuxième axe

possède la valeur de 0.0197 qui correspond à 39.50 % de l'information totale. Les deux axes (1et 2) expliquent 88.11 % de l'information.

Tableau 8 : Valeur propre et pourcentage d'inertie

	Valeur propre	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Axe I	0.0243	48.61	48.61
Axe II	0.0197	39.50	88.11
Axe III	0.0037	7.37	95.47
Axe IV	0.0004	3.19	99.54

IV-6-1. Analyse des corrélations simples

Le tableau ci-dessous montre les valeurs de corrélation des 6 variables et leurs positionnement dans chaque axes principaux. Nous constatons qu'il y'a une forte corrélation entre l'axe1 et la CE, MO et Rs puis une corrélation moyenne avec le taux d'argile A, le MWD et le Ks.

Aussi, nous constatons que le 2^{ème} axe est bien corrélé avec la perméabilité et le taux d'argile avec un coefficient plus élevé par rapport aux autres variables. 3eme axe est corrélé seulement avec Rs faiblement corrélée avec CE, A, MO, MWD, et le Ks.

Tableau 9 : coefficients de corrélations et contributions des variables actives

	QR	Poids	Inr	Axe1			Axe2			Axe3		
				C	R	CI	C	R	CI	C	R	CI
CE	0.75	0.03	0.35	-0.41	0.25	0.18	0.71	0.74	0.66	-0.08	0.01	0.04
A	0.60	0.33	0.17	-0.10	0.40	0.14	-0.11	0.46	0.20	-0.06	0.13	0.32
MO	0.10	0.02	0.03	0.14	0.27	0.02	-0.05	0.03	0.00	0.07	0.06	0.03
MWD	0.20	0.01	0.02	0.20	0.33	0.02	-0.12	0.12	0.01	0.10	0.08	0.03
CEC	0.40	0.27	0.03	0.05	0.41	0.02	-0.02	0.08	0.01	0.04	0.32	0.13
ESP	0.86	0.30	0.04	0.00	0.00	0.00	0.06	0.54	0.06	0.05	0.33	0.19
KS	0.13	0.04	0.35	-0.59	0.87	0.62	0.17	0.08	0.07	-0.15	0.06	0.27

QR : qualité de la représentation

R : coefficient de corrélation.

Ctr : contribution à inertie

C : coordonnées.

IV-6-2. Etude des individus

La répartition des échantillons de sol du Bas Cheliff selon le plan axe 1&2 de l'AFC montre que les sols se comportent selon 4 types d'unités morphopédologiquement homogènes. Le regroupement est caractérisé par 7 variables initiales (MO, MWD, KS, CE, A, CEC et ESP) se distribuent dans un plan engendré par deux premiers axes, d'autre par on dit que les individus sont répartis comme suite :

- La majorité des individus ayant une texture grossière sont situés en haut de l'axe 2.
- Les individus qui se positionnent en haut de l'axe 1 sont indiqués par la plus forte MO et MWD. A l'extrémité gauche, ils se regroupent la plupart des individus ayant les valeurs plus élevées de la perméabilité.

Enfin, on remarque que les sols les plus stables sont les sols qui se localisent au niveau de la zone (4) tandis que les plus instables s'existent dans la zone (1) ainsi que les (4) zones formées sont appelées unités morphologiques homogènes (UMH).

IV-6. Les caractéristiques physico-chimiques et leurs propriétés

L'analyse factorielle des correspondances simple met en évidence quatre (04) nuages d'individu qui sont regroupés en unités de sol de comportement homogène. La conductivité électrique moyenne de la zone 1 est de 29.12 dS/m qui représente l'unité la plus salée de la plaine par contre la zone 4 possède une conductivité électrique de 3.19 dS/m. qui représente la zone non salée la plus favorable à la mise en valeur avec un taux de matière organique de 2.87 %, un taux de calcaire de 20.46 %. Nous constatons aussi que les valeurs du résidu sec de sels exprimés par R_s augmentent dans les sols de la zone 1 de la plaine jusqu'à atteindre la valeur de 3.21 %. Cette valeur diminue jusqu'à 0.4 % dans la zone 4. Le diamètre moyen pondéral pour l'évaluation de la stabilité structurale est supérieur à 1.16 mm dans la zone 4 avec une valeur de perméabilité de 6.7 cm/h et il diminue jusqu'à une valeur de 0.86 mm pour

une valeur de 2.03 cm/h respectivement. Ce qui justifie que les sols les plus dégradés se trouve au milieu des zones à salinité excessive. (tableau 9)

Tableau 10 : Analyse statistique des caractéristiques physico-chimique des sols de la zone d'étude

	GROUPE I					GROUPE II				
	Min	Max	Moy	ET	CV	Min	Max	Moy	ET	CV
A	25.34	37.22	31.27	4.22	0.14	23.16	42.2	30.58	7.37	0.24
L	41.87	57.32	51.68	5.15	0.26	35.15	48.68	42.58	4.45	0.1
S	6.06	43.82	18.65	9.97	0.53	14.36	43.65	27.57	8.39	0.3
WL	35.15	54.22	49.52	3.19	0.08	37.3	54.18	46.12	4.88	0.11
WP	21.27	33.45	27.97	3.32	0.12	21.32	33.47	27.03	4.04	0.15
CE	27.1	33.28	29.12	2.91	0.1	8.1	13.84	11.03	2.015	0.18
ESP	25	37.4	28.35	2.76	0.09	24.09	36	28.22	2.89	0.10
pH	7.8	8.3	8.13	0.14	0.017	8.01	8.24	8.13	0.08	0.009
MO	0.53	2.75	1.89	0.71	0.37	1.38	2.86	2.51	0.55	0.22
CaCO ₃	10.99	25.64	18.32	5.12	0.28	14.66	22.49	19.91	2.28	0.12
Rs	1.35	4.9	3.21	1.01	0.31	0.41	2.63	1.29	0.67	0.52
	GROUPE III					GROUPE IV				
	Min	Max	Moy	ET	CV	Min	Max	Moy	ET	CV
A	25.52	34	28.67	0.58	0.02	22.33	37.32	27.97	1.57	0.056
L	40.86	59.38	46.91	8.63	0.18	34	54.56	46.24	6.19	0.13
S	19.05	33.53	24.44	4.64	0.18	8.22	35.61	24.28	7.54	0.31
WL	35.45	56.4	44.73	4.5	0.1	31.35	49.36	41.03	6.15	0.15
WP	13.36	30.6	25.06	3.25	0.13	18.54	37.97	26.17	6.19	0.24
CE	4.12	6.77	5.37	1.1	0.2	3.01	0.23	0.19	0.085	0.027
ESP	24.6	38.5	30.29	4.39	0.14	25.6	29.5	27.38	1.44	0.05
pH	7.91	8.32	8.14	0.13	0.016	8.01	8.26	8.16	0.08	0.01
MO	1.95	3.38	2.64	0.58	0.22	2.22	4.76	2.87	0.58	0.2
CaCO ₃	15.97	23.61	20.29	1.71	0.084	19.61	22.49	20.46	0.94	0.046
Rs	0.25	1.8	0.7	0.48	0.69	0.25	0.71	0.4	0.015	0.037

Tableau 11 : Analyse statistique des propriétés physiques (paramètre de comportement structural) des sols de la zone d'étude

	GROUPE I					GROUPE II				
	Min	Max	Moy	ET	CV	Min	Max	Moy	ET	CV
MWD	0.46	1.6	0.86	0.4	0.46	0.87	1.48	1.1	0.17	0.15
GMD	0.2	0.49	0.29	0.11	0.38	0.4	0.52	0.46	0.05	0.11
MIS	0.39	2.63	1.33	0.68	0.51	0.5	0.75	0.61	0.09	0.15
Ks	0.46	6.26	2.03	1.87	0.92	1.35	8.08	4.65	2.04	0.44
IPTA	8.05	38.61	22.02	9.42	0.43	19.17	35.21	24.93	4.39	0.18
<0.1	15.81	53.73	29.93	12.07	0.4	11.03	19.94	16.75	2.73	0.16
0.1	7.77	19.3	12.82	3.35	0.26	8.53	12.94	10.36	1.5	0.14
0.2	13.24	34.26	22.53	7.3	0.32	18.02	29.64	24.99	3.03	0.12
0.6	6.01	14.02	10.28	2.62	0.25	10.99	15.9	13.98	1.31	0.093
1	2.99	17.42	10.07	3.12	0.31	12.95	19	16.08	2.27	0.14
>2	2.67	33.86	14.37	7.99	0.56	11.99	30.3	17.83	4.93	0.28
	GROUPE III					GROUPE IV				
	Min	Max	Moy	ET	CV	Min	Max	Moy	ET	CV
MWD	0.75	1.55	1.13	0.33	0.29	0.85	1.88	1.16	0.28	0.24
GMD	0.35	0.76	0.49	0.14	0.28	0.4	0.88	0.59	0.13	0.22
MIS	0.34	0.8	0.58	0.16	0.28	0.34	0.68	0.48	0.01	0.02
Ks	1.38	8.36	4.94	2.79	0.56	4.5	8.52	6.7	1.7	0.25
IPTA	16.14	36.52	25.02	8.99	0.36	17.75	44.35	26.21	7.17	0.27
<0.1	11.27	36.75	24.13	6.51	0.27	12.07	35.75	22.06	8.17	0.37
0.1	11.01	18.2	14.32	2.32	0.16	6.86	13.93	10.45	2.26	0.22
0.2	11.39	34.54	24.82	7.88	0.32	12.29	28.89	21.43	4.63	0.22
0.6	11.23	20.18	14.52	2.6	0.18	6.47	17.92	11.62	3.48	0.3
1	11.98	21.41	15.26	3.31	0.22	12.35	20.49	14.3	3.77	0.26
>2	10.14	34.11	20.4	10	0.49	11.99	45.13	21.7	8.73	0.4

Tableau 12 : La signification statistique entre la propriété physique

	MWD	GMD	MIS	Ks	IPTA
MIS1	-0.84***	-0.81***	0.95***	-0.63***	-0.83***
MIS2	-0.66***	-0.78***	0.89***	-0.48***	-0.66***
MIS3	-0.50***	-0.67***	0.78***	-0.38**	-0.49***
PF<0.1mm	-0.72***	-0.88***	0.89***	-0.49***	-0.72***
IPTA	0.95***	0.93***	-0.80***	0.72***	1***

A partir du **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** nous avons remarqué que la majorité des variables de propriétés physiques sont bien corrélée avec une forte liaison entre eux.

Tableau 13 : Relations statistiques entre les propriétés physiques et leurs caractéristiques chimiques

	MWD	GMD	TPF	LIs1	LIs2	LIs3	MI	Ks	Ipta
CE	-0.13 ^{NS}	-0.09 ^{NS}	0.09 ^{NS}	0.13 ^{NS}	0.10 ^{NS}	0.10 ^{NS}	0.12 ^{NS}	-0.17 ^{NS}	-0.11 ^{NS}
PH	0.29*	0.20 ^{NS}	-0.16 ^{NS}	-0.41**	0.14ns	-0.06 ns	-0.34**	0.12ns	0.28*
MO	0.58***	0.55***	-0.40**	-0.45***	-0.30*	-0.21ns	-0.41**	0.53***	0.59***
Caco ₃	0.24ns	0.24ns	-0.32*	-0.26*	-0.43***	-0.49***	-0.38**	0.25ns	0.25ns
Rs	-0.25ns	0.27*	0.36**	0.28*	0.43***	0.44***	0.34**	-0.33*	-0.24ns

D'après le tableau ci-dessus, nous observons que la plus part des valeurs des paramètres étudiés sont significatifs et sont bien corrélées entre eux. Par exemple, il y'a une forte liaison entre Cl et MIs1, MIs2, Lis3 et TPF <0.1 mm et entre la MO et MWD, GMD, Ks, Ipta.

Par ailleurs, il existe une liaison moyenne entre pH et MWD, MIs1, MIs, Ipta) et entre la MO et TPF < 0.1mm, Lis2, MIs.

La signification statistique au seuil de 5%,1%,0.1% sont représentés par (*), (**), (***) non significatif est se représenté par (ns).

Tableau 14 : les propriétés physiques avec les caractéristiques physiques

	MWD	GMD	TPF	LIs1	LIs2	Lis3	MIs	Ks	Ipta
A	-0.11ns	-0.11ns	-0.12ns	-0.04ns	-0.13ns	-0.15ns	-0.06ns	-0.03ns	-0.06ns
L	0.26*	0.12ns	0.12ns	-0.03ns	0.13ns	0.20ns	0.02ns	0.15ns	0.27*
S	-0.15ns	-0.08ns	-0.06ns	0.04ns	-0.05ns	-0.10ns	0.00ns	-0.13ns	-0.21ns
Wp	0.20ns	0.29*	-0.23ns	-0.05ns	-0.08ns	-0.06ns	-0.07ns	0.00ns	0.19ns
WL	0.02ns	0.24ns	-0.42**	-0.07ns	-0.38**	-0.43***	-0.20ns	0.11ns	0.03ns

D'après le tableau de signification statistique entre les propriétés physiques et les caractéristiques physiques nous remarquons que la plus part des variables ne sont pas liées entre eux, sauf pour les variables WL, Ip, IPTA sont moyennement liées avec MIS2 et MIS3, d'autre part, nous avons trouvé aussi des liaisons faibles entre les limons L et le MWD, IPTA et encore entre Wp et GMD.

IV-7. L'établissement de la carte de salinité

La figure 1 représente la carte de salinité qui indique la superficie de chaque unité et le pourcentage par rapport à la superficie totale.

Quatre (04) unités se distinguent les unes des autres dans la zone d'étude.

- La zone 1 occupe une superficie de 14.82 % de la superficie totale. Les sols de cette zone sont argileux car le taux d'argile atteint la valeur de 48.2 %, elle se caractérise par une conductivité électrique plus élevée, un faible MWD et une faible perméabilité.

-La zone 2 occupe une superficie de 42.51 % de la surface totale. La texture de ces sols est argileuse susceptible de former des croûtes de surfaces.

-La zone 3 occupe une superficie de 35.33 % de la surface totale. C'est une zone qui contient des sols moyennement perméables et une conductivité électrique moyennement faible sa texture est argileuse ayant un taux d'argile de 32.22 %.

- La zone 4 qui possède une superficie de 07.34 % de la surface totale, c'est la zone la plus petite par rapport aux autres. Elle a une texture limono- sableuse. Les sols de cette unité sont caractérisés par une bonne stabilité structurale, une forte perméabilité et une très faible conductivité électrique. ce sont des sols plus stable que les autres, et leur sensibilité sur la dégradation est très faible.

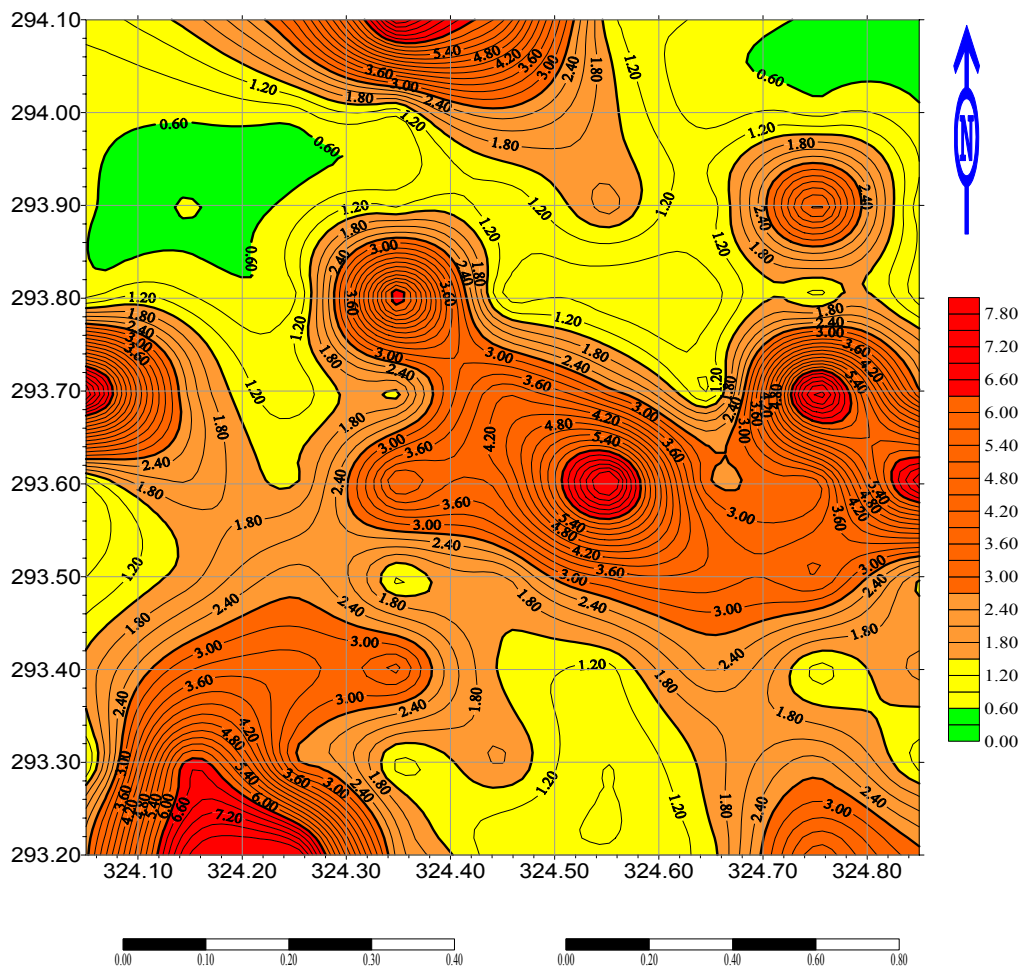


Figure 7 : Carte de salinité

IV-8. La représentation tridimensionnelle

D'après la carte tridimensionnelle de l'altitude et la carte des courbes d'isovaleur qui est représentée sur la figure 8 nous notons que l'altitude maximal de la région atteint les valeurs extrêmes de 49.48 m, tandis que l'altitude minimal atteint la valeur de 49 m. La dénivelé est de 0.5 m, ce qui signifie que la zone d'étude est une zone de plaine.

D'autre part, nous remarquons aussi que la salinité atteint les valeurs extrêmes de 8.67 dS/m, qui sont représenté par 3 pics de forte amplitude (figure 8). Le pourcentage de sel que renferment ces sols atteint la valeur 3,21 %.

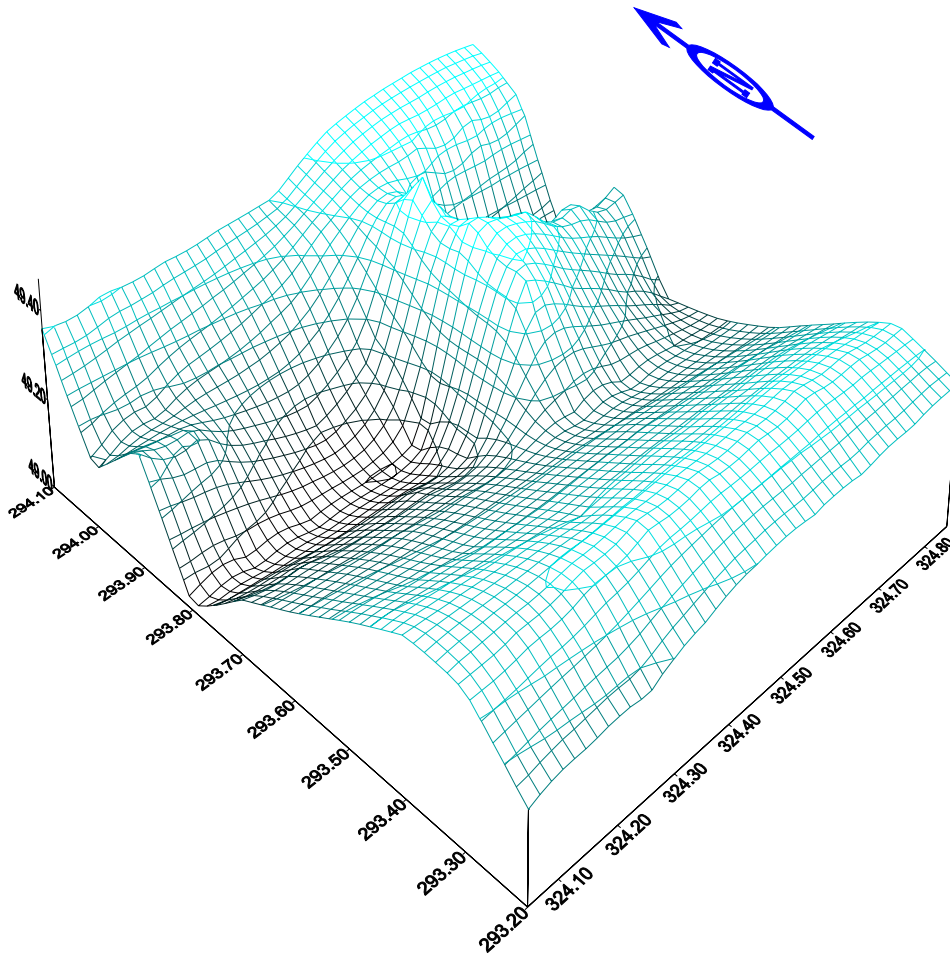


Figure 8 : Représentation tridimensionnelle de l'altitude

IV-9. Description des sols

La figure 9 représente l'évaluation des caractéristiques chimiques des sols de la zone d'étude.

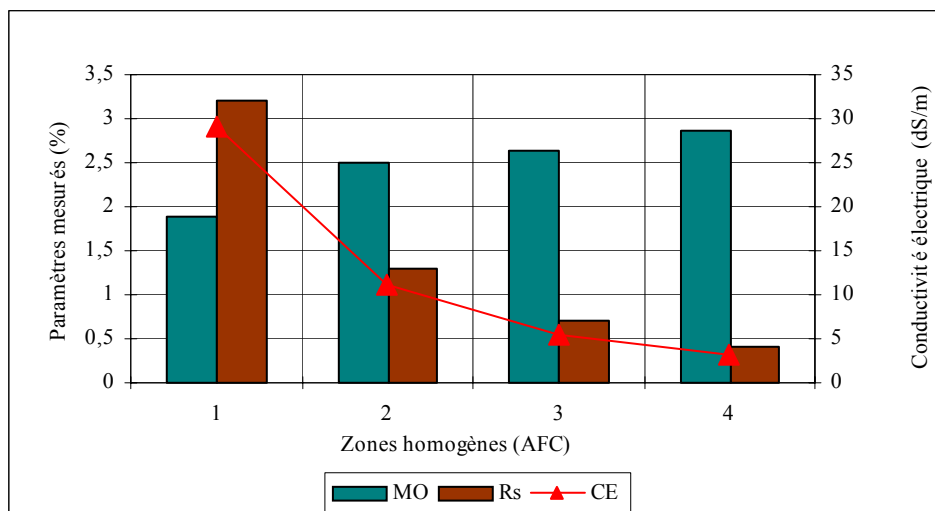


Figure 9 : Evaluation des caractéristiques chimiques des sols de la zone d'étude

Selon l'histogramme de la figure 9 montre que le taux de sel et la conductivité électrique varient proportionnellement suivant les 4 zones, d'autre part quand la matière organique augmente à 2,87 % dans la zone 4, la conductivité électrique connaît aussi une diminution.

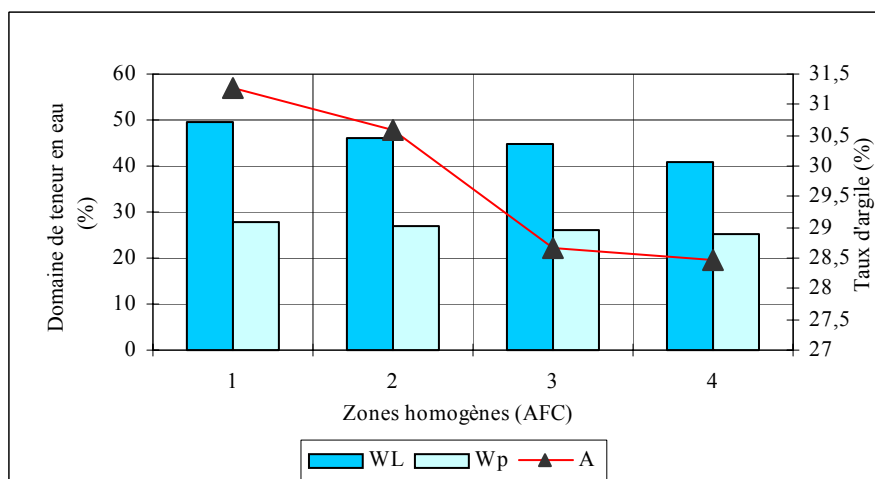


Figure 10 : Variation des teneurs eau à la limite de plasticité et de liquidité du UMH

Selon l'histogramme de la figure 10 nous remarquons qu'il existe une liaison entre les différents types des teneurs en eaux et le taux d'argile. Les trois paramètres

(W_{L_L} , W_p , A) varient d'une façon proportionnelle entre eux. Les sols de la zone 1 se caractérisent par un taux d'argile considérable de 31,27 % ce qui provoque par conséquent une élévation directe de la limite de plasticité et de liquidité.

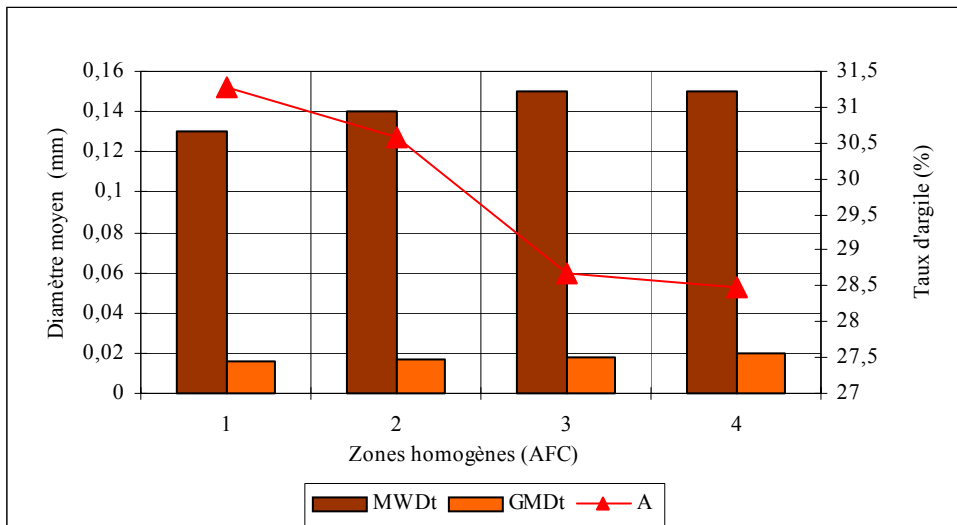


Figure 11 : Le diamètre moyen de la distribution textural

La figure 11 consiste à établir la variation entre le diamètre moyen textural et le taux d'argile dans chaque zone. Selon la représentation on constate que le MWDt augmente progressivement dans chaque zone. Il varie entre 0.13 mm à 0.15 mm tandis que le taux d'argile diminue jusqu'à atteindre la valeur de 28.5 %. Il en est de même pour le GMDt qui varie proportionnellement suivant le MWDt.

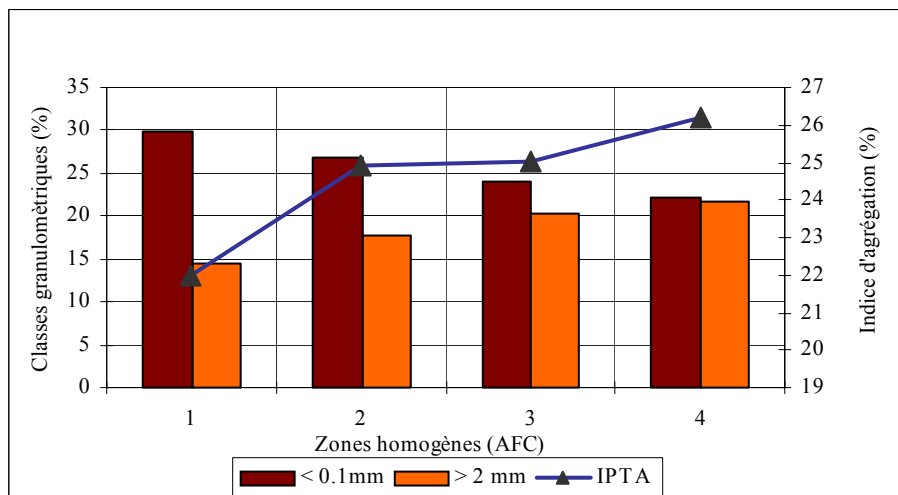


Figure 12 : Evaluation moyenne des micro et macro- agrégat selon les unités morphologiques homogènes

La figure 12 montre l'évolution entre les micro et macro-agrégat et l'indice d'agrégation pseudo textural.

La zone 1 présente les sols qui produisent le plus de micro-agrégats plus de 29% d'agrégats et par conséquent moins de macro agrégats qui atteint 14,37%. La valeur de l'indice pseudo textural (IPTA) atteint la valeur 22,02% dans cette même unité. Par contre la zone 4 présente un taux de micro-agrégats et 22.06 % un taux de macro agrégats de 21.7 % dont l'indice d'agrégation pseudo textural (IPTA) prend la valeur la plus élevés 26,21 %. Ces résultats indiquent qu'il y a une relation très étroite entre les particules fines, les particules grossières et l'indice d'agrégation IPTA.

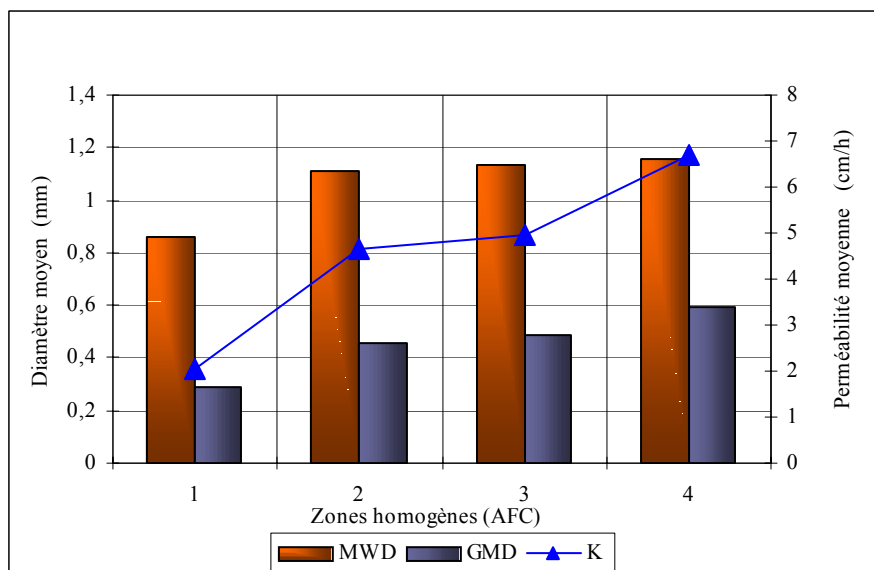


Figure 13 : Evaluation des propriétés physiques des sols de la zone d'étude

La figure 13 montre la relation entre la propriété hydrodynamique exprimée par la perméabilité du sol et les paramètres de comportement structural du sol qui traduit généralement le degré de dégradation et de détérioration de la structure du sol due à l'action de l'eau.

Nous remarquons que plus le diamètre moyen pondéral augmente plus la perméabilité augmente. Ce qui signifie que plus les sols conservent leur structure plus l'aptitude du sol à se laisser traverser par l'eau est meilleure. Les sols les plus stables favorables à l'irrigation et qui maintiennent le mieux la structure après des pluies ou des

irrigations par aspersion sont regroupés dans UMH4. Par contre, les plus instables sont localisés dans UMH1.

IV-10 Nature des sols

La classification selon le triangle texturale des différentes fractions granulométrique des zones homogènes fait ressortir à savoir :

La zone 1 appartient à la classe des sols argileux.

La zone 2 appartient à la classe des sols argileux.

La zone 3 appartient à la classe des sols sableux.

La zone 4 appartient à la classe des sols limono-sableux.

IV-11 Etude comparative des tests de comportement structural

Pour permettre d'établir une liaison entre des mécanismes de la désagrégation du sol par l'eau, nous envisageons de comparer d'une part les méthodes d'évaluation de la stabilité structurale et d'autre part de montrer les paramètres qui leur sont liées respectivement. Pour cela nous avons utilisé la méthode statistique descriptive représentée par l'analyse factorielle des correspondances multiples.

IV-11-1. L'analyse factorielle des correspondances multiple (AFCM)

AFCM est une méthode analogue à l'analyse en composante principales (ACP) destinée à traiter un tableau de données qualitatives observées sur des individus (**Diday et al, 1982 ; Dervin ,1992**).

Aussi l'AFCM est une simple extension de l'analyse factorielle des correspondances simple (AFC), alors que l'AFC met en correspondance deux ensembles de caractères (l'ensemble des lignes et l'ensemble des colonnes) l'AFCM croise un ensemble, celui des lignes avec un second ensemble, celui des modalités. (**Dervin, 1988**).

Trois avantages importants peuvent être pris en considérations lors de l'utilisation de la méthode.

- Le premier avantage est de voir apparaître explicitement toutes les modalités des variables, ce qui facilite l'interprétation, par exemple on fait apparaître, de chaque variable les notions de temps faible, moyen ou fort.
- Le second avantage est de permettre de décrire les liaisons entre variable qualitatives on les suppose non linéaire, ceci n'était pas le cas de l'A.C.P. qui étant fondée sur la corrélation entre les variables, ne décrivait bien que les liaisons linéaires (**Dervin, 1988**).
- Le troisième avantage c'est le traitement des tableaux.

Chaque variable est représenté sur les graphiques par une succession de point que l'on relie dans l'ordre des classes correspondantes, la liaison entre variable est décrite par la disposition relative de leurs trajectoires et par correspondances entre les modalités. Des liaisons de nature quelconque sont donc accessibles à l'analyse dans la mesure où le découpage en classe, a été respecté.

Cependant, le découpage en classe s'accompagne évidemment d'une perte d'information (**Dervin, 1988**).

IV-11-2. Transformation des variables en classes

Généralement, le découpage des variables en classes est procédé comme suite :
3 modalités par variables ; faible, moyen, fort.

A partir des effectifs sensiblement égaux. Nous avons établie (30) modalités voir le tableau 15.

Tableau 15 : coordonnées et corrélations des variables sur les axes principaux

	Qlt	poids	Inr	AXE I			AXE II			AXE III		
				Coord	Cor	Ctr	Coord	Cor	Ctr	Coord	Cor	Ctr
Mis 1	0.73	0.06	0.02	-0.61	0.70	0.05	-0.08	0.01	0	0.09	0.02	0
Mis2	0.55	0.02	0.03	0.93	0.30	0.04	0.63	0.14	0.03	-0.56	0.11	0.03
Mis3	0.54	0.01	0.04	1.75	0.31	0.06	-1.20	0.14	0.04	0.94	0.09	0.03
Ks1	0.71	0.04	0.02	0.91	0.69	0.08	0.12	0.01	0	0.05	0	0
Ks2	0.34	0.03	0.03	-0.81	0.27	0.04	-0.03	0	0	0.44	0.08	0.02
Ks3	0.30	0.02	0.03	-0.70	0.17	0.03	-0.18	0.01	0	-0.57	0.11	0.04
IPTA1	0.75	0.03	0.03	1.11	0.75	0.09	0.01	0	0	-0.02	0	0
IPTA2	0.71	0.04	0.03	-0.58	0.26	0.03	0.54	0.23	0.04	0.53	0.22	0.05
IPTA3	0.92	0.02	0.04	-0.91	0.18	0.03	-1.33	0.39	0.10	-1.25	0.35	0.12
GMD1	0.27	0.02	0.04	0.76	0.12	0.02	-0.20	0.01	0	0.71	0.14	0.04
GMD2	0.40	0.04	0.02	0.49	0.23	0.02	-0.32	0.10	0.02	-0.28	0.07	0.02
GMD3	0.23	0.03	0.03	-0.32	0.04	0.01	0.65	0.18	0.04	-0.05	0	0
MWD	0.67	0.04	0.03	0.98	0.66	0.08	0.08	0	0	0.04	0	0
MWD	0.64	0.04	0.03	-0.57	0.23	0.03	0.56	0.22	0.04	0.52	0.19	0.05
MWD	0.92	0.02	0.04	-0.91	0.18	0.03	-1.33	0.39	0.10	-1.25	0.35	0.12
S1	0.59	0.02	0.05	-1.65	0.55	0.14	0.08	0	0	0.44	0.04	0.02
S2	0.55	0.07	0.02	0.14	0.03	0	-0.23	0.09	0.01	-0.49	0.42	0.07
S3	0.70	0.02	0.04	0.96	0.23	0.06	0.68	0.11	0.03	1.21	0.36	0.14
A1	0.54	0.07	0.02	0.51	0.49	0.05	-0.16	0.05	0.01	-0.02	0	0
A2	0.35	0.03	0.04	-0.80	0.24	0.06	-0.38	0.05	0.01	0.41	0.06	0.02
A3	0.77	0.01	0.05	-0.13	0.18	0.05	2.20	0.49	0.16	-1.06	0.11	0.05
MO1	0.13	0.02	0.03	0.49	0.09	0.01	0.33	0.04	0.01	0.04	0	0
MO2	0.04	0.06	0.02	-0.07	0.01	0.00	-0.02	0	0	0.12	0.03	0
MO3	0.30	0.01	0.04	-1.12	0.10	0.02	-1.01	0.08	0.02	-1.20	0.12	0.05
RS1	0.31	0.07	0.01	-0.16	0.09	0	0.24	0.21	0.01	-0.01	0	0
RS2	0.16	0.01	0.04	0.09	0	0	-0.94	0.12	0.03	0.56	0.04	0.02
RS3	0.26	0.01	0.04	1.25	0.16	0.03	-0.82	0.07	0.02	-0.62	0.04	0.01
CE1	0.24	0.07	0.01	-0.08	0.03	0	0.21	0.20	0.01	-0.05	0.01	0
CE2	0.18	0.01	0.04	0.11	0	0	-0.81	0.07	0.02	1.08	0.12	0.04
CE3	0.20	0.01	0.04	0.59	0.04	0.01	-0.10	0.12	0.03	-0.65	0.04	0.02

IV-11-3. Résultats

IV-11-3-1) Valeurs propres

Une valeur propre représente la variance des individus sur l'axe correspond. C'est à partir de ces valeurs que nous allons estimer le nombre d'axes qui forme le plan de projection de l'information.

La 1^{ère} valeur propre est de 0.4578 et représente 22.89% de l'information dans le premier axe. La 2^{ème} valeur est de 0.2945, elle explique 14.72% de la variance total.

Donc le plan engendré par les 2 premiers axes principaux donne 37.61% des informations explicatives.

Tableau 16 : valeurs propres et pourcentage d'inertie

Axes	Valeur propre	Pourcentage	Pourcentage cumulé
Axe I	0.4578	22.89	22.89
Axe II	0.2945	14.72	37.61
Axe III	0.2193	10.96	48.57

IV-11-3-2) Etude des variables

Cette étude permet d'avoir la contribution de chaque axe aussi pour indiquer les variables les plus explicatives à partir de leur forte contribution.

La vérification des corrélations entre les axes principaux et les variables vont nous permettre de savoir la structuration des variables sur le plan considéré.

Selon le tableau ci-dessous, nous remarquons qu'il y a une forte corrélation entre MIS1, Ks1, Ipta1, MWD1, S1, A1, Rs3 et la 1ère composante principale.

Dans le deuxième axe les variables comme Ipta2, MWD2, MIS2, A3, MO3, CE1, Rs2, sont bien corrélées, tandis que les autres paramètres sont faiblement corrélés.

Le troisième axe est corrélé moyennement avec : Ks3, Ipta3, MWD3, S3, A3, MO3, CE2, et faiblement corrélé avec les autres variables.

Les variables qui contribuent fortement dans l'axe 1 & 2 formant le plan principal sont représentées par la MO, MIS, Ks, IPTA, MWD1, A, Rs, S (voir tableau 15)

IV-11-4. Représentation graphique

Cette méthode utilise la représentation simultanée de projection des points lignes (échantillon) et points colonnes (modalités). Il est intéressant d'étudier sur ce graphique la convergence et la proximité des points.

- La proximité entre les points lignes révèle un comportement semblable des caractères-lignes.
- La proximité entre les points modalités révèle un comportement semblable des caractères modalités.
- La proximité des points - lignes avec des points modalités montre que les points-lignes ou le comportement modalité sont liés entre eux. Dans ce cas, il faut toujours se référer au tableau de données initiales.

Cependant, il est utile de compléter les graphes en joignant par un trait la progression des modalités dans l'espace c'est à dire de pouvoir relier une éventuelle progression dans les modalités à une orientation des axes.

Des lignes polygonales régulières prouve une certaine cohérence des données et la pertinence des divisions en classes.

Sur notre plan graphique (figure 14), quand on passe du côté négatif on se trouve le faible indice d'instabilité structurale qui correspond et proche à la conductivité électrique faible, Rs1, A1 et la perméabilité moyenne et élevée.

On retrouve aussi que les 2 modalités MWD3 et KS1 sont liées avec le MO3 et MO1 respectivement.

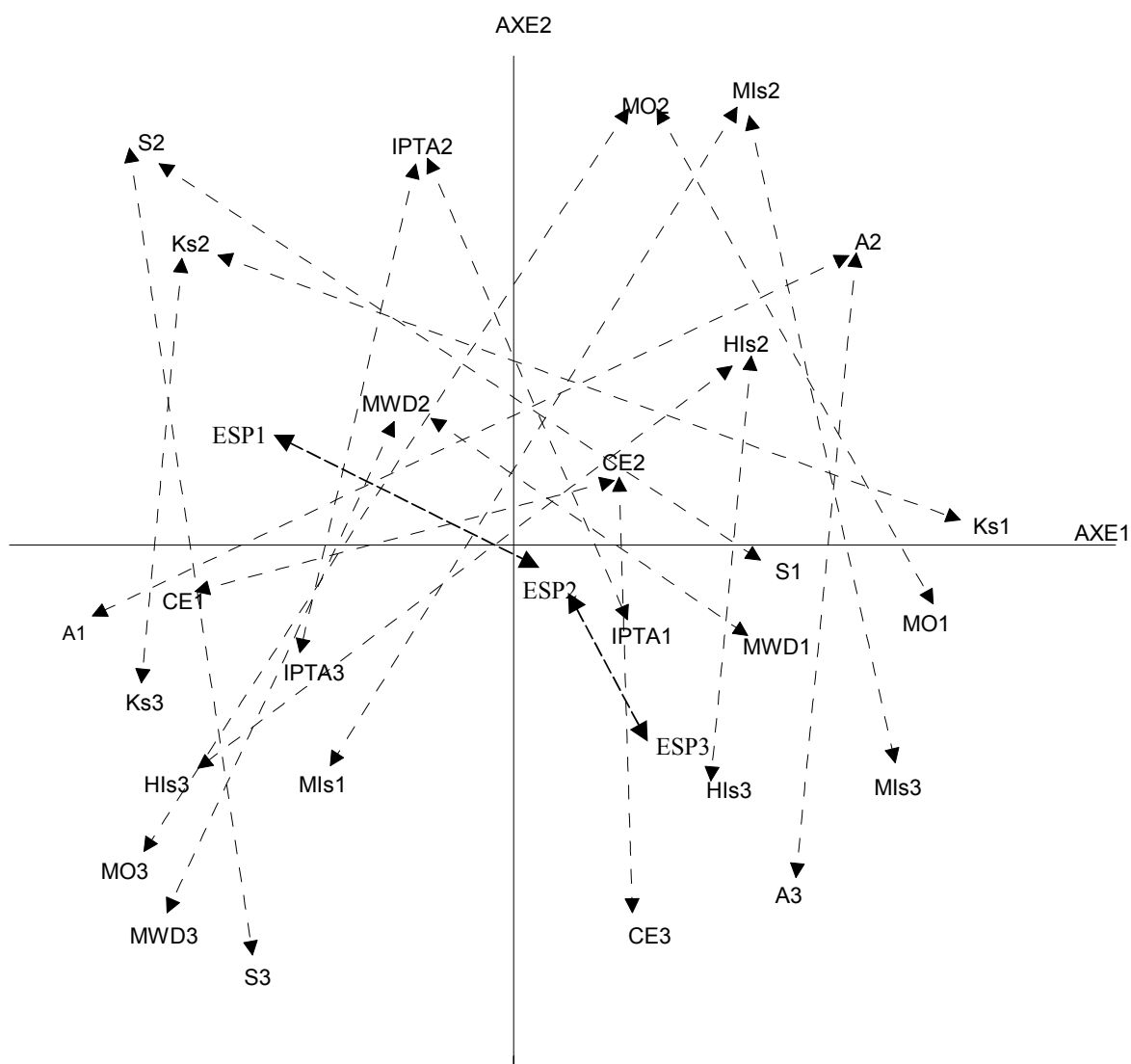


Figure 14 : Projection des variables sur le plan principal de l' AFCM

IV-12-Discussion

On constate d'après ces analyses que la majorité des informations sont reportées à forte densité sur la première composante principale voir tableau 16 cela explique que les variables ayant une conductivité électrique très élevée sont regroupées à l'extrémité gauche de l'axe1 et à l'extrémité droite sont agencées les informations de forte perméabilité.

Nous observons à travers de l'analyse AFCM qu'il y a des variables actives qui sont communes entre elles et l'une dépend de l'autre. On prend comme exemple d'explication la matière organique qui joue un rôle important dans la stabilité

structurale et qui se positionne à proximité de la modalité CE1. Ce qui signifie que l'instabilité structurale est influencé par le taux de sel. La même remarque est faite avec les autres variables qui justifie aussi que les sols ayant un faible taux d'argile se caractérisent par des sols de bonne stabilité structurale et encore ils contiennent une teneur en matière organique considérable se qui explique que la cohésion entre les particules du sol dépend de la matière organique.

IV-13- Conclusion

A travers la méthode statistique AFCM nous pouvons réaliser les différentes liaisons entre les variables et d'illustrer le positionnement des matériaux dans un espace visible et encore mieux de montrer l'influence de chaque action sur le comportement structurale du sol. Nous avons pu discerner l'étroite relation entre la perméabilité, la teneur en matière organique et la conductivité électrique.

IV-14- Résultats et interprétations

Tableau 17 : Description des unités pédologiques

Unité	Cartouche	Superficie (Ha)	Caractéristique
1	Rouge	12.672	Texture : A CE < 2.331 ds/m Perméabilité 3.854 cm/h stabilité structurale 0.842
2	Orange	36.348	Texture : A CE < 1.985 ds/m Perméabilité 5.055 cm/h Stabilité structurale 0.988
3	Vert	30.208	Texture : A CE < 3.98 ds/m Perméabilité 2.591 cm/h Stabilité structurale 0.662
4	Bleu	06.272	Texture : L.S. CE < 0.704 ds/m Perméabilité 6.777 cm/h Stabilité structurale 1.413

On admet que le sodium joue un rôle déterminant dans la stabilité structurale des sols et influe par conséquent sur la dégradation des sols. Les caractéristiques physico-chimiques (CE, MO, pH, CaCO₃, ESP...etc.) et les propriétés physiques (GMD, MWD, IS, IPTA, Ks) n'ont pas donné des résultats concordants du fait de la grande variabilité au sein du même groupe. La description du comportement physique des échantillons montre que les conditions salines et texturales sont difficiles à mettre en évidence. En effet, l'action propre à chaque paramètre rend difficile les tentatives de corrélation et d'évaluation. L'évolution structurale ne peut être que la résultante des divers facteurs qui constituent tant de mécanismes de structuration de l'interface sol atmosphère.

Unité 1

Elle occupe une surface de 12.672 Ha soit 14.82 % de la superficie totale. Cette unité est formée des sols fortement sensibles à la dégradation dont les défauts sont la salure, la réserve organique et les teneurs appréciables en limon. Le risque de dégradation s'accroît lorsqu'ils sont soumis à l'irrigation par des eaux contenant du sel. Les solutions des sols risquent ainsi d'atteindre un taux de concentration supérieure à la limite de tolérance de certaines cultures dans le cas des sols affectés à l'agriculture. Ce sont donc des sols, classés non convenables ayant atteint un stade de dégradation très accentué, il faut agir dans l'urgence afin que la dégradation n'atteigne pas l'ensemble des terres avoisinantes. Les terres de cette unité appartiennent à la classe des **sols non convenables (S4)**.

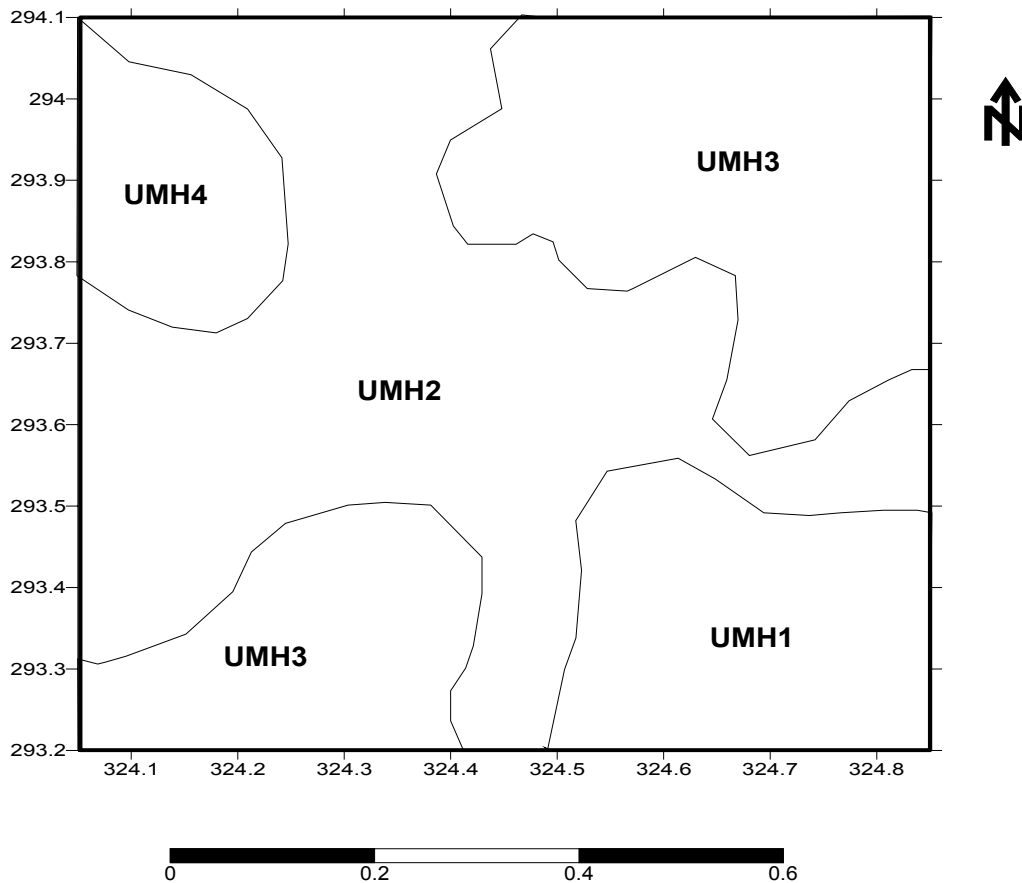


Figure 15 : Carte des unités morphopédologiques homogènes (UMH)

Unité 2

Cette unité représente 42.51% de la surface totale soit 36.348 Ha. Nous remarquons que la sensibilité à la dégradation commence à diminuer du fait de l'augmentation de la réserve de la matière organique. Cette réserve organique permet de contre carter l'effet néfaste des sels. Il est impérativement de dégager des projets d'aménagement en matière de drainage pour abaisser le niveau de saure au sein de la parcelle. Il est aussi possible que dans les conditions édaphiques et climatiques défavorable, ces sols se transforment de manière spectaculaire en sols stériles. Ces sols sont **faiblement convenables (S3)**.

En plus, les sols de l'unité 1 et de l'unité 2 sont susceptibles de former des croûtes de battance dès les premières pluies, ce qui pose une forte contrainte aux cultures céréalières et fourragères.

Unité 3

Les sols de cette unité ont une sensibilité à la dégradation modérée et représentent 35.33 % de la superficie totale soit 30.208 Ha. Bien qu'ils caractérisent de très importantes surface de la plaine et ayant une sensibilité modérée, donc sont **moyennement convenables (S2)**, ces sols nécessitent des opérations de préservations contre une éventuelle évolution de la dégradation vers les zones avoisinantes si le niveau de salure augmente et la réserve organique diminue.

Unité 4

Le pourcentage de cette unité est de 7.34 % de la surface totale soit 06.272 Ha. Ce groupe de sols est caractérisé par une texture équilibrée, une salinité faible et une teneur en matière organique très élevée. Les autres caractéristiques physico chimiques n'ont pas mis en évidence leurs actions sur le comportement structural du faite qu'ils sont biaisés. Ce sont donc des sols **assez convenables (S1)**.

Discussion

Tableau 18 : Statistique descriptive des caractéristiques physico-chimiques

Paramètres	Moyenne arithmétique				Ecart - type			
	Unité 1	Unité 2	Unité 3	Unité 4	Unité 1	Unité 2	Unité 3	Unité 4
A	31.408	31.651	32.222	27.263	6.183	7.135	5.550	5.146
L	46.384	45.238	47.905	52.664	5.277	6.876	6.470	5.102
S	26.832	22.605	23.021	22.204	6.979	7.563	7.919	4.858
CaCO ₃	18.818	20.073	18.708	20.599	4.501	2.262	4.249	1.264
pH	8.152	8.126	8.045	8.173	0.133	0.098	0.148	0.072
MO	2.195	2.596	1.939	3.197	0.505	0.508	0.461	0.294
CE	2.331	1.985	3.988	0.704	2.003	1.889	2.758	0.059

L'analyse statistique des caractéristiques physico-chimiques des sols, selon les différentes unités morpho pédologique homogène présentées dans le tableau 18, montre la prédominance des sols à pH > 7, généralement calcaire, avec des teneurs en matière organique comprises entre 1.939 et 3.197 % et une texture limono argileux sableuse.

Dans l'unité 1 se distinguent par des moyennes arithmétiques élevées du pH, de la conductivité électrique et de la teneur en calcaire d'une part et des moyennes arithmétiques faibles de matières organiques pour toute la zone d'autre part. Les

écarts-types élevés signifient une grande variabilité dans la zone d'étude, ce qui permet de justifier l'hétérogénéité des sols au sein même de l'unité.

Tableau 19 : Statistique descriptive des propriétés physiques (Stabilité structurale et perméabilité)

Paramètres	Moyenne arithmétique				Ecart - type			
	Unité 1	Unité 2	Unité 3	Unité 4	Unité 1	Unité 2	Unité 3	Unité 4
MWD	0.842	0.988	0.662	1.413	0.207	0.273	0.147	0.194
IS	3.631	3.063	3.743	2.529	2.549	1.466	3.598	0.443
IPTA	19.657	24.508	13.744	35.366	8.488	6.771	5.188	6.433
Ks	3.854	5.055	2.591	6.777	2.395	2.47	2.325	1.824

L'ensemble des paramètres de stabilité exprime des résultats convergents et montre que les sols relativement stables se localisent au niveau de l'unité 4, alors que les sols les plus instables se localisent au niveau de l'unité 1. L'ensemble des résultats présente des écarts-types moyennement importants montrant une faible variabilité des paramètres (MWD, IS, IPTA) à l'exception de la perméabilité (Ks) qui présente une variabilité importante dans l'unité 1.

Conclusion

La sensibilité à la dégradation des sols est plus accentuée dans l'unité 1 et l'unité 3 par rapport aux autres unités. Si les facteurs qui influencent la sensibilité à la dégradation sont presque identiques dans les quatre secteurs de la plaine du Bas Cheliff, leurs proportions diffèrent d'un secteur à l'autre. Dans l'unité 2 et 4, la dégradation des sols a pour origine, la sodicité et la texture du sol qui agissent sur la perméabilité alors dans l'unité 2 et 3, c'est principalement la salinité, la sodicité, la réserve organique et la texture lourde qui constituent des facteurs de l'évolution structurale des sols.

La carte de sensibilité des sols à la dégradation est un document de référence pour entreprendre des investigations complémentaires des sols vis-à-vis de son évaluation. La carte est destinée à informer sur l'incidence de la couverture pédologique sur le comportement structurale et apporte des indications sur le comportement des sols. Elle permet aussi de visualiser des secteurs plus ou moins sensibles. Bien que cette carte soit fondée sur une approche qualitative, sa pertinence

peut être justifié lors de son utilisation dans le cadre du diagnostic préalable à l'élaboration de programme d'action dans les zones vulnérables. Elle est cependant destinée à évoluer grâce à la poursuite d'expérimentations qui vont permettre de mieux caractériser les critères de diagnostic. Cette carte contribue aux modalités d'application réglementaires liées à l'évaluation et au traitement de la dégradation des sols. Enfin cette carte thématique permet de délimiter et d'évaluer les zones à risques en évitant des zonages administratifs inadéquats avec les applications réglementaires trop uniformisées. La cohérence des résultats analytiques est d'une nécessité absolue dans l'évaluation. Pour aboutir aux résultats fiables, il est judicieux d'appliquer l'approche scientifique assisté par l'approche descriptive de terrain pour rendre d'avantage compte de la réalité.

CONCLUSION

Au cours de ce travail nous avons comme objectif l'application d'une méthode multidimensionnelle pour l'évaluation de la qualité des sols du Bas Cheliff vis à vis du phénomène de salinisation ainsi que la dégradation de la structure de surfaces des sols du Bas Cheliff.

Les sols du Bas Cheliff sont en moyenne très salins. L'existence de sols non salins est confirmée par la présence de très faibles valeurs de la conductivité électrique parmi les données de nos échantillons. Le coefficient de variation élevé témoigne d'une variabilité spatiale très importante traduit ainsi une hétérogénéité élevée de la salinité dans la région d'étude.

A travers la méthode statistique l'analyse factorielle des correspondances multiple (AFCM) nous pouvons réaliser les différentes liaisons entre les variables et d'illustrer le positionnement des matériaux dans un espace visible et encore mieux de montrer l'influence de chaque action sur le comportement structurale du sol. Nous avons pu discerner l'étroite relation entre la perméabilité, la teneur en matière organique et la conductivité électrique.

Les résultats fournis par (AFCM) ont montré que les variables qui interviennent le plus dans la dégradation de la structure sont: ESP, la conductivité électrique, et de façon moindre le calcaire.

La projection des individus sur le plan principal a donné trois groupes de sols représentant différents niveaux de dégradation : Sols instables, moyennement stables et sols stables.

L'AFCM met en évidence quatre nuages d'individus qui sont regroupés en unité de sol de comportement homogène, la sensibilité à la dégradation des sols est plus accentuée dans l'unité 1 et l'unité 3 par rapport aux autres unités. Si les facteurs qui influencent la sensibilité à la dégradation sont presque identiques dans les quatre

secteurs de la plaine du Bas Cheliff, leurs proportions diffèrent d'un secteur à l'autre. Dans l'unité 2 et 4, la dégradation des sols a pour origine, la sodicité et la texture du sol qui agissent sur la perméabilité, alors dans l'unité 1 et 3, c'est principalement la salinité, la sodicité, la réserve organique et la texture lourde qui constituent des facteurs de l'évolution structurale des sols.

Enfin, il y a lieu de noter que le discours souvent alarmiste sur le phénomène de salinisation et ces conséquences sur la dégradation des sols par les autres caractéristiques physico-chimiques qui lui sont liées n'est pas de trop. En effet, les sols de la plaine du Bas Cheliff ont atteint des niveaux de salinisation et dégradation structurale très avancés, ce qui nous oblige à agir dans une stratégie d'aménagement appropriée pour éviter que la salinité et la détérioration du milieu gagnent de plus en plus qui serait à mettre en péril la qualité des sols de l'ensemble du bas Cheliff.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BOULAINÉ, 1957.** Les sols des plaines du Cheliff, thèse de doctorat d'état Université d'Alger, pp454.
- BOULAINÉ, 1981.** Cours de pédologie topologie INA. Département de sol. 78850 INA, Paris grignon 91p.
- BIOT Y., BLAIKIE P., STOCKING M. A., 1989.** Risque d'érosion au tiers monde. Le point de vue de l'utilisateur. Soil technology, Vol, 2, P.301-311. Cremlingen 1989, (Catena Verlag).
- CROLE-REES A., BARIL P.& SCHAUB D., 1990.** Cartographie des risques d'érosion. Une approche multidisciplinaire.Sol technology, Vol,3 P351-366. Cremlingen 1990, (Catena Verlag).
- CHASSIN, 1979 .** Détermination de l'angle de contact acide humique solution aqueuses de diols Ann. . aglon 30p p 481-491.
- CHANEY et SSWIFTR S., 1984.** The influence of organique matter of agregate stabily in some. British Soil.J.SoilSci 355pp 223-230.
- DAOUD Y., 1993** Contribution à l'étude des sols des plaines du Cheliff, le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés des sols argileux,. Thèse d'état INA.
- DAOUD Y., 1999** Influence des conditions salines sur les propriétés physiques des sols des plaines du Cheliff. SNSTA C. U. CHLEF.
- DEBOOT M.; VANDEVELDE R. & GABRIELS D., 1961.** A quick laboratory methol to study the dynamics of soil erosion. Trans, 10th Inf. Congrès. Soil Sci; Moscow. Vd. Xipp ; 96-104.
- DURAND J. H., 1958** Les sols de la station, étude des sols salins de la Hmadena Ed. France 28p.
- EAVIS B.W.,1972.** Soil physical condition affecting seeding .ROOT grouch I. mechanical impedance, aeration and moisisure availability as influenced by Bulk d'insity plant Soil 36. 613p.
- HENIN S. & SANTAMARIA, 1975.** Cours de physique du sol. I .Texture, Structure, aération. II. L'eau et le sol, les propriétés mécaniques, la chaleur et le sol. Paris, Orstom, Bruxelles, Editest, 159p et 222p
- HERIXIEG K., 1988.** Maitrise de l'érosion. La terre Romande N°29, 16.07.88 P1,16.
- LE BISSONNAIS Y. ; BRUND A. & JAMAGNE M., 1989.** Etude expérimentale sous pluies simulée de la formation des croutes superficielle ; apport à la notion d'érodibilité des sols. Cutena 16 pp 327 392.

- LE SOUDER C., 1990** Effet d'un conditionneur minéral sur la formation des croûtes superficielle du sol sous l'action des pluies. Thèse doctorat INA 181p.
- MORSLI L., 1985.** Une contribution à la connaissance agronomique des sols de Gatinas, Mémoire de DEA 63 P.
- RUSSEL E.W., 1973.** Soil conditions and plant growth 10th ed. LONGMAN. LONDON.
- SAIDI D., 1985** Etude Agro Pédologique du périmètre irrigué de la mina, évaluation des propriétés physiques. Thèse d'ingénieur INA Alger.
- SAIDI D., 1993** Etude expérimentale de la stabilité structurale des sols des plaines du Cheliff. Thèse magister INA Alger 126p
- SAIDI D. ; DOUAOUI A. ; WALTER C.; ROBERT M., 1999** Sensibilité de la surface des sols des plaines du Cheliff à la dégradation structurale. Revue EGS France Vol.6, n°1.
- SCET AGRI., 1985.** Etude du réaménagement et de l'extension du périmètre du moyen Cheliff. Cabinet Rollin 1985.
- SHARMA D. P. & HANDALS.S., 1984.** Caractérisation and managment of soil physical proprieties in salt affected soil p59.69.
- STOKING, M.A 1986.** The cost of soil erosion in Zimbabwe in terms of the Loss of three major nutrients consultant's working paper 3, FAO, Land and water development division FAO , Rome.
- STOKING M.A., 1985** Erosion-induced. Loss in soil productivity: a research design. consultant's working paper 2, FAO, Land and water development division FAO , Rome.
- STOKING M.A., 1984** Erossion and soil productivity:a review consultant's working paper 1, FAO, Land and water development division FAO , Rome.
- TISDALL J.M & OADES J.M .1982.** Organique matte rand water stable. Agreate in soils. Dept .Soil.Sci waite agricultural institut 33pp 141- 163.
- VILAIN M, 1987.** Production végétale agriculture d'aujourd'hui science. Technique application édition J.B BALLIERE.
- VOGT H., 1986.** une méthode cartographique d'évaluation de processus physio géographique appliqué à l'érosion hydrique des sols. L'espace géographique, N°3, 204 – 210.

Annexe

N°	X	Y	Z	A	L	S	Ced	pH	MO	CaC	MWD	GMD	Rs	MIS	Ks	IPTA	ESP	HIS
1	324,1	293	49,2	33,3	51,8	20,7	2,6	8,3	1,5	5,62	0,46	0,15	2	2,6	0,5	8,05	25,4	10,8
2	324,2	293	49,2	30,8	46	23,2	8	8,2	2,8	14,7	0,66	0,68	3,6	0,4	4,2	35,1	36,6	4,4
3	324,3	293	49,2	27,3	48,7	25	8,5	8	2,3	20,7	0,61	0,22	3,8	1,8	4,1	11,9	38,5	3,94
4	324,4	293	49,3	34,9	55,3	21,5	2,2	8,2	2,1	13,9	0,55	0,23	1,6	1,7	1,4	10,2	26,2	2,05
5	324,5	293	49,3	42,2	35,2	22,6	0,9	8,1	2,9	19,8	0,89	0,42	1	0,7	1,4	20,3	24,3	2,63
6	324,6	293	49,3	41,6	35,5	22,9	0,9	8,1	2,8	19,4	0,83	0,39	0,4	0,7	2,6	18,1	27	3,53
7	324,7	293	49,3	34	48,4	17,6	1,3	8,3	3	18,4	1,23	0,6	0,6	0,4	5,3	28,6	24,6	4,23
8	324,8	293	49,3	36,6	57,3	6,06	4,2	7,8	2,1	19,8	0,59	0,2	2,4	1,7	0,5	13,5	29,5	15,1
9	324,9	293	49,3	39,4	46,2	14,4	2,8	8,1	2,1	21,4	0,94	0,54	1,2	0,1	4,5	27,8	26	2,96
10	324,1	293	49,3	25,1	52,1	22,9	0,7	8,1	3,5	22,5	1,62	0,67	0,4	0,5	6,4	37,7	25,6	3,19
11	324,2	293	49,3	37,1	54,8	8,46	6,7	8,3	2,4	25	0,73	0,74	3,2	0,4	6,3	38,6	32,7	2,09
12	324,3	293	49,4	26,3	53,5	25	2,6	8	2,5	25,6	1,13	0,43	1,4	0,7	3,6	24,3	28,7	2,27
13	324,4	293	49,4	28,5	43	29,4	1	8,3	1,6	20,9	0,84	0,4	0,4	0,7	2,6	18,1	27	3,53
14	324,5	293	49,4	28,1	41,5	30,4	1,9	8,2	1,8	22,3	0,7	0,29	0,8	1,3	3,4	14,5	25,1	2,73
15	324,6	293	49,4	39,1	42,6	33,5	0,9	7,9	1,3	20,2	0,8	0,38	0,8	1,1	0,5	15,6	28,2	2,95
16	324,7	293	49,4	27	43,2	26,6	1,6	8,1	1,7	19,6	0,78	0,34	0,7	1,1	7,3	16,4	27,1	5,5
17	324,8	293	49,4	26,3	45,7	24,9	2,6	7,9	1,6	16,9	0,43	0,22	1,4	2	8,2	7,51	32,1	3,09
18	324,9	293	49,4	28,4	44,8	26,8	1	7,9	2	20,5	0,61	0,19	1,4	1,3	7,3	6,72	25	7,29
19	324,1	293	49,3	27,7	47,3	25,4	1,6	8,2	2	19,2	0,72	0,3	0,7	1,2	5,3	15	25,4	2,39
20	324,2	293	49,3	34,8	48,4	24,3	3,3	8	2,3	21,4	0,7	0,3	1,5	1,1	0,3	14,1	30,5	2
21	324,3	293	49,3	27,7	48,7	23,7	3,5	8,2	2,8	22,5	0,76	0,52	1,6	0,6	4,1	26,9	27	1,31
22	324,4	293	49,3	36,3	48,8	23,2	3,8	8,1	1,6	20,2	0,96	0,39	1,7	0,8	1,3	20,2	28,9	2,28
23	324,5	293	49,3	31,4	41,1	35,5	1,4	8,2	1,7	19,2	0,73	0,35	0,6	0,8	1,4	14,4	26,5	2,12
24	324,6	293	49,3	34	41,7	24,3	1,1	8,2	2	22	0,86	0,38	0,4	0,7	2,7	18,4	25,7	2,17
25	324,7	293	49,3	41,3	44,7	29,1	2,5	8,3	1,5	22,3	0,87	0,42	1,8	0,8	1,4	18,5	26,2	2,6
26	324,8	293	49,3	48,2	43	29,4	1	8,3	1,6	20,9	0,84	0,4	0,4	0,7	1	18,1	26,7	10,3
27	324,9	293	49,3	28,1	41,5	30,4	1,9	8,2	1,8	22,3	0,7	0,29	0,8	1,3	5,1	14,5	26,1	5,62
28	324,1	294	49,3	28,9	42,6	33,5	0,9	7,9	1,6	20,2	0,8	0,38	0,8	1,1	7,7	15,6	26,8	2,93
29	324,2	294	49,3	30,2	43,2	26,6	1,6	8,1	1,7	19,6	0,78	0,34	0,7	1,1	5,1	16,4	24,6	1,79
30	324,3	294	49,2	29,4	45,7	24,9	2,6	7,9	1,7	16,9	0,6	0,22	1,4	2	6	7,51	29,7	2,08
31	324,4	294	49,2	20,9	44,8	26,8	1	7,9	2	20,5	0,53	0,19	0,7	0,8	10	6,72	28,6	2,73
32	324,5	294	49,2	27,7	47,3	25,4	1,6	8,2	2	19,2	0,72	0,3	0,7	1,2	6,6	15	27,6	1,96
33	324,6	294	49,2	27,3	48,4	24,3	3,3	8	2,3	21,4	0,7	0,3	1,5	1,1	8,2	14,1	27,4	1,71
34	324,7	294	49,2	27,7	48,7	23,7	3,5	8,2	2,3	22,5	0,58	0,52	1,6	0,6	7,3	26,9	28,3	8,06
35	324,8	294	49,2	28	48,8	23,2	3,8	8,1	2,1	20,2	0,96	0,39	1,7	0,8	5,3	20,2	27	3,51
36	324,9	294	49,2	31,4	41,1	35,5	1,4	8,2	1,7	19,2	0,73	0,35	0,6	0,8	1,4	14,4	28,3	6,47
37	324,1	294	49,2	23,8	44,2	32	0,7	7,9	3,3	16	1,18	0,64	0,7	0,4	4,3	26,9	29,6	1,9
38	324,2	294	49,2	25,2	42,9	31,9	2,1	8,2	2,2	21,6	0,95	0,43	0,9	0,7	3,8	21	27,8	1,98
39	324,3	294	49,2	26,9	42,7	43,7	1,4	8,2	2,9	19,3	1,2	0,62	0,6	0,4	4,5	24,3	30	2,02
40	324,4	294	49,2	24,7	39,9	35,5	4,7	8	2,9	17,5	0,82	0,54	2,1	0,5	3,1	24,9	29,8	1,88
41	324,5	294	49,2	30,5	41,9	27,5	4	8,2	1,9	6,75	0,86	0,25	1,9	1,4	2,1	18,2	27,6	2,11
42	324,6	294	49,2	25,3	56,8	17,9	8,7	8,1	1,5	11	0,48	0,24	3,9	1,5	2,5	8,8	37	2,51
43	324,7	294	49,2	34	43,3	22,7	2,6	8,1	2,3	11,4	0,94	0,42	1,5	1,7	1,5	20,5	26,6	2,19
44	324,8	294	49,2	27,5	51,8	20,7	2,6	8,3	2,3	5,62	0,82	0,15	1,8	2,6	2	8,05	29,3	12,2
45	324,9	294	49,1	30,8	46	23,2	7,6	8,2	2,8	14,7	0,74	0,68	3,6	0,4	4,2	35,1	36	2,76
46	324,1	294	49,1	46	48,7	25	8,5	8	2,3	20,7	0,61	0,22	3,8	1,8	0,5	11,9	35,5	2,37
47	324,2	294	49,1	45,1	55,3	21,5	2,2	8,2	2,1	13,9	0,55	0,23	1,3	1,7	1,4	10,2	26,8	1,66
48	324,3	294	49,1	42,2	35,2	22,6	0,9	8,1	2,9	19,8	0,89	0,42	1	0,7	1,4	20,3	29,3	1,53
49	324,4	294	49,1	34	48,4	17,6	1,3	8,3	3	18,4	1,23	0,6	0,6	0,4	5,3	28,6	26,7	1,51
50	324,5	294	49,1	36,6	57,3	6,06	4,2	7,8	2,1	19,8	0,59	0,2	2,1	1,7	0,5	13,5	32	2,63
51	324,6	294	49,4	24,9	46,2	14,4	2,8	8,1	1,4	21,4	0,66	0,54	1,2	0,1	7,6	27,8	31	8,85

N°	X	Y	Z	A	L	S	Ced	pH	MO	CaC	MWD	GMD	Rs	MIS	Ks	IPTA	ESP	HIS
52	324,7	294	49,3	25,1	52,1	22,9	0,7	8,1	3,3	22,5	1,62	0,67	0,4	0,5	6,4	37,7	27,7	3,91
53	324,8	294	49,2	37,1	54,8	8,46	8,5	8,3	2,4	25	0,82	0,74	3,8	0,4	2,9	38,6	37,4	2,17
54	324,9	294	49,1	31,8	53,5	25	2,6	8	2,4	25,6	1,06	0,43	1,4	0,7	3,6	24,3	28,8	3,17
55	324,1	294	49	32,3	52,7	15	0,7	8,2	3,6	19,6	1,41	0,65	0,4	0,4	4,3	33,4	26,6	1,88
56	324,2	294	49	35,6	51,5	12,9	0,9	8,2	2,9	20,2	1,29	0,68	0,5	0,4	4,5	30,5	27	1,76
57	324,3	294	49	33,4	45,2	28,4	0,7	8	3,6	20,2	1,31	0,62	0,4	0,5	4,7	30,5	24,1	1,47
58	324,4	294	49	37,2	54,9	8,22	7	8,3	1,9	23,2	0,58	0,49	3,2	0,6	3,2	26	35,5	1,9
59	324,5	294	49	37,3	54,6	8,22	0,7	8,2	2,9	21,1	1,1	0,54	0,4	0,5	4,5	26	25,2	3,42
60	324,6	294	49,4	27	40	33	0,7	8,2	2,4	15,1	1,02	0,32	1,2	1	2,9	21,6	27,8	4,6
61	324,7	294	49,4	33,4	49	28,7	0,7	8,3	2,5	18,4	0,88	0,33	0,3	1	0,3	18,3	26,4	3,6
62	324,8	294	49,4	46	34	19	0,9	8,2	2,4	19,6	0,95	0,4	0,5	0,8	1,5	21	27,7	2,94
63	324,9	294	49,3	24	46,3	29,7	0,7	8,2	3	21,4	1,32	0,88	0,3	0,3	8,5	44,4	26,3	2,59
64	324,1	294	49,3	25,7	49,7	24,7	0,7	8,2	3	21,4	1,04	0,32	0,4	1,1	8,5	22,9	27,9	2,34
65	324,2	294	49,2	36,3	59,6	19,1	0,7	8,2	2,9	19,3	1,42	0,58	0,3	0,5	4,5	36,3	26,8	2,16
66	324,3	294	49,1	29,4	42,8	27,8	0,7	7,9	2	20,5	0,65	0,19	0,3	2,5	2	6,97	26,8	2,32
67	324,4	294	49,1	31,5	40,9	33,8	1,1	8,2	1,7	19,2	0,75	0,36	0,5	0,8	1,4	15,4	29	2,34
68	324,5	294	49,1	29,4	42,8	27,8	0,9	7,9	2	20,5	0,65	0,19	0,4	2,3	3,3	6,97	29,2	2,56
69	324,6	294	49,5	24,6	44,1	31,3	2	8,2	2,2	21,6	0,88	0,4	0,9	0,7	3,8	19,2	30,5	3,08
70	324,7	294	49	28,2	48,3	23,5	1	8,2	2,8	22,5	1,15	0,52	0,4	0,6	4,1	26,9	27,4	2,97
71	324,8	294	49	29,8	47,4	22,8	4,9	8,2	2,5	14,7	0,61	0,67	2,3	0,6	4,2	35,2	31,1	2,62
72	324,9	294	49,1	21,6	59,4	19,1	0,7	8,2	3,4	20,9	1,53	0,58	0,3	0,6	8,4	36,3	29	2,89
73	324,1	294	49,1	21,6	59,4	19,1	0,7	8,2	3,4	20,9	1,53	0,58	0,3	0,6	8,4	36,3	26,3	3,06
74	324,2	294	49,2	21,6	59,4	19,1	0,7	8,2	3,4	20,9	1,52	0,58	0,3	0,6	8,4	36,1	28,4	2,69
75	324,3	294	49,2	37,7	44,7	29,8	0,7	8,3	1,5	22,3	0,78	0,37	0,3	0,8	1,4	16,1	30	4,18
76	324,4	294	49,2	26	48,9	25,1	0,8	8	3,1	19,1	1,55	0,76	0,3	0,3	6,8	36,5	29,5	2,65
77	324,5	294	49,3	25,4	39	35,6	2,6	8	2,9	17,5	1,06	0,5	1,1	0,6	3,1	23,2	28,4	2,2
78	324,6	294	49,4	25,4	39	35,6	1,6	8,2	2,9	19,3	1,19	0,62	0,7	0,4	4,5	26,6	30,8	3,43
79	324,7	294	49,4	40,5	48,6	28,6	0,7	8,3	2,5	18,4	0,85	0,31	0,3	1	1,3	17,8	29,3	1,76
80	324,8	294	49,4	24,7	50,4	25	0,7	8,2	2,5	19,6	1,06	0,34	0,3	1	8,2	23,6	27,2	2,93
81	324,9	294	49,4	24,7	50,4	25	0,7	8,2	2,5	19,6	1,05	0,33	0,3	1	8,2	23,4	27	2,55
82	324,1	294	49,4	41,8	35,2	23,1	1	8,1	2,9	19,8	0,88	0,41	0,4	0,7	3,3	20,2	25,6	2,85
83	324,2	294	49,4	36,8	39	35,6	1,6	8	2,9	17,5	1,05	0,5	0,7	0,6	5,5	23	28,2	2,01
84	324,3	294	49,4	33	35,2	23,1	3,3	8,1	2,9	19,8	0,87	0,4	1,5	0,8	6	20	31,3	2,88
85	324,4	294	49,4	26,3	55,9	17,8	8,2	8,1	1,5	18	0,51	0,26	3,7	1,4	3,4	9,59	36,1	2,81
86	324,5	294	49,4	30,8	45	15	5,9	8,1	1,7	21,4	0,6	0,55	2,6	0,5	8,1	27,8	32	2,78

Source :INRAA de HEMADENA