

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

CENTRE UNIVERSITAIRE HASSIBA BENBOUALI-CHLEF



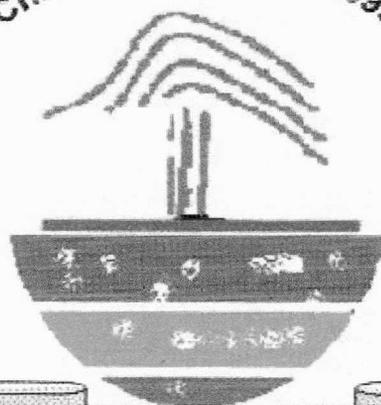
Centre Universitaire Hassiba BENBOUALI-Chlef



Centre de Recherche Scientifique et
Technique Sur les Régions Arides

SEMINAIRE NATIONAL
DES TERRES AGRICOLES
Chlef le 01- 02 Juin 1999

LA SALINISATION
EN ALGERIE



Actes du séminaire

Editeur : CRSTRA

SEMINAIRE NATIONAL SUR LA SALINISATION DES TERRES AGRICOLES EN ALGERIE



COMITE SCIENTIFIQUE

PRESIDENT D'HONNEUR : Mr A. KADRI *Professeur, Directeur Général du C.U.C.*

Messieurs:

Président: A. Gaouar

Directeur Général du CRSTRA

Membres :

A. Halitim

Professeur, Université de Batna

Y. Daoud

Professeur, INA Alger

M. Azib

*Directeur de la formation et la recherche
(Ministère Agriculture)*

M. Bencheikh

MC, C.U.Chlef

A. Loukarfi

MC, C.U.Chlef

D. Achour

MC, C.U.Chlef

A. Dellal

MC, C.U. Tiaret

K. Djilli

CC, INA Alger

A. Douaoui

CC, C.U.Chlef

D. Saidi

CC, C.U.Chlef

B. Bengueddache

*Président du Conseil de l'Eau (Ministère
de l'équipement)*

R. Chaouche

Président Directeur Général de Cosider Agral

R. Chebbani

Responsable Domaine Sol, INSID

A. Bahlouli

Directeur régional du laboratoire d'analyse, INSID

A. Berrokia

Chercheur INRA

COMITE D'ORGANISATION

Président : Mr A. Douaoui

V/Président : Mr A. Loukarfi

Mr A. Denai

Mr M. Koudjil

Mr A. Bouthiba

Mr A. Zemmouri

Mr E. Benbouali

Mr A. Ziani

Mr A. Bellazouz

M^{lle} F. El hadj benali

M^{me} H. Yakoubi

THEME II

COMPORTEMENT DES PLANTES EN MILIEU SALIN - STRESS HYDRIQUE ET IRRIGATION

Effet combinés de la salinité et de la bentonite sur la densité racinaire d'une culture de tomate cultivée sur un substrat sableux

BENKHELIFA M., ARBAOUI M., BELKHODJA M......(page 101)

Contribution à l'étude de la tolérance de six variétés de blé dur à la salinité. (Waha-Bachir-Hedba-Oued- Zénati-Viton-Mexicali)

BELDJOUDI Z......(page 109)

L'efficacité de l'eau en conditions de stress hydrique : une approche simple pour la sélection chez le blé dur (Triticum durum Desf.)

BENSEDDIK B., LABDI M......(page 116)

Contribution à une meilleure maîtrise des pertes en eau d'irrigation et de la salinisation des sols en zones arides.

MOUHOUCHE B., BOULASSEL M......(page 125)

Irrigation à l'eau de mer

ZELLA L., BENAÏSSA R., MOUHOUCHE B......(page 132)

Distribution de l'humidité et de la salinité dans la rhizosphère du Maïs jaune (Zeamazyz L.) par l'irrigation au goutte à goutte

HAMMOUDI A......(page 145)

THEME III

SALINISATION DES EAUX - MISE EN VALEUR DES SOLS SALES

Mise en évidence du processus de la salinité des eaux de la nappe de la plaine de Tebessa, Application de la thermodynamique

DJABRI L., HANNI A......(page 157)

Variabilité spatiale de la qualité des eaux de la nappe de la plaine du Cheliff

BENFARES A., BENABDERRAHMANE Z., BETTAHAR N......(page 172)

Les causes socio-économiques de la salinisation des sols du Bas Cheliff

BEHLOULI A.(page 183)

Les méthodes de gestion complémentaires pour l'aménagement des sols salés en pays arabes

Organisation Arabe pour le Développement de l'Agriculture

(O.A.D.A).....(page 192)

SOMMAIRE

PREAMBULE
PRESENTATION
DEROULEMENT DU SEMINAIRE
RECOMMANDATIONS

THEME I

COMPORTEMENT PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS SALES - VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE

- Influence des conditions salines sur les propriétés physiques des sol des plaines du Cheliff.
DAOUD Y. (page 5)
- Test de stabilité structurale des sols pour évaluer la sensibilité à la battance-application aux sols de la plaine de la Mina (Relizane)
SAIDI D......(page 16)
- Distribution latérale et verticale de l'E.S.P. dans les sols du Nord de l'Algérie
DJILI K., DAOUD Y......(page 25)
- variabilité spatio-temporelle de la salinité dans les plaines du Chélif
DOUAOUI A., BERROKIA A., BENBOUALI E......(page 43)
- Analyse de la structure spatiale de la conductivité électrique d'un sol affecté par la salinité
BENBOUALI E., DOUAOUI A., BETTAHAR N......(page 50)
- Evaluation de la dégradation des sols du périmètre de Hmadena (Bas Chélif)
GAOUAR A., DOUAOUI A., BENBOUALI E......(page 58)
- Etat de la dégradation des sols dans le Bas Cheliff
CHEBBANI R., BEHLOULI A., DOUAOUI A......(page 69)
- Contribution à l'étude des sols salés de H'madena (Bas-cheliff)
DJEBRANI M......(page 79)
- Contribution à la carctérisation du sol d'une palmeraie d'In Salah
TOUMI M., MAHDI Y., BOUBEKER N......(page 88)
- Profils hydriques dans les sols salins
BERROKIA A......(page 93)

THEME II

COMPORTEMENT DES PLANTES EN MILIEU SALIN - STRESS HYDRIQUE ET IRRIGATION

Effet combinés de la salinité et de la bentonite sur la densité racinaire d'une culture de tomate cultivée sur un substrat sableux

BENKHELIFA M., ARBAOUI M., BELKHODJA M......(page 101)

Contribution à l'étude de la tolérance de six variétés de blé dur à la salinité. (Waha-Bachir-Hedba-Oued- Zénati-Viton-Mexicali)

BELDJOUDI Z......(page 109)

L'efficacité de l'eau en conditions de stress hydrique : une approche simple pour la sélection chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.)

BENSEDDIK B., LABDI M......(page 116)

Contribution à une meilleure maîtrise des pertes en eau d'irrigation et de la salinisation des sols en zones arides.

MOUHOUCHE B., BOULASSEL M......(page 125)

Irrigation à l'eau de mer

ZELLA L., BENAÏSSA R., MOUHOUCHE B......(page 132)

Distribution de l'humidité et de la salinité dans la rhizosphère du Maïs jaune (*Zeamazyz* L.) par l'irrigation au goutte à goutte

HAMMOUDI A......(page 145)

THEME III

SALINISATION DES EAUX - MISE EN VALEUR DES SOLS SALES

Mise en évidence du processus de la salinité des eaux de la nappe de la plaine de Tebessa, Application de la thermodynamique

DJABRI L., HANNI A......(page 157)

Variabilité spatiale de la qualité des eaux de la nappe de la plaine du Cheliff

BENFARES A., BENABDERRAHMANE Z., BETTAHAR N......(page 172)

Les causes socio-économiques de la salinisation des sols du Bas Cheliff

BEHLOULI A.(page 183)

Les méthodes de gestion complémentaires pour l'aménagement des sols salés en pays arabes

Organisation Arabe pour le Développement de l'Agriculture

(O.A.D.A).....(page 192)

Préambule

L'Algérie à la veille de la fin de ce deuxième millénaire est confrontée plus que jamais au problème d'auto - suffisance alimentaire. Aussi beaucoup de projets ont été initiés dans le cadre de la mise en valeur des terres en vue d'intensifier les cultures et plus particulièrement, la céréaliculture. Là, il convient de s'arrêter un instant pour poser un certains nombres de questions.

Qu'entendons - nous par "mise en valeur" des terres? Ne s'agit - il pas plutôt d'une "mise en culture des terres" ? Expliquons nous!

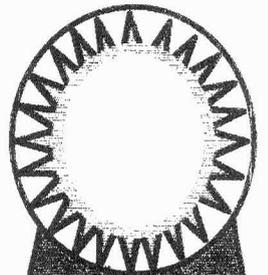
Le constat fait, à priori, dans les périmètres de "mise en valeur", répond à cette question en ce sens que les parcelles en cours "d'activité" sont largement hypothéquées par une salinisation galopante. Juxtaposées à celles - ci, d'autres parcelles sont abandonnées alors que le sel, s'y est installé de manière définitive, rendant le sol totalement stérile, si bien que la "mise en culture" ressemble beaucoup plus à une "culture du sel".

La "mise en valeur", s'est faite alors, en parfaite méconnaissance du milieu, des techniques d'irrigation et des paramètres socio - économiques en vigueur.

Le présent séminaire a été initié par le CRSTRA et le CUC dans l'esprit d'attirer l'attention des décideurs sur une politique de mise en valeur, généralisée, en dépit des bons sens technique et scientifique. Par ailleurs, les chercheurs, agronomes et techniciens trouveront sûrement des réponses quant aux effets du sel sur le sol et la plante. Ceux-ci étant nombreux: Stabilité médiocre du sol - diminution de la fertilité, stress infligé à la plante

Ce séminaire ne manquera pas d'apporter des éléments de réponse à ces phénomènes, cela en est le principal objectif.

Abdelaziz GAOUAR
Directeur Général du CRSTRA



PRESENTATION

Ce séminaire est initié par l'équipe du projet de recherche « Evaluation de la dégradation des sols du Bas Chélif » dirigé par le président du comité d'organisation de ce séminaire et le Directeur Général du CRSTRA (Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides).

Cette manifestation est le fruit d'une collaboration scientifique, technique et financière entre le Centre Universitaire Hassiba Ben Bouali de Chlef et le CRSTRA avec la participation de l'OADA (l'Organisation Arabe pour le Développement Agricole).

Le comité d'organisation saisi cette occasion pour remercier le Directeur Général du C.U. Hassiba Ben Bouali et président d'honneur de ce séminaire pour le soutien permanent qu'il a apporté et sa confiance qui nous a permis de mener à terme cette tâche.

Les plus vifs remerciements du comité d'organisation s'adressent au Directeur Général du CRSTRA pour sa contribution, sa participation et sa présidence du comité scientifique de ce séminaire sans pour autant oublier ses collaborateurs.

Le comité d'organisation remercie également les membres du comité scientifique.

Les services des moyens généraux du Centre n'ont ménagé aucun effort pour faciliter l'organisation de ce séminaire, le comité d'organisation leur est très reconnaissant.

Le Comité d'organisation

DEROULEMENT DU SEMINAIRE

La séance inaugurale

La séance fut ouverte par monsieur le Wali de la Wilaya de Chlef dans laquelle ont pris part M. KADRI Abdalkader, DENAÏ Ahmed et DOUAOUI Abdelkader respectivement Directeur Général du Centre Universitaire, S/D chargé de la Post-Graduation et de la Recherche et le responsable du séminaire et président du comité d'organisation.

Au cours de cette séance, les intervenants ont souhaité la bienvenue aux participants tout en prenant soin de rappeler les objectifs de ce séminaire qui sont :

- Echange d'idées et de résultats entre chercheurs.
- Contact entre les chercheurs et les cadres opérant sur le terrain.
- Etude de la salinité en tant que facteur limitant agricole d'une part et en tant que facteur important dans la dégradation de l'environnement d'autre part.
- Proposition d'une stratégie de lutte contre la salinisation.
- Mise en valeur des terres salées.

La deuxième séance : Conférences introductives

Trois conférences introductives ont été présentées par des personnalités largement reconnues.

La première conférence portant le titre « Eau : stratégie et enjeux » a été présentée par le professeur A. KETTAB de l'ENP (Ecole Nationale Polytechnique).

La deuxième conférence, sous le titre « la salinité et son impact sur l'environnement » a été présentée par le D^r A. GAOUAR, Directeur Général du CRTRA.

La dernière conférence a été présentée par M. HABILA et s'intitulait « Objectifs de l'INSID et sa prise en charge du phénomène de salinisation ».

Les séances des communications

Au total vingt communications orales réparties sur trois thèmes ont été présentées. Ces différents thèmes sont :

- Comportement physico-chimique des sols salés - Variabilité spatio-temporelle de la salinité
- Comportement des plantes en milieu salin - Stress hydrique et Irrigation
- Salinisation des eaux - Lutte et Mise en valeur des terres salées.

Table ronde

Elle a été animée conjointement par M. A. GAOUAR Directeur Général du CRSTRA et président du comité scientifique et M. A. DOUAOUI responsable du séminaire et président du comité d'organisation. Les participants à cette table ronde étaient essentiellement des spécialistes dans le domaine sol.

L'objectif principal était de faire ressortir un certain nombre de thèmes de recherche à la demande du CRSTRA qui prennent en charge le phénomène de salinisation dans son ensemble.

Suite à un vaste débat, les thèmes qui ont été retenus sont :

Thème 1 : Gestion des périmètres irrigués et modèles d'exploitation agricole

Thème 2 : Inventaires et caractérisation des sols touchés par la salinité -
Etablissement d'une banque de données

Thème 3 : Evaluation de la dégradation physico-chimique et biologique des sols et des nappes.

Thème 4 : Etude socio-économique des régions salées - causes et conséquences

Désignation de la commission chargée de faire la synthèse du séminaire et les recommandations

Tenant compte des différentes communications et des vastes débats qui ont pris le plus souvent plus de temps que les communications elles mêmes, une commission présidée par le professeur Y. DAOUD a été chargée de faire la synthèse des travaux du séminaire et d'en faire ressortir les remarques et les recommandations.

Monsieur A. Gaouar Directeur Général du CRSTRA et président du comité scientifique a été chargé de la lecture des conclusions et des recommandations.

La cérémonie de clôture

Au cours de cette cérémonie, M. A. GAOUAR président du comité scientifique a présenté le bilan du séminaire. Il s'en est suivi deux allocutions prononcées par M. A. DENAI et A. DOUAQUI respectivement S/D chargé de la Post-Graduation et de la recherche et président du comité d'organisation. Il était question de remercier l'ensemble des participants tout en leur souhaitant un bon retour chez eux. Les membres du comité scientifique et ceux du comité d'organisation ont été particulièrement remerciés.

LES RECOMMANDATIONS

Les participants à ce séminaire national sur la salinisation des terres agricoles qui a eu lieu au Centre Universitaire Hassiba Ben Bouali de Chlef le 01 et 02 juin :

- Remercient les organisateurs pour les bonnes conditions d'accueil et de séjour.
- Soulignent l'excellente qualité des travaux présentés et des débats qui ont eu lieu lors de cette rencontre scientifique et technique multidisciplinaire, et se félicitent de l'existence de ce potentiel scientifique et technique dans ce domaine.
- Expriment leur préoccupation relative à la gravité des problèmes engendrés par la salinisation sur la production agricole, la dégradation des ressources foncières qui sont non renouvelables et la pollution de l'environnement.

Les participants suggèrent :

- L'organisation périodique et régulière de séminaires sur cette question,
- La création d'une banque de données sur la salinité des eaux et des sols en Algérie, et l'encouragement de recherche sur cette question,
- La création d'un réseau national regroupant tous les intéressés œuvrant dans le domaine de la recherche et du développement agricole, environnemental et hydraulique,
- L'organisation de cycles de formation et de vulgarisation sur la question destinés à tous les acteurs du développement et de la production agricole,
- La mise en place immédiate d'un observatoire sur le suivi de l'évolution de la salinité des eaux et des sols en Algérie.

THEME I

COMPORTEMENT PHYSICO-CHIMIQUE DES SOLS SALES – VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE

INFLUENCE DES CONDITIONS SALINES SUR LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES SOLS DES PLAINES DU CHELIFF

Y. DAOUD

Institut National Agronomique - El Harrach, Alger

Résumé

Les propriétés physiques des sols salés constituent des contraintes à leur utilisation agricole. La description du comportement physique des échantillons à structure conservée montre que l'effet des conditions salines et texturales est difficile à mettre en évidence. En effet, l'influence simultanée et souvent opposée de la concentration saline et du taux de sodium échangeable rend difficile les tentatives d'évaluation de l'action propre à chaque paramètre. Les sols étudiés présentent une faible porosité à l'échelle des mottes centimétriques ; leur perméabilité à l'état remanié et mesurée à l'eau distillée, qui est généralement comprise entre 1 et 3 mm / h, est relativement faible ; leur stabilité structurale est moyenne à médiocre.

Mots clés : *propriétés physiques, concentration saline, sodium échangeable.*

INTRODUCTION

L'influence des sels solubles et du sodium échangeable sur les propriétés physiques des sols a fait l'objet de nombreux travaux (U.S.S.L, 1954 ; McNEAL, 1968 ; TESSIER, 1984). Une attention particulière a été accordée à l'étude des mécanismes d'influence des sels solubles et du sodium échangeable sur la conductivité hydraulique (QUIRK et SCHOFIELD, 1955 ; McNEAL et COLEMAN , 1966). L'approche expérimentale généralement utilisée est basée sur l'utilisation des fractions argileuses pures de référence, ou hétérogènes et extraites des échantillons de sol (TESSIER, 1984 ; SHAINBERG et al., 1980) ; ou encore sur des échantillons de sol remaniés (McNEAL et COLEMAN, 1966 ; SHAINBERG et al., 1981). Par ailleurs, certains travaux ont étudié l'influence des sels sur le taux d'infiltration de l'eau dans le sol en place (AGASSI et al., 1981).

La description du comportement d'échantillons de sols à structure conservée en fonction de leur état hydrique a fait l'objet de peu de travaux (BRUAND, 1986 ; SORANI et al., 1987).

Les horizons de surface des sols salés sont souvent soumis d'une part à une large gamme de concentrations salines qui peuvent jouer un rôle majeur dans leur comportement physique (SHAINBERG et al., 1980) ; et d'autre part, ils constituent l'interface sol - atmosphère et subissent des cycles d'humectation - dessiccation qui produisent une certaine organisation des particules des sols (TESSIER, 1984).

Enfin, la stabilité structurale des horizons de surface des sols salés a fait l'objet d'évaluation indirecte par la mesure du taux d'infiltration (AGASSI et al., 1981), les tests d'évaluation directe ont été peu utilisés (EMERSON, 1967).

Notre objectif est d'étudier le comportement physique d'échantillons de sols à structure conservée et de différents niveaux de salinité en fonction de leur état hydrique ; d'évaluer l'effet de la concentration saline sur certaines propriétés d'un échantillon de terre monoionique ; de suivre les modifications des propriétés d'une pâte de terre d'un échantillon monoionique sous l'effet des cycles d'humectation - dessiccation pour évaluer la part de ce mécanisme, important dans le contexte climatique des plaines du Cheliff, dans la structuration des sols ; et enfin d'évaluer la stabilité structurale des horizons de surface des sols des plaines du Cheliff.

MATERIEL ET METHODES D'ETUDE

Les échantillons étudiés

Ils proviennent des horizons de surface des sols des plaines du Cheliff ; les 18 profils échantillonnés appartiennent soit aux sols peu évolués d'apport alluvial, soit aux sols halomorphes. Les 18 échantillons retenus sont sélectionnés pour couvrir toute la gamme des textures, des teneurs en CaCO_3 , en matières organiques, en sels solubles, et en sodium échangeable observée dans les sols de ces plaines (les échantillons dont le premier numéro est 1 proviennent du Haut-Cheliff, ceux précédés du chiffre 2 proviennent du Bas-Cheliff).

La structure des horizons de surface est polyédrique grossière bien développée, la porosité interagrégats est constituée de nombreuses fissures et de quelques pores biologiques. Les efflorescences salines observées dans les sols halomorphes sont localisées dans les parois des fissures. Les principales caractéristiques des échantillons étudiés sont présentés dans le tableau I.

Les mottes étudiées sont de dimensions centimétriques (6 à 8 cm³) et sont obtenues par fragmentation de mottes de dimensions décimétriques. Les prélèvements ont été réalisés à la fin de la saison sèche, au mois de septembre.

L'échantillon utilisé pour l'étude de l'effet de la concentration saline et pour l'évaluation de l'effet des cycles d'humectation - dessiccation correspond à un horizon de surface (échantillon 5 du Haut-Cheliff) représentatif de la texture des sols de ces plaines.

Méthodes de mesure

- Fixation de l'état hydrique

Pour les $pF < 3$, les mottes séchées à l'air sont soumises à une humectation à l'eau distillée sous une pression pneumatique de 1 bar pendant 5 jours ; elles sont ensuite humectées sous des pressions pneumatiques respectives de 10 et 100 mbar pendant 5 jours ; cette humectation progressive évite le délitement des échantillons qui serait provoquée par une humectation brutale (TESSIER, 1984). Le dispositif utilisé est celui décrit par TESSIER et BERRIER (1979).

Pour les $pF > 4.2$, l'humectation des échantillons est réalisée dans des enceintes dont l'humidité relative est fixée par une solution saline saturée (TESSIER, 1984) ; l'équilibre est

atteint lorsque l'évolution du poids de l'échantillon en fonction du temps est stabilisée, ce qui a nécessité dans notre cas 24 jours à une température de 20 °C.

- Mesure de la teneur en eau

elle est déterminée par séchage des échantillons à 105°C pendant 24 heures, la teneur en eau est exprimée en indice d'eau (cm³ d'eau / cm³ de solide)

- Le volume apparent

il est mesuré par la méthode au pétrole (MONNIER et al., 1973), et rapporté à la masse de l'échantillon séché à 105°C pendant 24 heures ; il est exprimé en cm³ /g.

- Détermination de la stabilité structurale

elle est réalisée selon le test de HENIN et al., (1958) ; l'évaluation des taux d'aggrégats stables à l'eau, à l'alcool, et au benzène permet de calculer l'indice d'instabilité structurale (Is). La perméabilité est mesurée sur des échantillons remaniés par le dispositif de Mc NEAL et REEVE (1964) sous charge constante en application de la loi de DARCY.

- Préparation de la pâte de terre

les différents lots tamisés à 2 mm sont préparés pour obtenir des pâtes monoioniques par 5 mises en équilibre (agitation pendant 2 heures et centrifugation pour éliminer le surnageant) avec la solution 1N de CaCl₂, MgCl₂, ou NaCl selon un rapport terre/eau de 1/5. L'excès de sel est éliminé par 3 lavages à l'éthanol. Enfin, 3 mises en équilibres sont réalisés avec la solution finale (0.5N ; 0.1N ; 0.01N) dont la gamme de concentrations salines retenue couvre les niveaux de salinité rencontrés dans les plaines du Cheliff. Ces 3 lots sont utilisés pour l'étude de l'effet de la concentration saline ; Les lots monioniques en équilibre avec la solution 0.01 N sont utilisés pour le suivi des modifications des propriétés des pâtes lors des cycles d'humectation dessiccation.

- Les cycles d'humectation-dessiccation

La phase de dessiccation est obtenue par mise en équilibre de l'échantillon avec une humidité relative de 20 % (pF égal à 6.37) obtenue à l'aide d'une solution saturée d'acétate de potassium ; ce niveau de dessiccation est atteint à Relizane en période de sirocco (vent du sud chaud et sec). La rehumectation des échantillons est réalisée aux gouttes à gouttes pendant 2 heures jusqu'à la saturation totale (soit en moyenne 56 ml d'eau / 100 g de terre).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Caractéristiques des échantillons

Les résultats analytiques portant sur les principales caractéristiques des échantillons sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Principales caractéristiques des échantillons

Echantillons	C.E. ds/m	ESP %	Argile %	CaCO ₃ %	M.O.%
11	2.10	7.68	27	10.28	1.70
12	2.15	8.11	30	11.43	1.52
13	3.69	10.29	46	9.20	1.80
14	4.06	13.66	30.5	7.74	1.20
15 (*)	4.40	14.88	45.5	14.12	1.62
16	5.99	15.36	55.8	20.49	1.81
17	6.31	15.41	56.8	17.74	1.76
18	6.62	15.83	57.8	18.83	1.72
19	6.96	15.71	34.5	18.8	1.54
21	7.67	19.31	25	22.6	1.20
22	7.69	19.94	43	19.85	1.45
23	7.84	18.43	53	17.70	1.84
24	8.42	18.13	54.8	16.90	1.78
25	8.97	19.22	53.8	17.20	1.87
26	16.50	19.46	35	17.50	1.58
27	21.30	23.17	40	17	1.65
28	32.30	25.13	26	18.50	1.32
29	39.10	28.83	40	17.50	1.53

(*) : échantillon utilisé pour l'étude de l'effet de la concentration saline et celui des cycles d'humectation dessiccation.

Les échantillons étudiés présentent une large gamme de conductivité électrique (comprise entre 2.10 et 39.10 ds/m), de taux de sodium échangeable (variant entre 7.68 et 28.83 % de la capacité d'échange cationique), et de teneurs en argile (comprises entre 25 et 57.8 %). Les échantillons sont carbonatés et présentent des teneurs en CaCO₃ variant entre 7 et 23 ; ils présentent de faibles teneurs en matières organiques comprises entre 1.20 et 1.87 %

Le calcul des équations de régression entre le taux de sodium échangeable (ESP) et la conductivité électrique (CE) ($ESP = 0.37 CE + 12.53$ avec $r = 0.788$, $n = 18$, $ddl = 16$, $r_c = 0.468$ pour $\alpha = 0.05$), et entre le taux de sodium échangeable, la conductivité électrique et le taux d'argile (A) ($ESP = 0.56 CE + 0.25 A$, avec $r = 0.98$) montre une meilleure corrélation de l'ESP à la salinité totale lorsque le taux d'argile des échantillons est pris en considération.

Ces échantillons présentent donc des teneurs relativement proches en CaCO₃ et en matières organiques ; et des valeurs variables de conductivité électrique (CE), de taux de sodium échangeable (ESP) et de teneurs en argile (A). Ce sont donc ces trois derniers

paramètres qui présentent la plus forte probabilité d'être corrélés avec les autres caractéristiques physiques des échantillons, et qui seront pris en considération dans les calculs statistiques.

Etude d'échantillons à structure conservée

Ces échantillons présentent des teneurs en eau pondérale comprises entre 22 et 41 % à pF 2, 13 et 26 % à pF 3, 3 et 10 % à pF 5.52. La porosité des mottes centimétriques est relativement faible, elle est comprise entre 28 et 36 % pour les mottes sèches, elle varie entre 40 et 53 % pour les mottes humectées jusqu'à pF 2.

- Influence des sels sur les propriétés physiques

Pour l'étude de la rétention en eau exprimée en indice d'eau (γ), l'indice des vides (e), le volume apparent (V_a), et l'indice d'aération (e_a), nous présenterons les résultats obtenus à différents pF pour les régressions simples ; pour les régressions multiples, ce sont les résultats obtenus pour pF 3 qui seront présentés. La variation du volume apparent ($\Delta V_a \cdot 100 / V_a$) est calculée entre pF 1 et pF 5.52, elle est considérée comme un indice de structuration des échantillons.

- Calcul d'équations de régression simples

Il s'agit d'étudier les relations simples et linéaires qui existent entre les paramètres physiques mesurés qui constituent les variables à expliquer et chacune des variables explicatives qui sont la CE, l'ESP, et le taux d'argile (A), et d'élaborer ainsi des modèles fonctionnels reliant des variables aléatoires. Les résultats (tabl. 2) montrent que les valeurs des coefficients de régressions simples obtenues ne sont pas significatives (seuil de signification pour $\alpha = 0.05$ et $F(1,16)$ est $r = 0.468$) à l'exception de la corrélation γ (pF3) - taux d'argile.

Tableau 2 : coefficients de corrélation entre quelques paramètres des mottes

	C E	ESP	A
Va.100/Va	0.248	0.175	0.229
Va(pF1)	0.179	0.164	0.149
Va(pF2)	0.420	0.185	0.120
Va(pF3)	0.049	0.148	0.151
Va(pF4.45)	0.263	0.416	0.114
Va(pF5.52)	0.317	0.383	0.251
e(pF1)	0.183	0.246	0.098
e(pF2)	0.420	0.169	0.002
e(pF3)	0.200	0.004	0.294
e(pF4.45)	0.139	0.389	0.054
e(pF5.52)	0.277	0.421	0.139
y (pF1)	0.198	0.244	0.233
y (pF2)	0.331	0.140	0.123
y (pF3)	0.129	0.123	0.472
y (pF4.45)	0.037	0.035	0.236
y (pF5.52)	0.077	0.087	0.122

- Calcul d'équations de regression multiples

les résultats (tabl. 3) présentés à titre d'exemples portent sur les indices d'eau et des vides, le volume apparent à pF 3, ainsi que sur la variation du volume apparent entre pF 2 et pF 5.52. Ils montrent que testés simultanément, Le sodium échangeable, les sels solubles et la teneur en argile n'ont pas un effet significatif sur ces mêmes paramètres, le taux d'argile a un effet modéré. En effet son introduction dans la regression multiple améliore faiblement le coefficient de corrélation, mais son élimination du modèle présente moins de 5 chances sur 100 de se tromper en affirmant que l'argile apporte une part d'explication supérieure à la part qui reste inexplicée en la rejetant du modèle.

Tableau 3 : Valeurs des coefficients de corrélations multiples

Variables expliquées	Variables explicatives			
	CE, ESP, A	CE, ESP	CE, A	ESP, A
y	0.48	0.18	0.47	0.48
e	0.39	0.35	0.33	0.30
Va	0.23	0.20	0.18	0.21
ea	0.40	0.30	0.20	0.11
Va.100/Va	0.31	0.26	0.31	0.29
r _c	0.49	0.48	0.48	0.48

Les principaux résultats obtenus montrent l'interdépendance de l'effet de chacune des variables explicatives retenues. Le calcul des équations de régression simples montrent que l'effet de chacune des variables explicatives prises de façon individuelle n'explique pas suffisamment les variations observées pour les paramètres étudiés.

Considérées simultanément, ces variables présentent une résultante d'effets non significative sur l'indice d'eau, l'indice des vides, le volume apparent, l'indice d'aération à pF 3 ; et sur le retrait des échantillons entre pF 2 et pF 5.52.

Effet de la concentration saline sur les propriétés physiques des pâtes de terre monoioniques .

Les résultats obtenus montrent que pour les pâtes sodiques et concernant l'indice d'eau, l'indice des vides et le volume apparent, leur comportement est relativement proche pour des concentrations élevées (>100 meq/l).

A pF 2, une différence de comportement est observée lorsque la concentration saline passe à 10 meq/l. Pour les échantillons calciques et magnésiens, l'effet des concentrations salines est faible pour toutes les pressions exercées (de pF 2 à pF 5.52).

Pour l'indice de structuration (variation de l'indice des vides entre pF 2 et pF 5.52) dans le cas de l'échantillon sodique sa valeur diminue dans le sens Na (0.5N) > Na (0.1N) > Na (0.01N), pour l'échantillon calcique elle varie dans le sens suivant : Ca (0.5N) < Ca (0.1N) = Ca (0.01N) ; dans le cas des échantillons magnésiens, l'indice de structuration ne semble pas affecté par les différences de concentration saline des échantillons.

Ce type d'échantillon à l'état monoionique (contenant 45.5% d'argile, 43 % de limons, 21.12 % de CaCO₃, 1.62 % de matières organiques, la fraction argileuse est constituée de 50 % d'interstratifiés gonflants et , irréguliers du type smectite/illite), présente certaines

propriétés physiques (indice d'eau, indice des vides, volume apparent) qui semblent peu affectées par la concentration saline de la solution dans une large gamme de concentration compatible avec celle observée dans les sols des plaines du cheliff.

Effet des cycles d'humectation - dessiccation sur les propriétés physiques des échantillons monoioniques à 0.01N

Les résultats montrent que pour l'échantillon calcique, à pF 2 l'indice d'eau de la pâte de terre est très proche de celui de la motte (qui correspond à l'échantillon à structure conservée); pour des pF > 1, le comportement de la motte est relativement proche de celui de la pâte ayant subi une phase de dessiccation. Pour l'indice des vides, à pF 2, la pâte et la motte présentent des porosités très proches, pour des pF > 1 la motte présente une porosité relativement proche de celle de la pâte ayant subi 3 cycles d'humectation - dessiccation.

Dans toute la gamme des pF inférieurs à 5, la pâte présente des valeurs d'indice des vides plus élevées que celles de tous les autres échantillons y compris la motte. Les indices d'aération ($e - y$) augmentent avec la valeur du pF pour tous les échantillons étudiés.

Pour l'échantillon magnésien, à pF 2, l'indice d'eau de la motte est compris entre celui de la pâte de terre et celui de la pâte après un cycle d'humectation - dessiccation. A partir de pF 2, la motte présente un comportement similaire à celui de autres échantillons ayant subi au moins un cycle d'humectation - dessiccation et qui présentent des valeurs d'indice d'eau peu différents. Concernant l'indice des vides, la pâte de terre ayant subi 7 cycles d'humectation - dessiccation donne des valeurs proches de celles de la motte; la pâte de terre révèle les valeurs d'indice des vides les plus élevées dans toute la gamme des pF < 5. L'indice d'aération augmente avec le pF de manière irrégulière pour tous les échantillons.

Pour toute la gamme de pF, l'indice d'eau de la pâte sodique est plus élevé que celui de la motte et des autres échantillons. A partir de pF 2, l'indice de la motte est relativement proche de celui de la pâte ayant subi un cycle d'humectation - dessiccation; les valeurs de l'indice d'eau varie peu avec le nombre de cycles d'humectation - dessiccation. L'indice des vides de la pâte est plus élevée que celui des autres échantillons pour la gamme des pF < 5. Le comportement de la motte est proche de celui de la pâte ayant subi 7 cycles d'humectation - dessiccation. L'indice d'aération augmente de manière irrégulière avec le pF.

L'indice de structuration calculé entre pF 1.5 et pF 5.52 des pâtes à 0 cycle varie dans le sens $Na^+ > Ca^{++} > motte > Mg^{++}$, il diminue après un cycle d'humectation - dessiccation pour les trois cations compensateurs et tend à se stabiliser à partir de 3 cycles.

Ces résultats montrent que la pâte remaniée présente généralement des indices d'eau et des vides plus élevés que ceux de l'échantillon à structure conservée et des pâtes ayant subi des cycles d'humectation - dessiccation. Ce résultat est proche de celui obtenu par LESSARD (1985) sur un échantillon argilo-limoneux. Par ailleurs, on remarque que les courbes de rétention en eau des pâtes monoioniques se superposent à celles de l'échantillon à structure conservée à pF 6.37; cela suggère que la contrainte équivalente (ou contrainte maximale) (CRECY et al., 1979) enregistrée au cours de son histoire par l'horizon dont est issue la motte correspond à pF 6.37, soit une dessiccation sous une humidité relative de l'ordre de 20 %.

Evaluation de la stabilité structurale

Le test de la stabilité structurale montre que pour les 18 échantillons étudiés, et sur la base du test de HENIN et al., (1958), 22 % présentent une bonne stabilité structurale, 56 % ont une stabilité structurale moyenne, et 22 % ont une stabilité structurale médiocre. La recherche de corrélation entre les données d'évaluation de la stabilité structurale et les caractéristiques des échantillons (tabl. 4) montre que la seule valeur significative des coefficients de corrélation concernent la corrélation entre le taux d'agrégats stables au benzène et le taux d'argile (corrélation négative).

Tableau 4 : Matrice de corrélations entre les paramètres de la stabilité structurale et les autres caractéristiques des échantillons

	Aga	Agb	Age	Is	CE	ESP	MO	A	L	CaCO ₃
Agb	0.85									
Age	0.91	0.91								
Is	0.70	0.62	0.65							
CE	0.001	0.15	0.10	0.10						
ESP	0.10	0.04	0.03	0.003	0.97					
MO	0.09	0.22	0.16	0.18	0.33	0.31				
A	0.40	0.47	0.42	0.17	0.22	0.38	0.24			
L	0.32	0.46	0.35	0.22	0.21	0.32	0.50	0.83		
CaCO ₃	0.03	0.15	0.25	0.08	0.20	0.21	0.08	0.09	0.16	
K	0.01	0.16	0.12	0.06	0.27	0.25	0.11	0.19	0.23	0.16

CONCLUSION

La description du comportement physique des échantillons à structure conservée montre que l'effet des conditions salines et texturales est difficile à mettre en évidence. En effet, l'influence simultanée et souvent opposée de la concentration saline et du taux de sodium échangeable rend difficile les tentatives d'évaluation de l'action propre à chaque paramètre. Dans ce type de situation, plusieurs facteurs peuvent intervenir simultanément en tant que mécanismes de structuration des horizons de surface qui constituent l'interface sol atmosphère. La concentration saline des solutions de sol ne jouerait un rôle important dans le comportement physique de ces échantillons que dans le cas du sodium et pour une concentration électrolytique inférieure à 100 meq/l. Les cycles d'humectation dessiccation constituent l'un des principaux mécanismes de structuration de ces horizons ; leur effet dépend de la nature du cation compensateur et semble important essentiellement au cours des 3 premiers cycles d'humectation dessiccation. La comparaison du comportement hydrique de l'échantillon à structure conservée à celui de la pâte remaniée permet de déterminer la contrainte équivalente (CRECY et al., 1979) qui correspondrait à un pF de 6.37 dans le cas des plaines du cheliff. Ces échantillons présentent une faible porosité à l'échelle des mottes centimétriques ; leur perméabilité à l'état remanié et mesurée à l'eau distillée, qui est généralement comprise entre 1 et 3 mm / h, est relativement faible ; leur stabilité structurale est moyenne à médiocre. Ces sols ont des propriétés physiques limitantes pour la production végétale.

BIBLIOGRAPHIE

- AGASSI M., SHAINBERG I., MORIN J. (1981) - Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on the infiltration rate and crust formation .Soil Sci.Soc.Am.J., 45, pp. 848- 851
- BRUAND A. (1986) - Contribution à l'étude de la dynamique de l'espace poral .Utilisation des courbes de retrait et des courbes de rétention en eau . Science du sol, 4, pp.351-362
- De CRECY J., CONCARET J.,MUNIER O., LAVIELLE G. (1979) - Assemblage structural des sols et histoire des matériaux . Agric ,17 , pp.1448 -1451
- EMERSON W.W. (1967) - A classification of soil aggregates based on their coherence in water .Aust. J. Soil Res., 5, pp.47- 57
- HENIN S., MONNIER G., COMBEAU A. (1958) - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. Ann. Agron., 2, pp.73- 92
- LESSARD L. (1985) - Etude de l'organisation d'un sol argilo limoneux . Modélisation de la conductivité hydraulique à partir des relations expérimentales teneur en eau succion . Science du sol , 2 , pp.75-88
- McNEAL B.L. (1968) - Prediction of the effect of mixed salt solution on soil hydraulic conductivity . Soil Sci.Soc.Am.Proc. 32 , pp.190-193
- McCNEAL B.L., COLEMAN N.T. (1966) - Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity .Soil Sci. Am. Proc., 30 , pp.308-314
- McNEAL B.L. , REEVE R.C. (1964) - Elimination of boundary flows in laboratory conductivity measurements . Soil Sci.Soc.Am.Proc. 28 , pp. 713-721
- MONNIER G., STENGEL P., FIES J.C. (1973) - Une méthode de mesure de la densité apparente de petits agglomérats terreux . Application à l'analyse des systèmes de porosité du sol. Ann. Agron. , 24(5) , pp.533- 545
- QUIRK J.P., SCHOFIELD R.K. (1955) - The effect of electrolyte concentration on soil permeability . Journ. Soil Sci., 6 , pp.163-178
- SHAINBERG I., RHOADES J.D., and PRATHER R.J. (1980) - Effect of low electrolyte concentration on clay dispersion and hydraulic conductivity of a sodic soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 45. pp.273 -277.
- SHAINBERG I., RHOADES J.D., SUAREZ D.L., PRATHER R.J. (1981) - Effect of mineral weathering on clay dispersion and hydraulic conductivity of sodic soils . Soil Sci. Soc. Am. J.45 , pp .287-296
- SORANI V., BRUAND A., FOURNIER B., TESSIER D. (1987) - Comportement des horizons d'un sol argileux en fonction de l'état hydrique : étude d'échantillons à structure conservée. Science du sol N°3, Vol. 25 , pp 133-142

TESSIER D. (1984) - Etude expérimentale de l'organisation des matériaux argileux .Hydratation gonflement et structuration au cours de la dessiccation et de la réhumectation .Thèse de doctorat d'état .Paris VII , 326p.

TESSIER D.,BERRIER J. (1979) - Utilisation de la microscopie électronique à balayage dans l'étude des sols. Observations de sols humides soumis à différents pF .Science du sol, 1, pp. 67- 82

U.S.S.L. (1954) - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils . U.S.D.A. Handbook N°60 , 160p.

TESTS DE STABILITE STRUCTURALE DES SOLS POUR EVALUER LA SENSIBILITE A LA BATTANCE APPLICATIONS AUX SOLS DE LA PLAINE DE LA MINA (RELIZANE)

D. SAIDI

Centre Universitaire de Chlef, Institut d'agronomie, B. P. 151 CHLEF(02000)

Résumé

Pour évaluer l'érodibilité des sols on utilise le plus souvent des tests de laboratoire comme la stabilité structurale ou la simulation de pluie. Cet article présente une méthode récente de mesure de la stabilité structurale avec trois traitements correspondants à des états hydriques initiaux et des niveaux d'énergie appliquée différents : Humectation rapide, humectation lente et agitation après pré-humectation, pour lesquels on mesure la distribution de la taille des particules résultantes après désagrégation. Les résultats obtenus avec différents sols de la plaine de la Mina ont été comparés à des mesures d'infiltration sous pluies simulées. La méthode fournit une bonne description et un classement cohérent du comportement physique des sols sous l'action des pluies. De plus le diamètre moyen pondéral permet de prévoir la structure des croûtes, les risques de transport particulaire et l'érosion hydrique des sols. A partir de ces tests, un exemple d'application de cette méthode à l'étude de l'effet d'un conditionneur de sol sur la stabilité structurale est présenté

Mots clés : *Stabilité structurale, battance, érosion hydrique, méthodologie et conditionneur*

INTRODUCTION

Il existe au niveau international de très nombreuses méthodes de mesure de la stabilité structurale.

De fait, il s'agit d'une propriété fondamentale des sols pour de nombreux aspects de leur comportement, particulièrement en ce qui concerne hydrodynamique et EROSION (AL-DURRAH ET BRADFORD, 1982 ; BOIFFIN, 1984 ; LE SOUDER, 1990 ; HAIRSINE ET ROSE, 1991 ; FIES ET PANINI, 1995). Cependant la complexité des mécanismes et le nombre des paramètres impliqués font qu'il existe une certaine confusion en ce qui concerne les processus de la dégradation structurale et ses relation avec l'érosion des sols.

Le but de cet article est d'analyser les relations qui existent entre la dégradation, la battance et la sensibilité à l'érosion des sols, après un rappel théorique sur les mécanismes de désagrégation et les paramètres qui l'influencent. On examine ensuite les différents tests de la méthode existante utilisable pour tous, des exemples d'utilisations et de développement de cette méthode sont ensuite présentés.

Les mécanismes de la désagrégation et les interactions avec la battance, le ruissellement et l'érosion.

La désagrégation par l'eau résulte de différents mécanismes physiques et physico-chimiques et peut affecter différents niveaux de la structure des sols depuis les interactions entre les particules d'argiles jusqu'aux mottes de terre. On peut identifier quatre principaux mécanismes (LE BISSONNAIS, 1988) : (1) l'éclatement, c'est à dire la désagrégation par compression de l'air piégé lors de l'humectation, (2) la désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie, (3) la microfissuration par gonflement différentiel, (4) la dispersion physico-chimique.

Les caractéristiques des sols qui jouent sur la stabilité des sols les plus souvent évoquées sont la texture, la teneur en matière organique, la minéralogie des argiles, les cations et en particulier le sodium, les oxydes de fer et d'aluminium, les carbonates de calcium (BOIFFIN, 1984 ; LEBISSONNAIS, 1988 ; LE SOUDER, 1990 ; SAIDI, 1993), avec de nombreuses interactions possibles entre ces Paramètres dont il faut tenir compte pour l'interprétation des résultats.

Pour une grande partie des sols cultivés de la région du Chéiff, de texture limoneuse, limono-argileuse ou argilo-limoneuse, l'érosion résulte du ruissellement lié à la diminution de l'infiltrabilité sous l'action des pluies. La capacité d'infiltration peut dans certains cas être réduite jusqu'à des valeurs d'environ 1 mm/h (SAIDI, 1993).

La croûtes structurale résultent d'une réorganisation in-situ des fragments et particules produites par éclatement et désagrégation mécanique, sans déplacements importants ni tri granulométrique. La croûtes sédimentaires ou de dépôts résultent d'un déplacement et d'une ségrégation des particules en présence d'un excès d'eau (flaquage et ruissellement). Les mécanismes en cause sont essentiellement la dispersion et la désagrégation mécanique. Le rôle important joué par les fragments et particules de dimensions $< 100 \mu\text{m}$ dans la réduction de l'infiltrabilité a été montré (LOCH, 1989 ; LE BISSONNAIS, 1990). De plus, la dimension des particules résultant de la désagrégation détermine également leur aptitude à être transportées par le ruissellement (LE SOUDER, 1990)

Description de la méthode

L'objectif de la méthode est de donner une description réaliste du comportement des sols soumis à l'action de la pluie, et de permettre un classement relatif des matériaux vis-à-vis de ce comportement. La méthodologie est largement inspirée du test classique de HENIN et al. (1958).

Les trois tests proposés ont pour objectif de rendre compte de ce comportement dans les différentes conditions climatiques, hydriques et structurale que l'on peut rencontrer à la surface du sol. La méthode est celle proposée par LE BISSONNAIS, (1995). On en rappellera les grandes lignes:

L'échantillon séché à l'air est passé au tamis et les agrégats de 3 à 5 mm sont sélectionnés pour les tests. **Le traitement 1** (humectation rapide par immersion) permet de tester le comportement de matériaux secs soumis à des humectations brutales, de type irrigation par submersion, ou des pluies intenses (orage de printemps et été). **Le traitement 2** (humectation lente par capillarité) permet de tester le comportement de matériaux secs ou peu

humides soumis a des pluies moderees. Il est moins destructif que l'humectation rapide et permet de donc de discriminer des sols tres peu stables. Le traitement 3 (desagregation mecanique par agitation apres rehumectation) permet de tester le comportement de materiaux humides (periodes hivernales humides)

On mesure, pour chaque traitement, la distribution de la taille de particules resultantes (**D.T.P.R.**) (2 mm, 1mm, 0.6 mm, 0.2 mm, 0.1mm et 0.075mm). On calcule ensuite le diametre moyen ponderal apres desagregation (**MWD**) (valeur comprise entre 0.05 mm et 4 mm). On peut egalement faire la moyenne des 3 **MWD**, pour avoir une valeur synthetique

Pour cette methode, nous pouvons egalement calculer des indices d'instabilite structurale et la moyenne geometrique de la distribution granulometrique (**GMD**) afin de mieux controler l'existence des valeurs aberrantes

Exemples d'application de la methode

On a applique cette methode a une serie de sols de la plaine de la Mina (13 echantillons de sols) se differenciant les uns des autres par la teneur en carbone organique (SAIDI, 1993). Les resultats montrent, d'une part, une bonne relation entre la stabilite et cette teneur en matiere organique (figure 1), et d'autre part, une tres bonne relation entre les resultats des tests, la structure des sols et leur comportement hydrodynamique (figure 2)

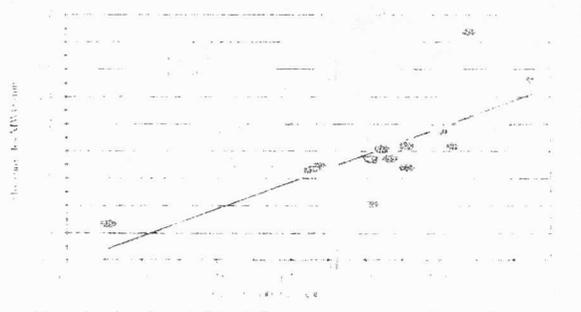


Figure 1 Effet de la matiere organique sur la stabilite structurale

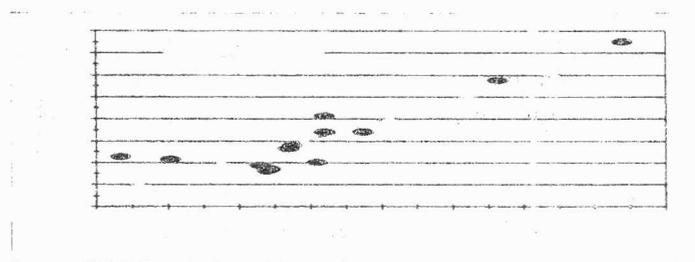


Figure 2 Relation entre la stabilite structurale et l'infiltration

La methode a ete appliquee a une serie de sols de la plaine de la Mina, pour lesquels on dispose de mesure de l'infiltration sous pluie simulee ainsi que des resultats du test standard. Les coefficients de correlations calcules entre les differents tests de stabilite donnent des valeurs superieures aux coefficients de correlations theoriques a l'exception faite pour le

taux du calcaire (Tableau 1). Les variables caractéristiques du sol les plus liées à la stabilité et à l'infiltration sont la matière organique, la salinité et le taux d'argile.

Tableau 1 : L'influence des caractéristiques des sols sur la stabilité structurale. (1)

Paramètres	MWD (mm)	INF (mm/h)
M. O. (%)	0.75 **	0.68 **
Arg. (%)	-0.60 *	-0.65 *
CE (dS/m)	-0.66**	-0.68**
CaCO3 (%)	0.38 ns	0.46 ns

Tableau 2 : Relation entre l'infiltration et les différents tests de stabilité structurale. (1)

Paramètres	MWD1(mm)	MWD2(mm)	MWD3(mm)	MWD (mm)
INF.(mm/h)	0.89 ***	0.83 ***	0.63 *	0.89 ***

(1) La signification statistique au seuil de 5, 1 et 0.1% est respectivement indiquée par *, ** et ***.

La bonne corrélation obtenue entre l'infiltration et le diamètre moyen pondéral (tableau 2) fait que cette méthode peut faire l'objet d'une bonne estimation de la stabilité structurale. De plus, les mesures de stabilité structurale des trois tests sont toutes corrélées aux mesures de l'infiltration sous pluie simulée avec une meilleure relation durant la première phase de désagrégation.

Etude de l'effet d'un conditionneur de sol sur la stabilité structurale

Les conditionneurs de sol sont des substances d'origine organiques ou minérales (souvent de gros polymères de synthèse) agissant, à faible dose sur les propriétés physiques des sols. Ces produits peuvent intervenir sur la stabilité structurale (DE BOOT, 1972 ; LE SOUDER, 1992). Les tests de stabilité structurale proposés ont été mis en œuvre sur un conditionneur de sol appelé (WAC), ce produit, un polymère de polychlorure basique sulfaté d'aluminium, s'est révélé efficace sur le terrain pour retarder la formation des croûtes de battance, (LE SOUDER, 1992). Son action bien visible porte surtout sur le maintien d'une structure motteuses.

Le conditionneur (liquide miscible à l'eau) a été appliqué par pulvérisation, à l'aide d'un micro pulvérisateur sur un lit d'agrégats calibrés de 3-5 mm séchés à l'air. L'échantillon prélevé de la couche superficielle qui représente l'interface sol-atmosphère, provient d'un sol cultivé de la plaine de la Mina. Il appartient à la classe des sols salsodiques avec une conductivité électrique de 23.6 dS/m et une texture limono-argileuse susceptible de former une croûte de battance. Le produit utilisé est dilué dans la même quantité d'eau (rapport 1/1) soit à la dose de 250 l / ha. Les caractéristiques analytiques sont présentées dans le tableau 3

Tableau 3 : Caractéristiques de l'échantillon de sol

Distribution de la taille des particules (%)					PH	MO %	CaCO ₃ %	CE dS/m	ESP %
0-2µm	2-20µm	20-50µm	50-200µm	200-2000µm					
27.3	15.3	32.4	14	11	7.9	1.3	23.8	23.6	21.3

- Désagrégation par éclatement total

Sur la figure 3, nous pouvons tout d'abord noter que la distribution granulométrique obtenue pour le témoin est caractérisée par une forte proportion des particules les plus fines, avec 45 % de la distribution inférieures à 0.1 mm. Il s'agit bien d'un sol très instable.

Lorsque les agrégats ont été préalablement traités au conditionneur à la dose préconisée, la distribution granulométrique se trouve décalée. Le taux d'éléments fins (ou particules) inférieur à 0.1mm passe à 10 %, alors que le taux d'éléments grossiers (agrégats) supérieur à 2 mm passe de 8 à 14 %. Une augmentation significative de toutes les classes est enregistrée dans les classes supérieures à 0.1mm.

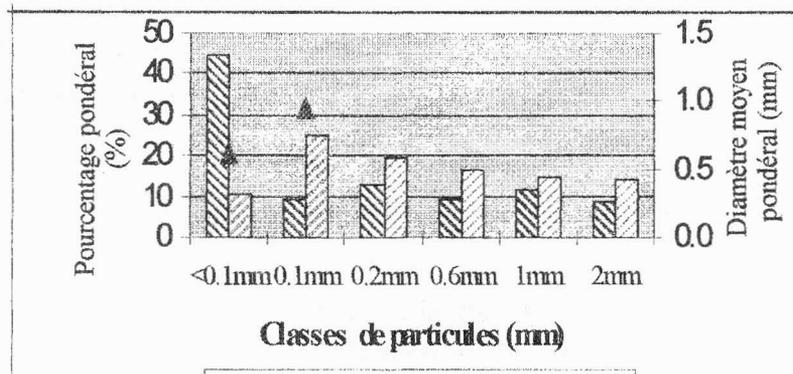


Figure 3 : Influence du conditionneur de sol sur la désagrégation pour le test d'immersion

- Désagrégation par énergie mécanique

L'histogramme de l'échantillon témoin qui est caractérisé par deux fractions dominantes : la fraction inférieure à 0.1mm, avec 40 % et la fraction supérieure à 2mm avec 19 %. Les fractions faibles sont faiblement représentées. (figure 4).

Après prétraitement au conditionneur, le taux d'agrégat résultant supérieur à 2mm est fortement augmenté jusqu'à 29 % de la distribution aux dépens des classes les plus fines.

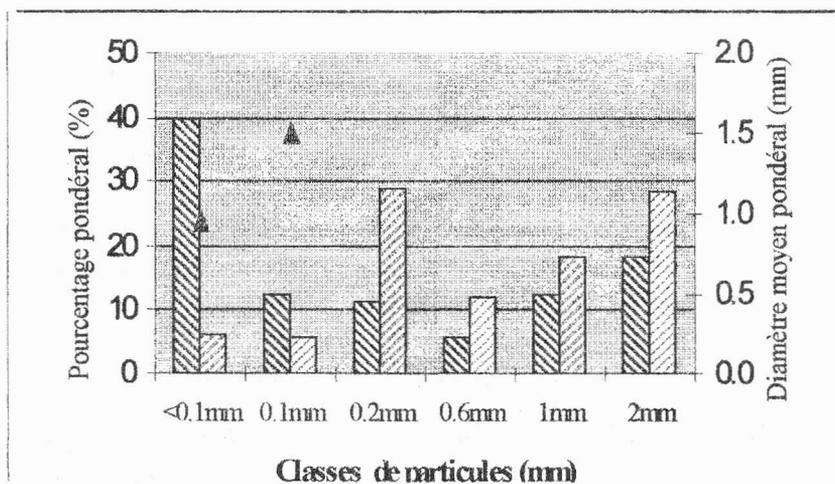


Figure 4 : Influence du conditionneur de sol sur la désagrégation pour le test de désagrégation mécanique

- Effet du conditionneur de sol sur le test de la réhumectation par capillarité

La distribution granulométrique résultantes (figure 5) du témoin se caractérise tout d'abord par l'importance des classes les plus extrêmes : 41 % de particules résultantes se trouvent dans la classe inférieure à 0.1mm et 22 % des agrégats résiduels se trouve dans la classe supérieure à 2 mm. En ce qui concerne les échantillons ayant reçu le traitement au WAC Les fractions grossières sont fortement élevées : Le taux d'agrégats résultant supérieurs à 2mm passe de 22% pour le témoin à plus de 66 % sur l'échantillon traité

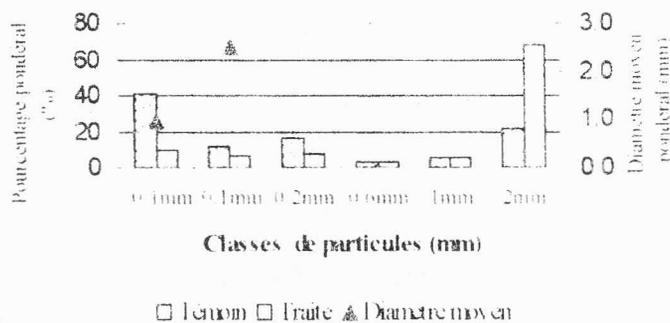


Figure 5 Influence du conditionneur de sol sur la desagregation pour le test de réhumectation par capillarité

DISCUSSION

La matière organique est le paramètre le plus déterminant dans la stabilité structurale. En effet, plus le taux de matière organique augmente, plus l'instabilité structurale diminue. Cette influence est expliquée par le rôle qu'elle joue dans la liaison entre les particules minérales du sol d'une part (TISDALL ET OADES, 1982 ; Chenu, 1989) et l'hydrophobicité des surfaces des parois de pores des particules minérales de sol d'autre part, ce qui a pour effet de ralentir la vitesse d'humectation des agrégats et donc de réduire l'éclatement (JOUANY et al. 1992)

Les résultats montrent que le conditionneur permet d'augmenter la résistance des agrégats vis à vis des tests de désagréations, sans discrimination. Cet effet, est essentiellement dû à la protection de la périphérie des agrégats ayant reçu le traitement lors de la pulvérisation.

Le conditionneur agit en augmentant la cohésion des agrégats et limitant ainsi l'usure exercée lors du test d'agitation mécanique (SAIDI, 1993 & 1996). Il permet de ralentir la désagréation par éclatement. Cette action est due à l'hydrophobie des parois des pores d'accès.

L'effet du conditionneur WAC a été présenté par (LE SOUDER et al., 1991 & 1995) dans le but de mettre en évidence son efficacité dans le maintien d'une structure motteuse du sol aussi bien sur sol sec lors des pluies violentes (cas des orages) que sur sols humides (pluies

hivernales) L'exemple presenté d'application de cette methode dans ce cas particulier illustre l'intérêt de l'utilisation des tests et la description de la distribution de la taille des particules résultantes

CONCLUSION

Du fait du rôle des phénomènes de désagregation dans la formation des croûtes de battance des sols et le declenchement de l'erosion, il est raisonnable de penser que la mesure de la stabilité structurale avec une methode adaptee puisse fournir une bonne estimation de la sensibilité à la battance et de l'erosibilité des sols. La methode proposee tient compte des différents mecanismes de la desagregation et des différents parametres physiques et physico-chimiques de désagregation et de la sensibilité a l'erosion qui peuvent en resulter. Les résultats presentes illustrent l'intérêt de la methode utilisee et montre sa validite pour la prédiction du comportement des sols sous pluie vis-a-vis de la dégradation et de l'erosion

L'objectif d'un test est seulement de fournir une référence de base sur le comportement d'un sol dans les conditions spécifiques, et de permettre des comparaisons entre sols ou l'étude de l'effet d'un paramètre particulier tel que les conditionneurs qui améliorent les propriétés physiques. Les résultats des tests avec l'application du traitement, ont montre que le conditionneur contribue à l'amélioration de la stabilité structurale en limitant la désagregation

Un test peut être interpréter lorsqu'il est comparé a d'autres mesures ou observations et c'est la convergence des résultats qui nous permet de juger de sa valeur. Nous avons privilégié les tests possédant la plus grande étendue possible de leurs résultats et les tests rapides tels que les indices d'instabilité pour multiplier les mesures

Enfin, la stabilité structurale des sols de la plaine de la Mina est sous la dependance principalement de la matiere organique, la conductivite électrique et secondairement de la teneur en argile

BIBLIOGRAPHIE

- AL-DURRAH AL. M., BRADFORD J. M., (1982) - The mechanic of rain drops splash on soil surface. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46 pp. 1086 - 1096.
- BOIFFIN J. (1984) - La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Thèse de Docteur ingénieur INAPG 320p & annexe
- CHENU C. (1989) - Influence of fungal polysaccharide, scleroglucan, on clay microstructures. *Soil Biology and Biochemistry*, 21,299-305.
- FARRES P.J. (1987) - The dynamics of a rainsplash erosion and the role of soil aggregate stability. *Catena*, 14, 119-130.
- FIES J.C. & PANINI T., (1995) - Infiltrabilité et caractéristiques physiques de croûtes formées sur massifs d'agrégats initialement secs ou humides soumis à des pluies simulées. *Agronomie*, 15, 205-220.
- HAIRSINE P. B. et ROSE C. W., (1991) - Rainfall detachment and deposition, sediment transport in the absence of flow driven processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 320-324.
- JOUANY C. & CHENU C. & CHASSIN P., (1992) - Détermination de la mouillabilité des constituants du sol à partir de mesures d'angles de contacts, revue bibliographique. *Science du Sol*, 30, 33-47
- HENIN S., MONNIER G. et COMBEAU, (1958) - Méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Annales Agronomiques*, 9, 73-92
- LE BISSONNAIS Y. (1988) - Analyse des mécanismes de désagrégation et de la mobilisation des particules de terre sous l'action des pluies. Thèse Doct. de science de la terre. Univ. Orleans 196p
- LE BISSONNAIS Y., BRUAND A. & JAMAGNE M. (1989-1990) - Etude expérimentale sous pluie simulée de la formation des croûtes superficielles- apport à la notion d'érodibilité des sols. *Cah. ORSTOM. Ser. Pédol.*, vol. 27, n°1-2, 31-40
- LE BISSONNAIS Y. & LE SOUDER CH. (1995) - Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Etude et gestion des sols*, 2, 1, 1995, 43-56
- LE SOUDER C. (1990) - Effet d'un conditionneur minéral sur la formation des croûtes superficielles du sol sous l'action des pluies. Mode d'action du conditionneur sur la stabilité. Thèse Doct. INAPG, 181p.
- LOCH R.J., (1998) - Aggregate breakdown under rain - its measurement and interpretation. PhD Thesis, University of New England, Armidale.

SAIDI D. (1993) - Etude expérimentale de la stabilité structurale des sols des plaines du Chélif. Thèse Magister, INA, Alger, 140 p.

SAIDI D., (1996) - Effets d'un conditionneur synthétique sur les propriétés physiques des couches de surfaces d'un sol salé de la Mina. Annales Agronomiques de l'INA, Vol.17, N° 1&2,

TISDALL J. M. et OADES J. M., (1982) - Organic matter and water stable aggregate in soil. Journal of soil science, 33, 141- 163.

DISTRIBUTION LATÉRALE ET VERTICALE DE L'E.S.P. DANS LES SOLS DU NORD DE L'ALGERIE

K. DJILI et Y. DAOUD

Institut National Agronomique, El-Harrach Alger

Résumé

Les données de l'E.S.P. de 1741 échantillons de sols représentant 543 horizons de surface, 517 horizons de sub-surface et 681 horizons de profondeur ont été extraits de la banque de donnée pédologique des sols du Nord de l'Algérie. Les résultats ont montré que, quelle que soit la position de l'horizon dans le profil, les valeurs de l'E.S.P. sont très variables dans le sol. D'une façon générale, plus de 75% des sols étudiés sont faiblement à très faiblement sodique. La sodicité moyenne augmente du haut vers le bas du profil.

La spatialisation de 5 classes d'E.S.P. a montré une prédominance des faibles valeurs de la sodicité qui se distribue équitablement sur l'ensemble du Nord de l'Algérie. Les fortes valeurs de l'E.S.P. ont tendance à se localiser loin de la mer et affectent surtout les horizons de profondeur. La distribution des valeurs de l'E.S.P. est bien corrélée avec la latitude et la longitude.

La hauteur des pluies semble être le facteur le plus déterminant de la distribution de l'E.S.P. des sols du Nord de l'Algérie. La relation entre ces deux paramètres est très hautement significative. Le profil sodique est toujours descendant mais avec quelques variances selon qu'il se trouve dans les zones arides, semi-arides ou sub-humides à humides. Les facteurs locaux peuvent être dans certains cas plus déterminant que la hauteur des pluies sur les valeurs de la sodicité. Enfin, ce travail confirme que l'accumulation du sodium sur le complexe adsorbant est un phénomène de milieu sec, mais en plus, que cela n'empêche pas les sels d'être lixiviés vers le bas lors des périodes pluvieuses.

Mots clés : *E.S.P. ; Sodicité ; Profil sodique ; SIG ; Nord de l'Algérie ; Spatialisation ; Pluie.*

INTRODUCTION

Les sols salés sont les sols qui contiennent une teneur élevée en sels plus solubles dans l'eau que le gypse (Aubert, 1976). Une grande quantité de sels solubles dans le sol peut affecter le développement des cultures (Simonneau et Aubert, 1963 ; Aragues, 1983 ; Rhodes, 1985 ; Szalbocs, 1986) et les propriétés pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la chute de la perméabilité hydraulique (Servant, 1970 ; Chevery, 1972 ; Pupisky et Shainberg, 1979 ; Agassi et al., 1981 ; Aubert, 1983 ; Halitim et al., 1984 ; Aragues et Ameskida, 1991a,b ; Daoud, 1993).

Les sels présents dans le sol sont d'origine marine, volcanique ou géologique (Gaucher et Burdin, 1974 ; Servant, 1976). Ils peuvent provenir des eaux des nappes phréatiques ou artésiennes et des eaux d'irrigation (Aubert, 1976 ; Durand, 1983 ; Barbiero et Valles, 1992).

Le vent peut être également un agent de transport des sels (Aubert, 1976). En synthétisant les travaux de différents spécialistes dans le domaine de la salinité des sols, Wyn-Jones et Gunston (1991) citent quatre principales causes de salinisation des terres cultivées. Ils citent la qualité médiocre des eaux d'irrigation, l'insuffisance d'eau pour lessiver les sels, le mauvais drainage des sols et la faible profondeur de la nappe phréatique. Pour Suarez (1992), la salinisation des sols peut être due à la lixiviation des sels solubles, à l'évaporation de l'eau, à l'action éolienne ou encore aux eaux de ruissellement qui déposent leurs sels dans les sols. En étudiant les profils salins des sols d'un delta situés en Kazakhstan et en Ouzbékistan, Kust (1997) conclut que la répartition des sels dans le profil est régie par le niveau des eaux souterraines, la durée de la sécheresse et par la particularité du méso-relief du delta. En régime non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse (mass flow) vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (Raju et al., 1993). Dans les mêmes conditions, You et al. (1992) ont étudié expérimentalement la remontée capillaire et l'accumulation des sels en surface. Ils suggèrent que cette accumulation dépend de la profondeur de la nappe et de la texture du sol.

Les sols salés ont un caractère azonal. Ils se rencontrent dans toutes les parties du monde (Servant, 1976 ; Mihaï et Dincu, 1976 ; Durand, 1983) et se distribuent non seulement dans les zones arides et semi-arides, mais aussi dans les zones sub-humides et même humides (Szalbocs, 1992). La distinction entre les différents types de sols salés se fait par le biais du pH, de la conductivité électrique et de l'E.S.P. (USSL, 1954 ; CPCS, 1967 ; AFES, 1995 ; Soil Taxonomy, 1994). Cependant, l'E.S.P. est l'indice le plus utilisé dans la caractérisation de la stabilité structurale et la classification des sols (Cook et Muller, 1997).

Les forts taux de sodium échangeable peuvent influencer considérablement de nombreuses propriétés des sols comme la dispersion des particules argileuses (Grachev et al., 1997), la dispersion de la matière organique (Amrhein et al., 1992) et la conductivité hydraulique (Zahow et Amrhein, 1992). Ben-hur et al. (1992) ont montré que les sols dont l'E.S.P. est élevé sont plus susceptibles à l'érosion et à la migration des particules fines que ceux dont l'E.S.P. est faible. Karpachevsky et al. (1997) expliquent que la température influence la diffusion des sels par l'augmentation de l'adsorption ionique. La variation de l'E.S.P. est également en relation avec la variation de la hauteur des pluies (Gauer et Stahr, 1991).

Bien que l'E.S.P. soit donc une propriété importante des sols, sa quantification, sa distribution dans le profil et son extension dans l'espace n'a fait l'objet d'aucune synthèse à l'échelle de l'Algérie. Ainsi, le présent travail est une première contribution pour combler ce vide à l'échelle des sols situés dans le Nord de l'Algérie.

MATERIEL ET METHODE

Les calculs sont effectués à partir des données extraites de la banque des sols du Nord de l'Algérie (Djili, 1999). Les échantillons proviennent d'un effectif de 1741 horizons dont 543 horizons de surface (H1), 517 de sub-surface (H2) et 681 de profondeur (Hp). Le pourcentage de sodium échangeable (E.S.P.) est calculé selon la formule : $E.S.P. = (Na \text{ échangeable} \times 100) / \text{Capacité d'échange cationique}$.

La première phase consiste à déterminer la structure des valeurs de l'E.S.P. dans chaque catégorie d'horizon en utilisant les statistiques descriptives. Dans la deuxième phase,

il s'agit de spatialiser, moyennant un système d'information géographique (arc/info), 5 classes d'E.S.P. (classes des valeurs très faibles (0 - 5%), faibles (5 - 10%), moyennes (10 - 15%), fortes (15 - 20%) et très fortes (> 20%)). A ce stade, nous montrerons dans quelle mesure l'E.S.P. est corrélé avec la longitude et avec la latitude. La troisième phase a pour objet de montrer l'influence des hauteurs des pluies sur la distribution spatiale et verticale de l'E.S.P.. Des profils moyens de la distribution de l'E.S.P. seront proposés pour les zones arides, semi-arides et sub-humides à humides.

RESULTAT ET DISCUSSION

La structure des données

Les valeurs de l'E.S.P. sont très variables. En effet, le tableau 1 montre que le sodium échangeable peut se trouver à l'état de trace comme il peut occuper l'essentiel des sites du complexe adsorbant. Les fortes valeurs de la variance et du coefficient de variation confirment la grande variabilité de l'E.S.P. des sols du nord de l'Algérie. Le calcul des moyennes et des quartiles des taux de l'E.S.P. révèlent un accroissement de l'E.S.P. selon la profondeur. Le calcul de la médiane montre que 50% au moins des horizons étudiés ont des E.S.P. très faible (< 5%). L'E.S.P. moyen est faible (entre 5 et 10%) avec un léger accroissement du haut vers le bas du profil.

Tableau 1. : Structure de l'E.S.P. dans le sol

Horizons	surface	sub-surface	profondeur
Nombre	543	517	681
E.S.P. minimum	0.03	0.07	0.05
E.S.P. maximum	74.92	76.82	90.73
E.S.P. moyen	5.61	6.56	9.42
Variance	65.70	91.01	192.43
C.V.%	144.38	145.42	192.43
75% tile	5.86	7.35	9.98
50% tile	3.32	3.37	4.22
25% tile	1.56	1.68	1.9

La comparaison des moyennes prises deux à deux (tableau 2) montre que les différences entre les horizons de profondeur et celles des horizons de surface ou de sub-surface sont très hautement significatives. En revanche, cette différence est non significatives entre les horizons de surface et de sub-surface. Ces résultats montrent que, d'une façon globale, les horizons de profondeur sont plus sodiques que ceux de surface.

Tableau 2 : comparaison des moyennes des E.S.P.

Horizons	h1 et h2	h1 et hp	h2 et hp
t calculé	1.76	5.67	4.02
p	0.077	$1.71 \cdot 10^{-8}$	$6.17 \cdot 10^{-5}$
Signification	ns	*	*

Spatialisation des taux de l'E.S.P.

- Distribution latérale et verticale

Le nombre d'horizons étant de trois (H1, H2 Et Hp), nous obtenons 15 cartogrammes (5 classes d'E.S.P. x 3 horizons) représentant la distribution des valeurs de l'E.S.P. dans l'espace et dans le profil (figure 1). La lecture de cette figure se fait de gauche à droite (H1 à Hp) pour la distribution de l'E.S.P. dans le profil et du haut vers le bas (V1 à V5) pour la distribution des classes de l'E.S.P. au sein de chaque catégorie d'horizon.

La figure 1 montre que, quelle que soit la position de l'horizon dans le profil, se sont les teneurs très faibles de l'E.S.P. (V1) qui prédominent dans les sols du Nord de l'Algérie. Cette classe se distribue aléatoirement sur l'ensemble du territoire national. En revanche, la classe des teneurs fortes (V4) et à un moindre degré des teneurs très fortes (V5) sont les moins fréquentes. Trois faits marquants se distinguent :

- Quelle que soit la position de l'horizon dans le profil, plus les valeurs de l'E.S.P. augmentent (V1 vers V5), plus elles s'éloignent de la frange nord du pays. Ceci semble indiquer que la latitude aurait un effet sur la distribution spatiale des valeurs de l'E.S.P..

- Au niveau de chaque catégorie d'horizons, plus les valeurs de l'E.S.P. augmentent, et plus elles ont tendance à se localiser vers le Centre-Est du pays. Ceci semble indiquer que la longitude aurait également une influence sur la distribution des valeurs de l'E.S.P..

- Au niveau du profil (H1 A Hp), exception faite des très faibles valeurs de l'E.S.P. (V1) qui semblent affecter préférentiellement les horizons de surface (H1), toutes les autres classes (V2 à V5) sont nettement mieux représentées dans les horizons de sub-surface (H2) et de profondeur (Hp). Ceci suggère que les horizons de profondeur soient globalement plus sodiques que les horizons de surface ou de sub-surface.

Pour quantifier cette distribution, nous avons réalisé deux histogrammes de fréquence (figures 2 et 3). Ces figures montrent que la fréquence des différentes classes d'E.S.P. présente la même structure dans les horizons de surface et de sub-surface par ordre décroissant : $V1 > V2 > V3 > V5 > V4$. Au niveau des horizons de profondeur, une seule différence se distingue par rapport au classement précédant (V5 devient plus grand que V3) : $V1 > V2 > V5 > V3 > V4$. Ce résultat montre que, quelle que soit la position de l'horizon dans le profil, les classes des très faibles (V1) et faibles (V2) valeurs de l'E.S.P. sont toujours les plus prédominantes dans les sols du Nord de l'Algérie. En revanche, les fortes valeurs (V4) de l'E.S.P. sont les moins fréquentes. En effet, la classe V1 (0- 5) est largement dominante dans tous les horizons avec respectivement une fréquence de 70% au sein des horizons de surface, 66% en sub-surface et 54% en profondeur. La fréquence de la classe V2 est sensiblement la même pour les horizons de surface et de sub-surface (~16%), mais augmente légèrement dans les horizons de profondeur (~20%). La classe la moins bien représentée est la classe V4 (15 - 20) qui concerne seulement ~2% des horizons de surface, 4,4 % des horizons de sub-surface et 3,8% des horizons de profondeur. La classe V3 est mieux représentée que V5 dans les horizons de surface et de sub-surface (6,2% et 6,7% contre 4,6% et 6,1%). Au niveau des horizons de profondeur, la classe V5 est plus fréquente que la classe V3 avec 12,3% contre 8,5%. Pour la classe des très faibles teneurs (V1) l'ordre des fréquences des horizons par ordre décroissant est de type : $H1 > H2 > Hp$. Cet ordre s'inverse pour les classes V2, V3 et V5 où il est de type : $Hp > H2 > H1$. Pour la classe V4, l'ordre des fréquences des horizons est de type : $H2 > Hp$

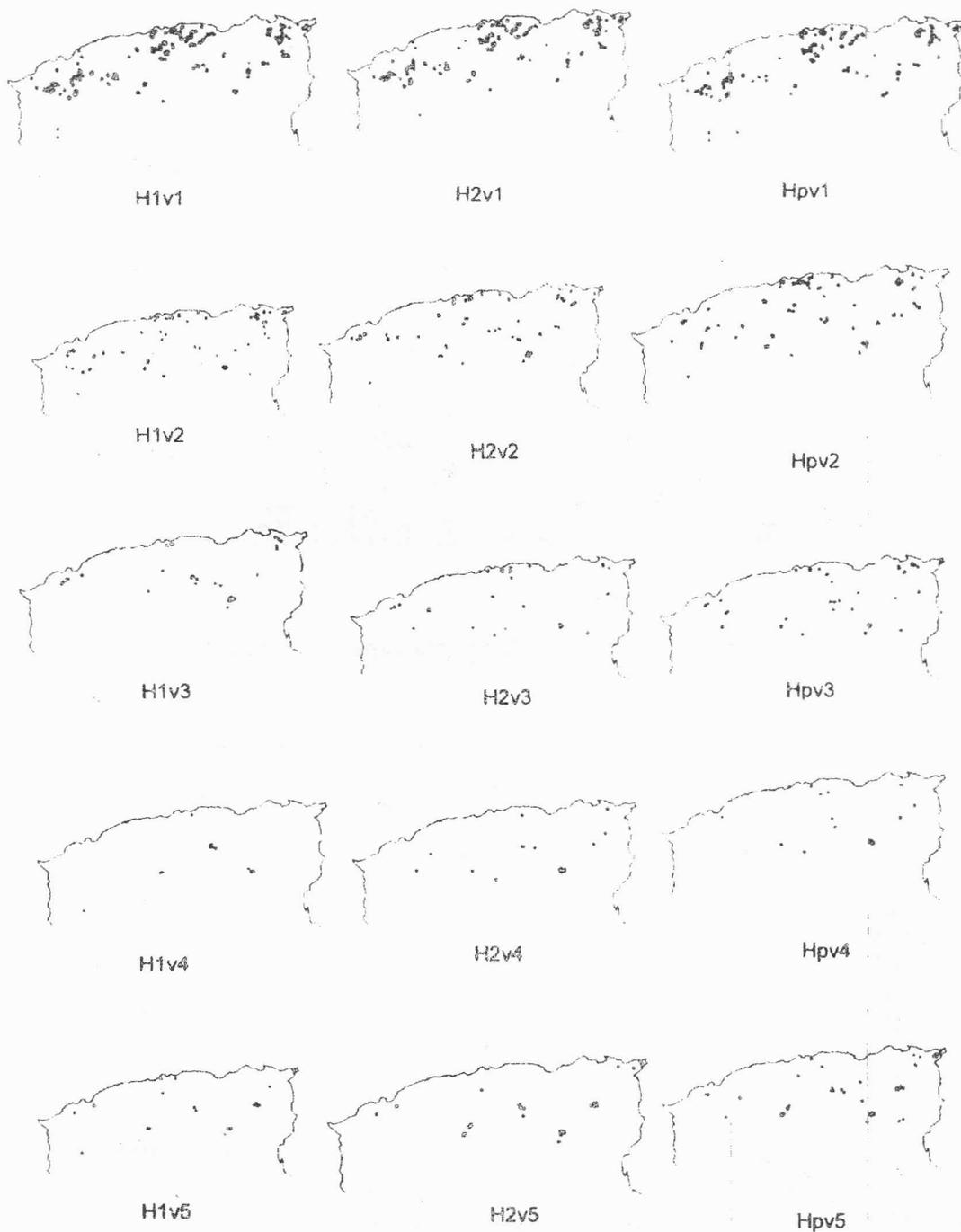


Figure 1 : Distribution des classes de l'esp dans l'espace et dans le profil

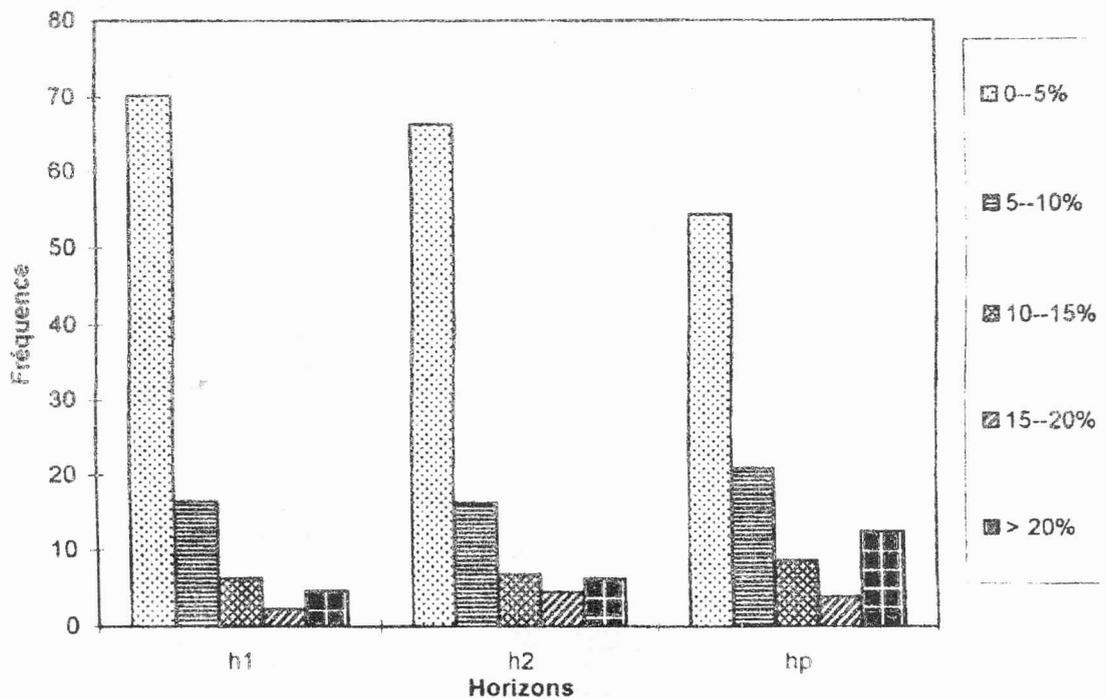


Figure 2 : Fréquence des classes d'ESP par type d'horizon

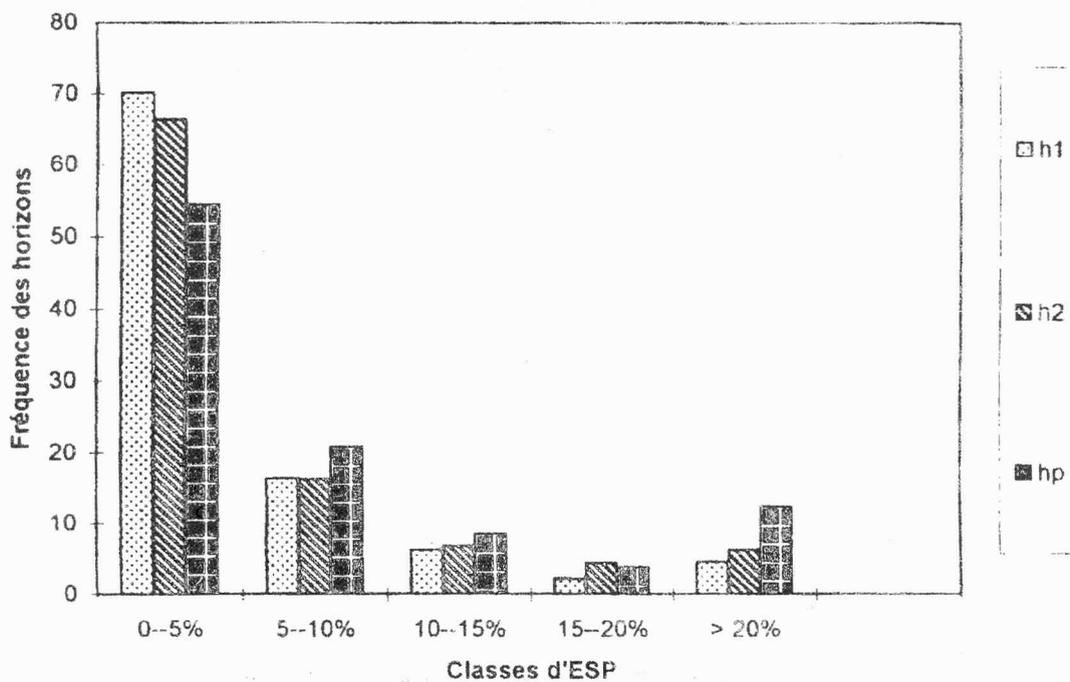


Figure 3 : Fréquence des horizons par classe des taux de sodium échangeable

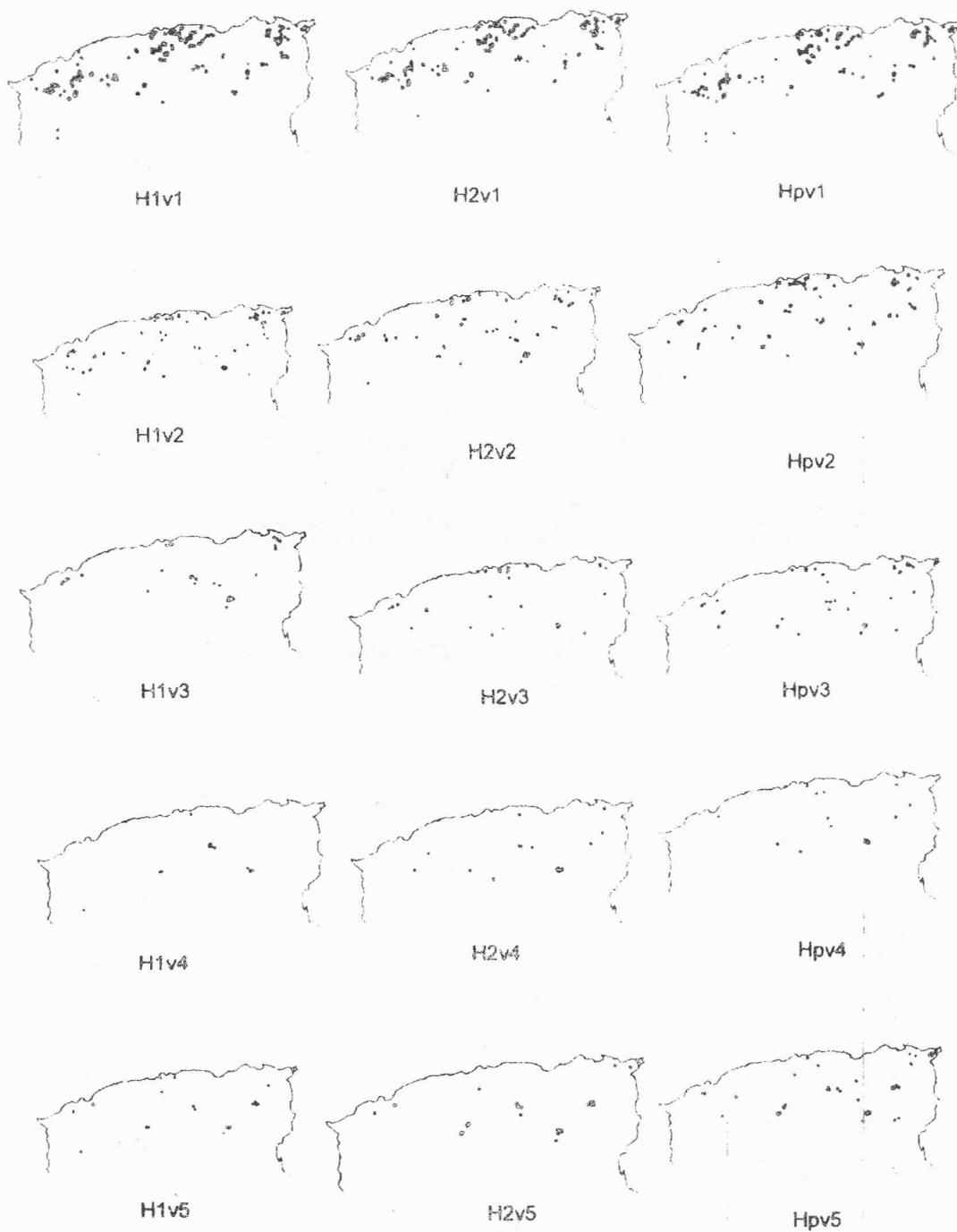


Figure 1 : Distribution des classes de l'esp dans l'espace et dans le profil

➤ H1. Ce résultat confirme que les horizons de profondeur ont tendance à être plus sodiques que les horizons de surface ou de sub-surface.

- Distribution selon la longitude

Les calculs (tableau 3) montrent que la relation entre la longitude et l'E.S.P. est dans tous les cas significative et positive. Ce résultat indique que la sodicité des sols croît de l'Ouest vers l'Est. L'allure des droites de tendance linéaire (figures 4-a, 4-b et 4-c) illustrent parfaitement ce phénomène dont l'intensité est plus marquée au sein des horizons de profondeur. En effet, le coefficient de régression b passe de 0.003 au niveau des horizons de surface à 0.006 pour les horizons de sub-surface et à 0.009 pour ceux de profondeur. La répartition des nuages des points de ces figures montre que les plus forts E.S.P. se situent généralement entre les longitudes 500 et 900 km.

Tableau 3 : Résultats statistiques de la distribution de l'E.S.P. en fonction de la longitude

Horizons	de surface	de sub-surface	de profondeur
Régressions	Linéaire	Linéaire	Linéaire
Nombre	543	518	682
b	0.0031	0.0065	0.0099
r	0.0836	0.147	0.154
Signification	*	*	*

- Distribution selon la latitude

Les résultats du tableau 4 montrent que l'E.S.P. est très fortement corrélé avec la latitude. Cette relation est dans tous les cas significative et présente une pente négative.

Tableau 4 : résultats statistiques de la latitude

Horizons	de surface	de sub-surface	de profondeur
Régression	Linéaire	Linéaire	Linéaire
Nombre	543	518	682
b	-0.022	-0.025	-0.0371
r	0.216	0.195	0.208
Signification	*	*	*

Les droites de régression linéaire (figures 5-a, 5-b et 5-c) révèlent une diminution des valeurs de l'E.S.P. du Sud vers le Nord. Trois faits marquants attirent l'attention:

- L'intensité de cette relation augmente selon la profondeur. En effet, les valeurs absolues de la pente (b) augmentent respectivement de 0.021 pour les horizons de surface à 0.025 pour les horizons de sub-surface et à 0.037 pour les horizons de profondeur.

- Quelle que soit la position de l'horizon dans le profil, les plus fortes teneurs de l'E.S.P. se situent essentiellement entre les latitudes 170 et 280. Elles correspondent globalement aux régions des hauts plateaux.

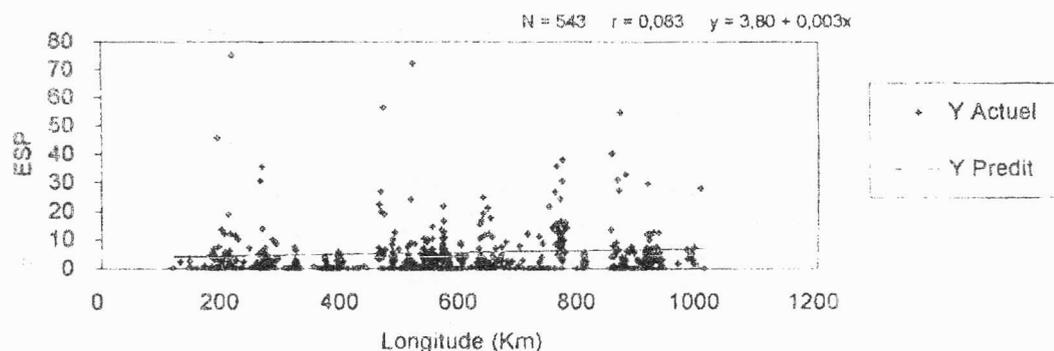


Figure 4-a : Distribution linéaire de l'esp selon la longitude (horizons de surface)

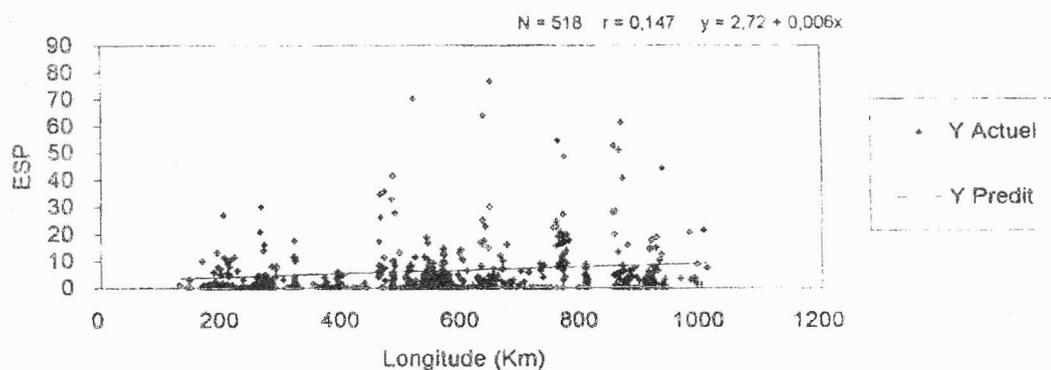


Figure 4-b : Distribution linéaire de l'esp selon la longitude (horizons de sub-surface)

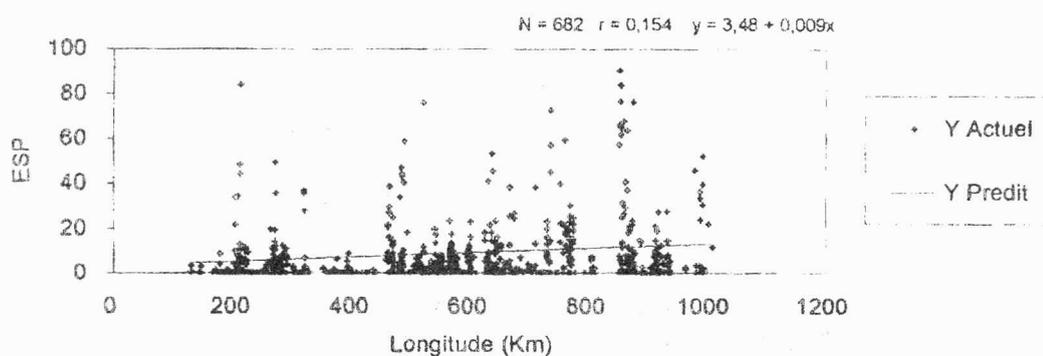


Figure 4-c : Distribution linéaire de l'esp selon la longitude (horizons de profondeur)

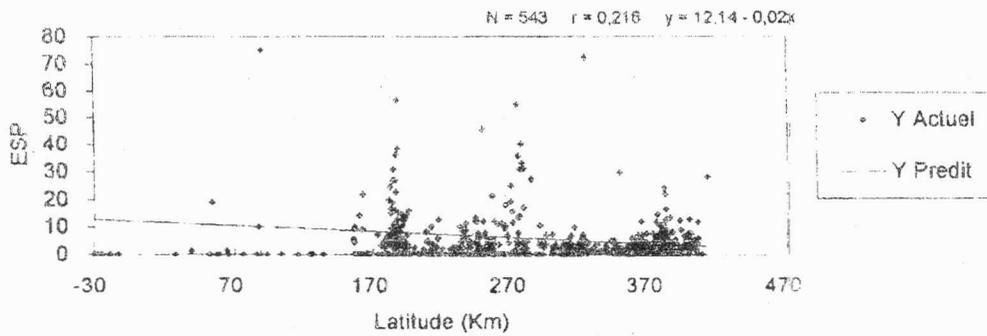


Figure 5-a : Distribution linéaire de l'esp en fonction de la latitude (horizons de surface)

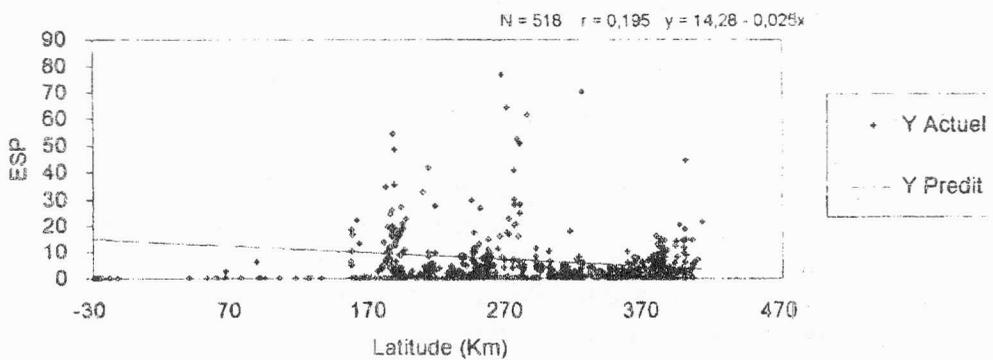


Figure 5-b : Distribution linéaire de l'esp en fonction de la latitude (horizons de sub-surface)

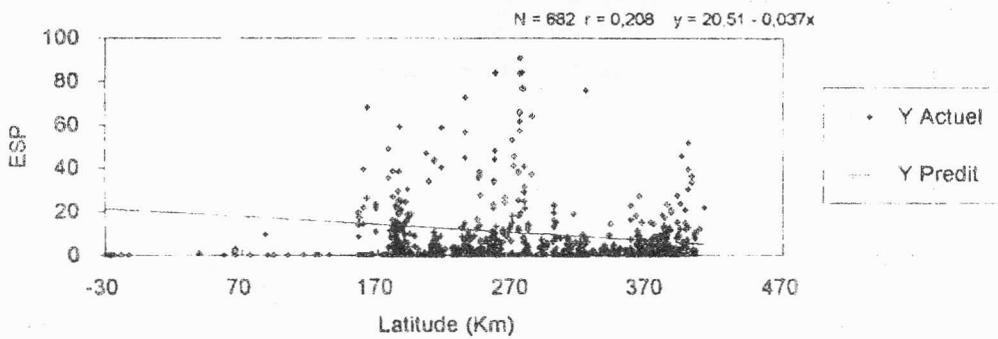


Figure 5-c : Distribution linéaire de l'esp en fonction de la latitude (horizons de profondeur)

- La légère progression de l'E.S.P. à l'extrême Nord de l'Algérie (latitude 400) correspondrait aux sols salés de la région de Annaba.

De ce qui précède, il ressort que l'E.S.P. se distribue selon la longitude et la latitude. L'intensité de cette distribution est nettement plus marquée pour les horizons de profondeur. De ce fait, nous pouvons conclure que les valeurs de l'E.S.P. des sols du Nord de l'Algérie sont en étroite relation avec leurs coordonnées géographiques. Cependant, les différents travaux ont montré que les sols salés ont caractère azonale (Servant, 1976 ; Mihai et Dincu, 1976 ; Durand, 1983) et que la présence et la distribution des sels dans le profil sont régis par plusieurs facteurs locaux tels que le micro-relief, la profondeur et la qualité de la nappe, la roche et les conditions climatiques (Wyn-Jones et Gunston, 1991 ; Barbiero et Valles, 1992 ; Suarez, 1992 ; Kust, 1997). Cependant, Gauer et Stahr (1991) ont montré que la variation de l'E.S.P. est en relation avec celle de la hauteur des pluies. Dans le cas de notre étude qui est réalisée à une très petite échelle, nous avons fait abstraction des facteurs locaux tels que la roche mère et le micro-relief. Le seul facteur explicatif de la distribution de l'E.S.P. dans l'espace ayant un caractère générale est la hauteur des pluies. Ainsi, nous avons corrélé la hauteur des pluies avec la longitude et avec la latitude. Les résultats obtenus ($r = 0,78$ et $b = 1,86$ pour la latitude et $r = 0,30$ et $b = 0,29$ pour la longitude) montrent que la hauteur des pluies est très fortement corrélée à la latitude et à la longitude. L'influence de la latitude est nettement plus marquée que celle de la longitude. Ce résultat est analogue à celui obtenu entre l'E.S.P. et la latitude et entre l'E.S.P. et la longitude. Il montre que les hauteurs des pluies augmentent du Sud vers le Nord et de l'Ouest vers l'Est. C'est pourquoi nous tenterons, dans ce qui suit, de montrer dans quelle mesure la hauteur des pluies influence la distribution spatiale de l'E.S.P. des sols du Nord de l'Algérie.

Influence de la pluie sur la répartition latérale et verticale de l'E.S.P.

Dans un premier temps, nous présenterons les résultats de l'influence des hauteurs des pluies sur la distribution de l'E.S.P. à l'échelle du Nord de l'Algérie. Par la suite, nous donnerons les résultats relatifs à trois tranches pluviométriques correspondant aux zones arides, semi-arides et sub-humides à humides.

- A l'échelle du Nord de l'Algérie

La distribution des nuages des points (figures 6-a, 6-b et 6-c) montre que les fortes valeurs de l'E.S.P. coïncident avec les faibles hauteurs des pluies. L'allure des droites de régression linéaire traduit bien ce phénomène. Les fortes valeurs de l'E.S.P. se distribuent essentiellement dans la tranche des hauteurs de pluie inférieures à 450 mm. Au-delà de cette valeur, il se produit une nette diminution de l'E.S.P. Les calculs (tableau 5) révèlent que, quelle que soit la position de l'horizon dans le profil, l'E.S.P. est fortement corrélée à la hauteur des pluies. Cette relation est très hautement significative. Ce résultat signifie que plus la hauteur des pluies augmente et plus les valeurs de l'E.S.P. deviennent faibles. Cependant, les figures 6a, 6b et 6c montrent que, parfois, aux fortes hauteurs de pluies correspondent de fortes valeurs de l'E.S.P.. Nous expliquons ce phénomène par le caractère azonale de la salinité des sols. Concrètement, ceci signifie que des facteurs locaux tels que la topographie (dépression) ou la présence d'une source importante de sels relativisent l'influence des pluies. Les fortes valeurs de l'E.S.P. situées dans la tranche pluviométrique comprise entre 720 et 820 mm correspondraient aux sols salés de la région de Annaba. Ce résultat concorde avec celui obtenu entre l'E.S.P. et la longitude et entre l'E.S.P. et la latitude. De même, dans les zones situées dans la tranche pluviométrique supérieure à 450 mm, les plus fortes valeurs de l'E.S.P.

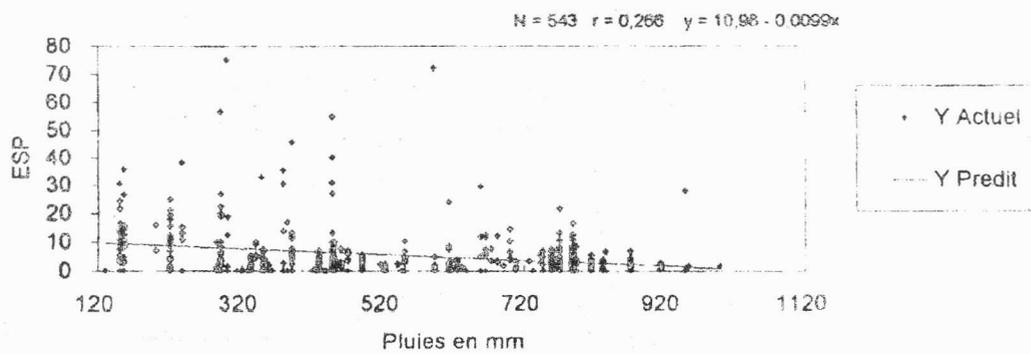


Figure 6-a : Distribution linéaire de l'esp selon la hauteur des pluies (horizons de surface)

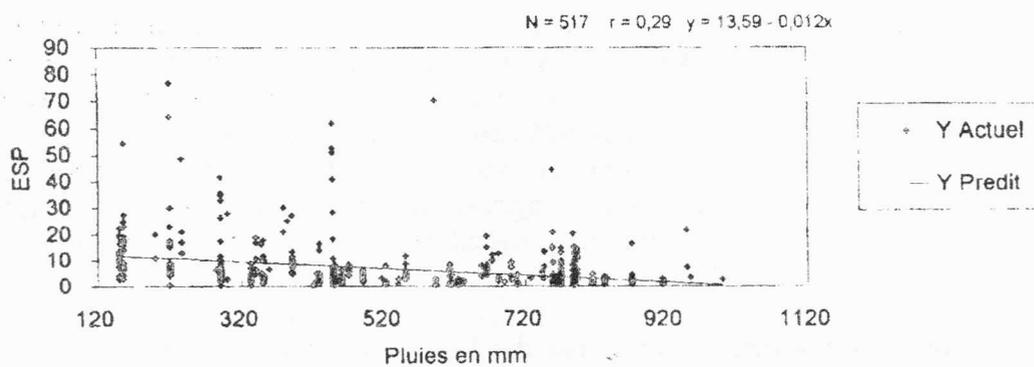


Figure 6-b : Distribution linéaire de l'esp selon la hauteur des pluies (horizons de sub-surface)

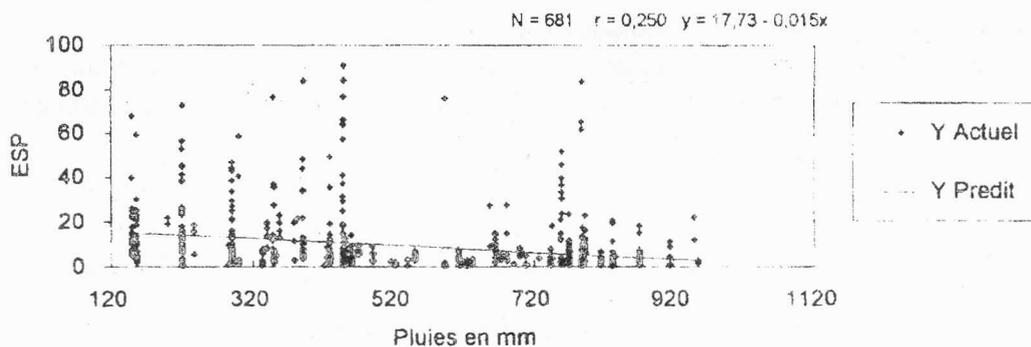


Figure 6-c : Distribution linéaire de l'esp selon la hauteur des pluies (horizons de profondeur)

sont enregistrées au sein des horizons de profondeur. Ceci suggère que la lixiviation des sels solubles serait importante dans ces zones.

Tableau 5 : Résultats statistiques de la relation E.S.P. en fonction de la pluie

Horizons	de surface	de sub-surface	de profondeur
Régressions	Linéaire	Linéaire	Linéaire
Nombre	543	517	681
b	-0.010	-0.0129	-0.0156
r	-0.266	-0.290	-0.250
significatio n	*	*	*

- A l'échelle de trois zones pluviométriques

Pour mieux valoriser la distribution de l'E.S.P. en fonction des hauteurs des pluies, nous avons recherché la distribution des moyennes des taux de l'E.S.P. dans trois tranches pluviométriques correspondantes aux zones arides, semi-arides et sub-humides à humides. Les résultats statistiques mentionnés dans le tableau 6 soulèvent deux faits essentiels :

- Dans chacune des tranches pluviométriques, la moyenne de l'E.S.P. des horizons de profondeur est toujours plus grande que celle des horizons de sub-surface qui elle même est plus grande que celle des horizons de surface. La distribution de la moyenne des valeurs de l'E.S.P. est toujours de type : $H_p > H_2 > H_1$.

- Entre horizons de même catégorie, les moyennes des E.S.P. des tranches pluviométriques des régions arides sont dans tous les cas plus fortes que celles des tranches semi-arides ou sub-humides à humides. La succession se fait toujours dans le sens des plus faibles hauteurs de pluies vers les plus fortes.

Tableau 6 : moyennes des taux des E.S.P. dans les zones pluviométriques

Horizons	horizons de surface		horizons de sub-surface		horizons de profondeur	
	nombre	moyenne %	nombre	Moyenne %	nombre	moyenne %
P < 300 mm	85	11.13	82	14.51	133	15.97
350 < P < 450	103	6.13	92	7.58	116	13.96
P > 600 mm	222	3.96	218	4.36	277	6.16

La comparaison des moyennes au sein d'une même tranche pluviométrique (tableau 7) montre des différences non significatives entre les horizons de surface et de sub-surface. Ceci indique que les valeurs de l'E.S.P. ne varient pas sensiblement au sein des horizons de surface et de sub-surface. En revanche, dans tous les autres cas, exception faite des horizons de sub-surface et de profondeur des zones arides, cette différence est toujours significative. Ces résultats confirment les résultats obtenues précédemment, à savoir que les horizons de profondeur sont toujours plus sodiques que les horizons de surface ou de sub-surface.

Tableau 7 : comparaison des moyennes des horizons dans chaque tranche pluviométrique

Pluie mm	p < 300			350 < p < 450			p > 600		
	h1 et h2	h2 et hp	h1 et hp	h1 et h2	h2 et hp	h1 et hp	h1 et h2	h2 et hp	h1 et hp
t calculé	1.842	0.721	2.712	0.962	2.759	3.688	0.919	2.44	3.097
p	0.067	0.471	0.007	0.337	0.006	$2.8 \cdot 10^{-4}$	0.358	0.014	0.002
signif.	ns	ns	*	ns	*	*	ns	*	*

Les résultats du tableau 8 révèlent que les différences des moyennes des E.S.P. entre horizons de même catégorie au sein des trois tranches pluviométriques sont dans tous les cas significatives. Ils témoignent que la pluie a une forte influence sur la distribution des taux de l'E.S.P. La différence des moyennes des E.S.P. des horizons de profondeur des sols situés dans les zones arides et semi-arides ne sont pas significatives. Ce phénomène serait lié aux faibles précipitations qui, combinées aux fortes évapotranspiration, seraient incapables d'affecter les profils en profondeur.

Tableau 8 : comparaison des moyennes du % de E.S.P. entre horizons de même catégorie dans les trois zones pluviométriques (A<300mm ; 350<B<450mm ; C>600mm)

Les horizons	t	p	Signification
h1 (A) x h1 (B)	3.605	$4 \cdot 10^{-4}$	*
h1 (A) x h1 (C)	9.176	$6.9 \cdot 10^{-18}$	*
h1 (B) x h1 (C)	2.845	0.004	*
h2 (A) x h2 (B)	3.57	$4.6 \cdot 10^{-4}$	*
h2 (A) x h2 (C)	9.27	$3.8 \cdot 10^{-18}$	*
h2 (B) x h2 (C)	3.412	$7.2 \cdot 10^{-4}$	*
hp (A) x hp (B)	0.925	0.355	ns
hp (A) x hp (C)	7.982	$1.4 \cdot 10^{-14}$	*
hp (B) x hp (C)	5.22	$2.8 \cdot 10^{-7}$	*

Ces résultats permettent de proposer des modèles de la distribution du profil type sodique pour les trois tranches pluviométriques. La figure 7 montre que le profil sodique moyen des sols du Nord de l'Algérie est toujours descendant. Il est de type $H_p > H_2 > H_1$. Les sols des régions arides sont nettement plus sodiques (13,87%) que ceux des régions semi-arides (9,22%) et que ceux des régions humides et sub-humides (4,82%). Ces valeurs moyennes de l'E.S.P. pour l'ensemble du profil indiquent que le processus de sodisation du complexe adsorbant est croissant en allant du Nord vers le Sud (pluviométrie décroissante) et du haut vers le bas du profil (les horizons de profondeur étant toujours plus sodiques que ceux sus-jacents). Les plus grands écarts des valeurs de l'E.S.P. dans le profil sont toujours entre les horizons de surface et ceux de profondeur. Ils sont de 4,84% en zone aride, 7,83% en zone semi-aride et 2,2% en zone humide et sub-humide. En d'autres termes, les horizons de profondeur sont 1,4 fois plus sodiques que les horizons de surface dans les zones arides et respectivement 2,2 fois et 1,5 fois dans les zones semi-aride et sub-humides à humides. En revanche, les plus petits écarts de l'E.S.P. sont de 1,46% en zone aride (entre H2 et Hp), 3,62% en zone semi-aride (H1 et H2) et 0,4% seulement en zone humide et sub-humide (H1 et H2). Ces résultats conduisent à dire que le processus de sodisation du complexe adsorbant est homogène sur l'ensemble du profil situé en zone aride. Ce phénomène serait dû à la faible pluviométrie qui, combinée à l'évapotranspiration intense, ne permet pas de lixivier

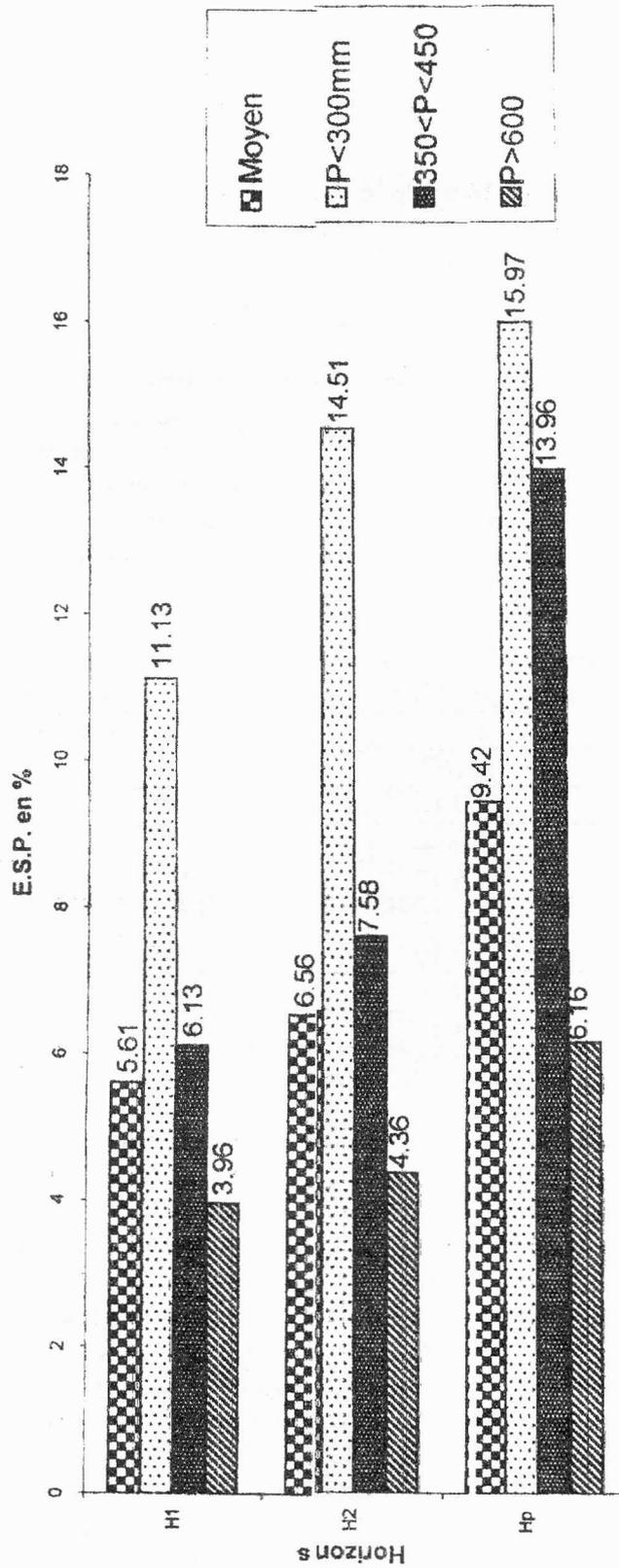


Figure 7 : Profils types de la distribution des valeurs moyennes de l'ESP

les sels en profondeur. En zone semi-aride, les horizons de profondeur sont approximativement deux fois plus sodiques que ceux de surface ou de sub-surface. Ce résultat suggère que dans ces zones, la dynamique des sels se fasse surtout du haut vers le bas du profil. La remontée capillaire des sels reste assez importante, ce qui explique les valeurs relativement fortes de l'E.S.P. des horizons de surface et de sub-surface. Dans les zones humides et sub-humides, la sodicité est relativement faible. Les différences entre horizons sont également faibles. A ce niveau, les pluies seraient suffisantes pour drainer les sels hors du profil et empêcher ainsi la sodisation du complexe adsorbant. Le profil sodique moyen pour l'ensemble des sols du Nord de l'Algérie est également descendant. Il constitue un intermédiaire entre celui des zones semi-arides et celui des zones sub-humides à humides.

CONCLUSION

Les résultats obtenus montrent que les valeurs des E.S.P. dans les sols du Nord de l'Algérie sont très variables. Plus de 75% des sols sont faiblement à très faiblement sodiques avec une augmentation de la sodicité en profondeur.

Les calculs ont montré que l'E.S.P. est fortement corrélé à la latitude et la longitude du Nord de l'Algérie. Les sols situés à l'Est du pays sont généralement plus sodiques que ceux situés à l'Ouest. L'Ouest étant plus sec que l'Est, ce résultat peut être expliqué par le caractère azonale de la salinité (Servant, 1976 ; Mihai et Dincu, 1976 ; Durand, 1983 ; Szalboics, 1992) et donc de la sodicité. De même, la carte des sols de l'Algérie (Durand, 1954) révèle que dans les régions Est, particulièrement dans le constantinois, les sols salés sont bien représentés. Nous avons montré aussi que les sols situés au Sud sont nettement plus sodiques que ceux du Nord. La spatialisation des différentes classes d'E.S.P. confirme ce résultat. La pluie influence fortement la distribution verticale et spatiale de l'E.S.P.. Les calculs ont montré que les plus fortes valeurs de l'E.S.P. coïncident avec les zones à faible pluviométrie, alors que les sols les moins sodiques se situent dans les zones sub-humides et humides. Ce résultat confirme celui de Gauer et Stahr (1991) qui ont montré que les variations de l'E.S.P. sont en relation étroite avec la hauteur des pluies. Quelle que soit la tranche pluviométrique, les différences de moyennes de l'E.S.P. sont statistiquement non significatives entre les horizons de surface et de sub-surface. Dans tous les autres cas, cette différence est significative. Ce phénomène peut être expliqué par le caractère très soluble des sels qui peuvent être lixiviés assez facilement par de faibles quantités d'eau dans le sol.

Enfin, le profil sodique moyen est toujours descendant quelle que soit la zone climatique dans laquelle il se trouve. Le profil sodique diffère d'une zone climatique à l'autre. Il est relativement homogène dans les zones arides mais avec des E.S.P. assez forts. Il est également assez homogène dans les zones sub-humide et humide mais avec des E.S.P. faibles. C'est dans les régions semi-arides qu'il se différencie le plus, les horizons de profondeur étant 2,2 fois plus sodiques que ceux de surface. Ces résultats confirment que l'accumulation du sodium sur le complexe adsorbant est un phénomène de milieu sec, mais en plus, que cela n'empêche pas les sels d'être lixiviés vers le bas lors des périodes pluvieuses.

BIBLIOGRAPHIE

- A.F.E.S. (1995) - Référentiel pédologique, I.N.R.A. 332p
- AGASSI M., SHAINBERG I., MORIN J. (1981) - Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45, pp. 848-851
- AMRHEIN C., STRONG J. E., MOSHER P. A. (1992) - Effect of deicing salts on metal and organic matter mobilization in road-side soils. *Environmental Science & Technology*, 26, 4, 703-709
- ARAGÜES R., AMESKETA E. (1991a) - Dispersión de arcillas y conductividad hidráulica de cinco horizontes de un suelo salino-sódico. *Investigación Agraria, Producción Vegetales*, 6, 2, 161-169
- ARAGÜES R., AMEZKETA E. (1991b) - Respuesta de cinco horizontes de un suelo salino-sódico al lavado con soluciones de diferente concentración salina. *Investigación Agraria, Producción Vegetales*, 6, 2, 147-159.
- ARAGÜES R. (1983) - The quality and availability of water used in irrigation systems. *Proc. 17 th coll. Int., Potash Institued Bern*, pp. 315-323.
- AUBERT G. (1976) - Les sols sodiques en Afrique du nord. *Ann. de l'I.N.A. (El Harrach)*, Vol. VI n° 1, pp 185-196.
- AUBERT G. (1983) - Observations sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols sales ou salsodiques. *Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Pédol.*, 20 (1), pp. 73-78.
- BARBIERO L., VALLES V. (1992) - Aspects géochimiques de l'alcalinisation des sols dans la vallée du Dallol Bosso (République du Niger) *Cahier ORSTOM*, Vol. XXVII, 2, 143-152.
- BEN-HUR M., CLARK O., LETEY J. (1992) - Exchangeable Na, polymer, and water quality on water infiltration and soil loss. *Arid soil Research and Rehabilitation*, 6, 4, 311-317
- CHEVERRY C. (1972) - Exemple d'application des travaux de l'«U.S. Salinity Laboratory» (1963-1968) sur l'alcalinisation des sols soumis à l'action d'eaux bicarbonatées. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédol.*, 10 (2), pp. 193-203.
- COOK G. D., MULLER W. J. (1997) - Is exchangeable sodium content a better index of soil sodicity than exchangeable sodium percentage?: a reassessment of published data. *Soil Science*, 162, 5, 343-349.
- CPCS, (1967) - Classification des sols. Laboratoire de géologie pédologie de l'E.N.S.A. Paris Grignon. 87p

- DAOUD Y. (1993) - Contribution à l'étude des sols des plaines du Cheliff. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doct. d'Etat, I.N.A., Alger, 277p
- DURAND J.H. (1983) - Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imprimerie Boudin, Paris, 339p.
- GAUCHER G., BURDIN S. (1974) - Géologie, Géomorphologie et Hydrologie des terrains sales. Ed. P.U.F., Paris, 231 p.
- GAUER J., STAHR K. (1991) - Boden und bodendynamik unter zunehmender Aridität auf dem Kalksteinplateau in Nordwestgypte. Mitteilungen der deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 66, 2, 1141-1144
- GRACHEV V. A., LYUBIMOVA I. N., PAVLOV V. A. (1997) - Threshold indices of sodium peptization capacity in soils. Pochvovedenie, n° 8, 966-972.
- HALITIM A., ROBERT M., TESSIER D., PROST R. (1984) - Influence des cations échangeable (Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) et de la concentration saline sur le comportement physique (rétention en eau, conductivité hydraulique) de la montmorillonite. Agronomie, 4 (5), pp. 452-459.
- KARPACHEVSKII L. O., NARIMEANIDZE E. I., HAMMAD S. H. (1997) - Diffusion salts in soil. Pochvovedenie, n° 5, 583-591
- KUST G. S. (1997) - The main tendencies in the dynamics of soil salinity within delta of the Amu Darya and Syr Darya Rivers in conditions of active modern desertification. Pochvovedenie, n° 7, 870-883.
- MIHAI GH. I., DINCU I. (1976) - Influence des travaux d'amélioration des caractères des sols à excès des sels solubles. Ann. de l'I.N.A. (El Harrach), Vol. VI n° 1, pp 197-214.
- PUPIISKY H., SHAINBERG I. (1979) - Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 43, pp 429-433
- RAJU R. T., JINNO K., WADA S. I. (1993) - Exchange processes at the land surface for a range of space and time scales: proceedings of an international symposium held at Yokohama, Japan, 13-16 July 1993.
- RHOADES J.D. (1985) - Salt problems from increased irrigation efficiency. J.Irrig. Drain. Engineering, 111(3), pp. 218-229.
- SERVANT J.M. (1970) - Etude expérimentale de l'influence des conditions salines sur la perméabilité des sols. Conséquences pédologique. Sci. du sol, 2, pp. 87-103.
- SERVANT J.M. (1976) - Sur quelques aspects de la pédogenèse en milieu halomorphe : l'exemple des sols salés de la région méditerranéenne française. Ann de l'INA, El Harrach, Vol VI, N°1, 225-245.

SIMONNEAU P., AUBERT G. (1963) - L'utilisation des eaux salées au Sahara. Ann. Agron., 14 (5), pp 859-872

SUAREZ, D (1992) - Perspective on irrigation management and salinity. Outlook in Agriculture, 21, 4, 287-291

SZABOLCS I (1986) - Agronomical and ecological impact of irrigation on soil and water salinity. Advances in Soil Science, Volume 4, pp. 189-218. Szabolcs I., 1992 - Salinization and desertification. Acta Agronomica Hungaria, 41, 1/2, 137-148.

U. S. Salinity Laboratory, (1954) - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. D. A., Handbook N° 60, Washington, 160 p

U.S.D.A. (1994) - Keys to soil Taxonomy. Soil conservation service, United States Department of Agriculture, sixth edition, 306 p

WYN-JONES G., GUNSTON H. (1991) - Complementary or conflicting approaches to salinity. ODU Bulletin, n° 23, 7-9

ZAHOW M. F., AMRHEIN C. (1992) - Reclamation of saline sodic soil using synthetic polymers and gypsum. Soil Science Society of America Journal, 56, 4, 1257-1260

VARIABILITE SPATIO-TEMPORELLE DE LA SALINITE DANS LA REGION DU BAS CHELIFF

DOUAOUI A.¹, BERROKIA A.², BENBOUALLI E.¹

1-Centre Universitaire Hassiba Ben Bouali, Chlef

2- INRAA (Hmadena)

Résumé

La majeure partie des sols des plaines du Chélif, particulièrement à l'ouest, sont réputés pour être des sols salés. Cette salinisation qui se traduit souvent par une diminution de la stabilité structurale avec une dégradation de couche superficielle a des effets négatifs sur toute pratique agricole.

Encore plus grave, cette salinité ne cesse de gagner du terrain et augmenter en teneur dans les zones irriguées.

Pour permettre d'évaluer cette évolution, deux études ont été menées dans la région du Bas Chélif. La première, faite sur une parcelle de 1000 ha dans la plaine de la Mina, montre l'évolution de la salinité au niveau de l'horizon de surface selon trois campagnes (1972, 1994, 1998). La deuxième a pour objectif le suivi de la salinité de la nappe à partir d'un piézomètre sur une période s'étalant sur deux années dans la station expérimentale de l'INRA de H'madena. La relation entre la salinité, la profondeur de la nappe et la pluviométrie a été aussi étudiée.

Les résultats auxquels on abouti ont montré qu'en général la salinité du sol n'a cessé d'augmenter en superficie avec, toutefois, des diminutions sur certaines superficies dont la salinité n'est pas très élevée témoignant dans ce cas de tout l'intérêt d'une bonne pratique agricole.

La salinité de la nappe et la profondeur varient selon les saisons et la pluviométrie mais la tendance générale montre une évolution progressive, quoique légère, de la salinité sur les deux années de mesure.

Mots clés : *Salinité, nappe, piézométrie*

INTRODUCTION

La majeure partie des sols des plaines du Chélif, particulièrement à l'ouest, sont réputés pour être des sols salés. Cette salinisation qui se traduit souvent par une diminution de la stabilité structurale avec une dégradation des couches superficielles a des effets négatifs sur toute pratique agricole.

Encore plus grave, cette salinité ne cesse de gagner du terrain et augmenter en teneur dans les zones irriguées.

Les travaux déjà menés dans la région ont montré que la salinité évolue parfois de façon dramatique dans l'espace et dans le temps (DURAND, 1956 ; Mc DONALD et BNEDER, 1990 ; INSID, 1998). Toutefois le lessivage d'hivers peut intervenir dans l'abaissement de la salinité. TCHENTCHELI (1990) a trouvé que le stock de sel entre l'automne 1985 et le printemps 1986 a diminué de 1861 kg/ha au niveau des couches de surface et dépasse le plus souvent les 1000 kg/ha dans le profil. Par ailleurs, DAOUD (1993) a trouvé que le lessivage hivernal peut éliminer jusqu'à 50 % des sels apportés par les irrigations. En plus, des pratiques culturales adéquates peuvent rendre les pluies hivernales plus efficace dans le lessivage des sels du sol (HACHICHA, 1998).

L'objectif visé par ce travail est de mettre en évidence cette évolution spatio-temporelle de la salinité qui peut parfois diminuer de façon conséquente.

MATERIEL ET METHODES

Sites d'études

Les investigations ont été menées sur deux sites différents. La première qui concernait le suivi spatio-temporel de la salinité du sol a été faite sur une parcelle de 100 ha dans la plaine de la Mina au Nord de la ville de Relizane. La deuxième a été faite dans la station expérimentale de Hmadena (Bas Cheliff) et concerne le suivi temporel de la salinité de la nappe en relation avec la piézométrie et la pluviométrie.

Echantillonnage

- La salinité du sol : L'échantillonnage a été fait au niveau de l'horizon de surface durant les campagnes 1972 par PETER et GHOUL et 1994, 1998, par le laboratoire de pédologie de C.U.Chlef.

Naturellement, le premier échantillonnage est différent des deux derniers. Il nous a été donné d'exploiter seulement la carte. Les deux autres échantillonnages ont été fait aléatoirement mais de la même façon. Le risque d'erreur entre les deux derrières périodes est inférieures à 50 m pour l'ensemble des 44 échantillons.

- La salinité de la nappe et sa profondeur ont fait l'objet d'un échantillonnage régulier en moyenne une fois par mois au niveau d'un piézomètre dans la parcelle de H'madena au cours de la période 95/96.

Mesure au laboratoire

La méthode de la pâte saturée a été adoptée pour mesurer la CE du sol.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Evolution spatio-temporelle de la salinité du sol

La carte de salure du sol établie en 1972 ne montre pas la classe des sols dont la salinité est supérieure à 20 dS/m (fig.1). Ceci est du au fait que lors de l'établissement de la carte, cette classe a été incluse dans la gamme de la salinité dépassant les 16 dS/m.

Cette carte (fig.1) montre nettement une évolution progressive de la salinité dans le sens Sud.Nord de la parcelle.

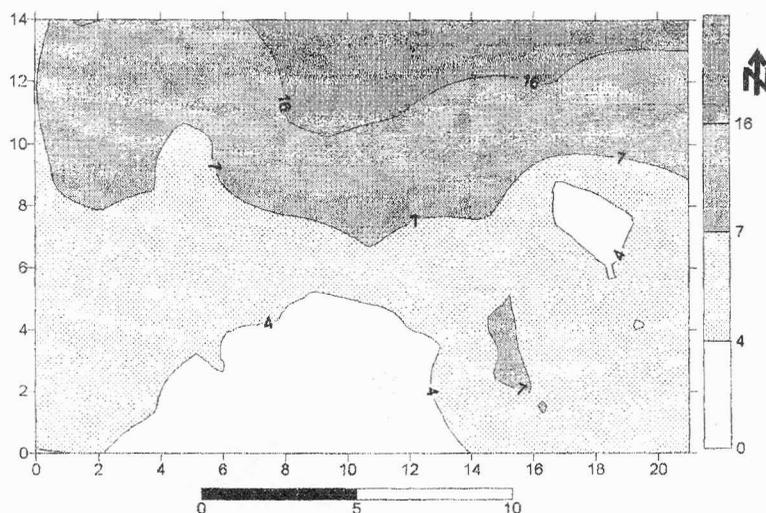


Figure 1: Carte de la salinité (Petter et Ghoul, 1972)

La carte de la salure établie en 1994 comporte cinq classes. En plus de la carte précédente, celle ci comporte la classe dont la salure est supérieure à 20 dS/m (fig.2)

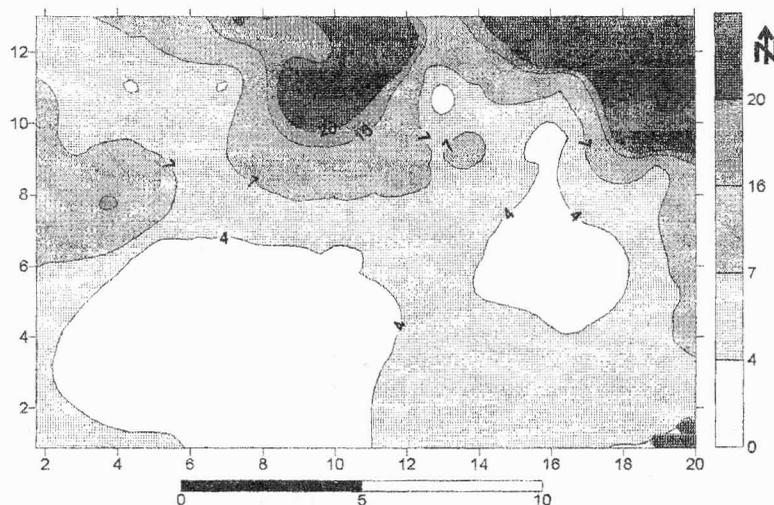


Figure 2 : Carte de la salinité (1994)

Sur cette carte on trouve la même tendance quant au sens de l'évolution de la salinité (Sud Nord). Toutefois, des changements notables dans la répartition de la superficie en fonction des différentes classes apparaissent.

Les changements les plus importants sont :

- Deux plages de la classe 0-4 dS/m augmentent chacune de superficie par rapport à la première carte de (1972).
- Il semble que ce qui a été perdu par le classe 4-7 dS/m au profit de la première classe a été récupéré au dépend de la troisième classe (7-10 dS/m).
- Il y a une régression importante de la classe 7-16 dS/m entre 1972 et 1994. La petite plage isolée de cette classe qui se trouvait dans la partie Sud Est de la première carte a complètement disparu.

- Dans la partie Nord Est de la carte de 1994, il y a une superficie importante qui a été affectée par la salinité dont la teneur est supérieure, alors qu'elle n'était pas apparente sur la carte de 1972.

La carte de la salure établie en 1998 présente aussi des changements apparents par rapport à la carte de 1994. Il reste, toutefois, que la tendance générale de l'évolution de la salinité reste toujours dans le sens Sud - Nord (fig. 3)

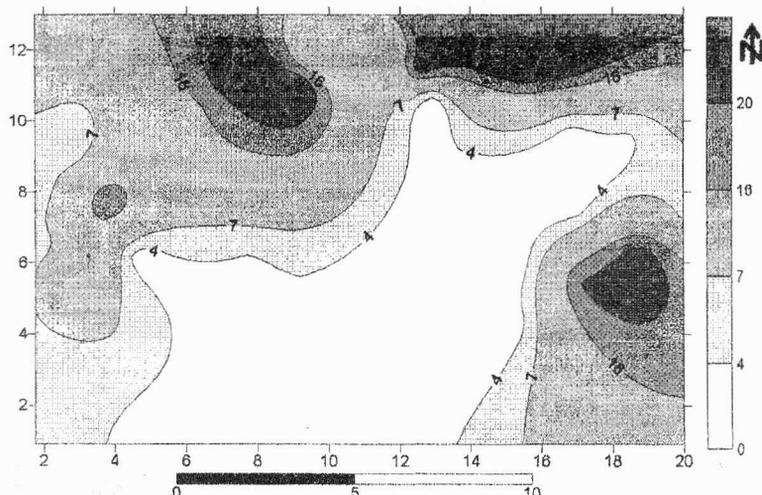


Figure 3 : Carte de la salinité (1998)

L'essentiel qu'il faut retenir dans le changement de la répartition des différentes classes de salure sont :

- La classe de 4-7 dS/m continue à augmenter en superficie et ses deux plages se rejoignent
- La classe de 4-7 dS/m a considérablement diminué au profit de la classe 7-16 dS/m qui s'est particulièrement développée.
- Il y a apparition des classes de salure élevée dans la partie Sud-est de la parcelle.

La comparaison entre les trois cartes, en tenant compte de toute relativité, montre que l'évolution spatio-temporelle de la salinité est plus complexe qu'on le croyait. Ceci est d'autant plus vrai, lorsqu'on se réfère au discours toujours alarmiste de l'évolution de la salure qui est le plus souvent justifiée. Ici on peut voir que la salinité ne progresse pas toujours, mais peut au contraire, notablement régresser . C'est ainsi qu'on peut voir que la classe de 0-4 dS/m n'a cessé de gagner de terrain et ceci depuis 1972. Cette diminution de la salinité paraît être conforme à l'évolution des plages de cette classe et peut être expliquée par le fonctionnement des drains suite à leur curage à partir du début des années 90.

Le tableau suivant montre la quantification de cette évolution au cours des trois campagnes (tab.1)

Tableau 1 : Evolution de la salinité au cours des années 1972, 1994 et 1998

	0 - 4 ds/m	5 - 7 ds/m	8 - 16 ds/m	17 - 20 ds/m	> 16 ds/m
1972	215 ha	460 ha	235 ha	90 ha	
1994	250 ha	470 ha	120 ha	40 ha	120 ha
1998	300 ha	180 ha	320 ha	70 ha	125 ha

Les différences importantes entre les superficies des différentes classes au cours des trois périodes (1972, 1994, 1998) montre qu'il y a effectivement une dynamique complexe et parfois évidente de l'évolution de la salure. En effet, le passage de la classe 0-4 dS/m en 1994 de 250 ha à 300 ha ne peut être seulement dû à l'échantillonnage ou au contexte d'analyse qui sont de toute façon très proches. La même chose peut être dite pour la classe 7 à 16 dS/m qui passe de 120 ha en 1994 à 320 ha en 1998.

Relation entre la nappe, le sol et la pluviométrie

Un suivi régulier de la nappe du point de vue salinité et profondeur a été fait au niveau d'un piézomètre situé dans la parcelle de H'madena. Comme il existe dans cette station expérimentale de H'madena une station pluviométrique où les mesures se font quotidiennement, il nous a été donc possible de voir l'influence de la pluviométrie sur le niveau piézométrique de la nappe et de sa salinité. Ces mesures ont été faites au cours des années 95 et 96 avec 26 mesures pour le niveau de la nappe et 20 mesures pour la salinité. La figure 4 représente graphiquement les variations de ces trois paramètres en fonction du temps, elle permet de faire ressortir les relations qui existent entre le niveau piézométrique et la pluviométrie et entre cette dernière et la salinité.

Ce choix reste toutefois particulier et ne peut donc être généralisé pour toute la parcelle d'étude et encore moins pour l'ensemble du Bas Chélif. Il représente tout de même un comportement du sol qu'on peut retrouver très souvent dans la région d'étude dans la mesure où il se trouve sur un sol salé à texture argileuse avec une faible perméabilité selon la méthode de Porchet. Il est à remarquer que de telles caractéristiques sont très fréquentes dans le périmètre du Bas Chélif et ses différentes extensions.

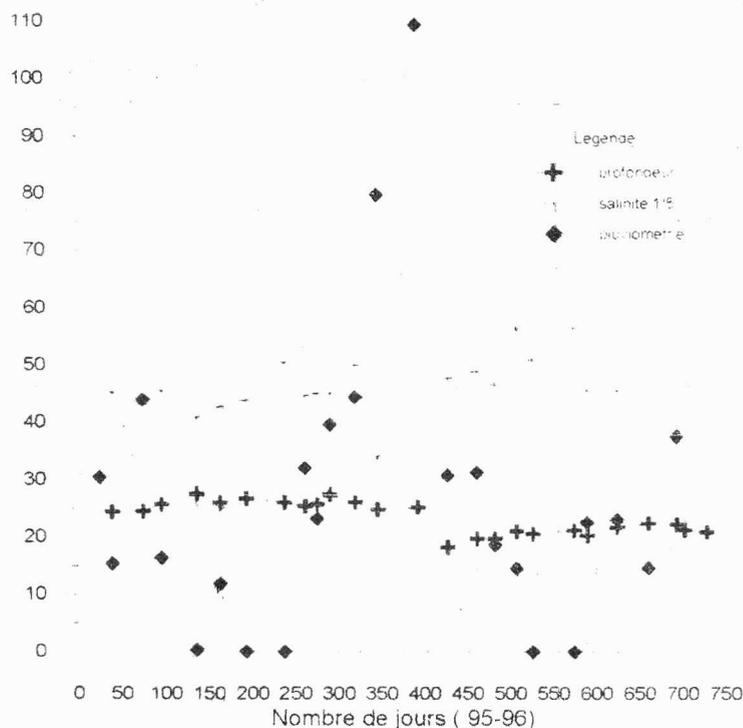


Figure 4 : Evolution de la salinité et de la profondeur de la nappe en fonction de la pluviométrie

IL en ressort donc clairement selon ce graphe (fig. 4) qu'il y a effectivement une influence de la pluviométrie sur le niveau piézométrique et sur sa salinité, mais cette influence ne devient apparente que lorsque la pluviométrie devient importante ou qu'elle diminue fortement. C'est ainsi qu'on peut voir, à titre d'exemple, qu'entre le jour 250 et le jour 500 où la pluviométrie a atteint un cumul mensuel maximum de 110 mm, la salinité de la nappe a atteint une valeur proche de 30 dS/m alors qu'elle avait auparavant une salinité proche de 50 dS/m. Par ailleurs, dans le même temps, le niveau piézométrique de la nappe a augmenté puisque la profondeur de cette dernière a atteint le niveau piézométrique le plus élevé au cours de ces deux années de mesure avec seulement 1.82 m alors qu'il était à 2.52 m de profondeur.

Dans le même ordre d'idée, on peut voir que lorsque la pluviométrie se rapproche de la valeur nulle, la salinité et la profondeur ont tendance à augmenter.

Ces résultats confirment donc qu'il y a une influence saisonnière sur la qualité et le niveau piézométrique de la nappe du moins au voisinage du piézomètre.

CONCLUSION

Les résultats auxquels on a abouti ont montré une dynamique de sels très importante marquée par une évolution importante de la salinité au niveau du sol comme au niveau de la nappe.

Il s'est avéré aussi que les pratiques de l'irrigation n'engendrent pas toujours une élévation de la salure, mais cette dernière peut être diminuée lorsque les conditions d'une bonne lixiviation et d'un bon drainage existent.

La relation entre la salinité de la nappe, son niveau piézométrique et la pluviométrie a été nettement mise en évidence, mais seulement dans les cas extrêmes de cette dernière. Une pluviométrie élevée diminue la salinité de la nappe ainsi que son niveau piézométrique.

Enfin, une étude plus poussées et plus précise ponctuellement et sur une plus longue période pourrait confirmer ces résultats et les compléter.

BIBLIOGRAPHIE

- DAOUD Y. (1993) - Contribution à l'étude des sols des plaines du Cheliff: Le phénomène de salinisation: conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doctorat d'Etat en Sciences Agronomiques.
- DURAND J.H. (1956) - Les sols de la station d'étude des sols salins des Hamadana. Quelques aspects de la station d'étude des sols salins des Hamadana et de ses activités. Revue « Terres et eaux » N°28. 2ème et 3ème trimestre 1956 pp. 02-17.
- HACHICHA M. (1998) - Mise en valeur des sols salés - Organisation, fonctionnement et évolution des sols du nord de la Tunisie. Thèse de Doct de l'ENSAR, France, pp 229.
- I.N.S.I.D. (1998) - Projet pilote de la caractérisation de l'état actuel de la salinité du Bas Chélif, Rapports 1,2 et 3.

Mc DONALD ; BNEDER (1990) - Etude de l'avant projet détaillé des extentions de Guerouaou et de Sebkat Benziane et du réaménagement du Bas Chélif.

TCHENTCHELI M. (1990) - Incidences sur la salinité des sols de la plaine du Haut Cheliff (Algérie) - Morphologie, géochimie des sols et des eaux. Thèse de Doct d'état de l'Université de Louis Pasteur, Strasbourg, France, pp. 257.

ANALYSE DE LA STRUCTURE SPATIALE DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE D'UN SOL AFFECTE PAR LA SALINITE

BENBOUALI E. *, DOUAOUI A. *, BETTAHAR N**.

* Institut d'Agronomie

** Institut d'Hydraulique

BP 151, Centre Universitaire Chlef 02000

Fax : 03 77 40 11

Résumé

La géostatistique a été développée pour résoudre le problème de l'estimation des variables spatialement corrélées et présentant un comportement erratique comme une concentration dans un sol. (De FOUQUET, 1993)

L'analyse de la structure spatiale d'un phénomène est une phase prépondérante pour toute étude géostatistique. Le variogramme permet la caractérisation de la variabilité spatiale et détermine les paramètres à utiliser pour l'interpolation

Une variable régionalisée est un terme proposée par MATHERON (1965) pour qualifier un phénomène se déployant dans l'espace et / ou dans le temps dont les valeurs varient d'un lieu à un autre avec une apparence de continuité (JOURNEL, 1978)

L'ensemble des mesures (154 points) constituant une variable régionalisée de la salinité des sols de la station de H'madena (la région de Relizane) est pris comme exemple d'application pour exposer les étapes à suivre dans une analyse variographique.

Les résultats auxquels on a abouti donnent une moyenne de 3.9 dS/m avec un CV assez élevé de 60%. Le variogramme expérimental s'ajuste le mieux à un modèle exponentiel avec un effet de pépite de 1.4, un palier de 6.41 et une variance de 2.9. L'analyse des variogrammes directionnels a montré une anisotropie de 1.3 dans la direction Nord Ouest

Mots clés : *Géostatistique, variable régionalisée, variogramme, conductivité électrique.*

INTRODUCTION

La géostatistique fait référence à la théorie des variables régionalisées, développée par MATHERON (1965) dans le but d'estimer au mieux les caractéristiques des gisements miniers et connaître la variance de ces estimations. Elle est utilisée actuellement dans toutes les sciences de la terre, où se pose le problème de l'analyse des données spatiales (GSCUEL-ODOUX, BOIVIN, WALTER, 1990)

A partir des données expérimentales, l'étude variographique permet une description synthétique de la structure spatiale qui détermine les paramètres à utiliser pour l'estimation.

Ce travail consiste à utiliser un des outils de la géostatistique qui est le variogramme pour l'analyse de la structure spatiale de la conductivité électrique d'un sol affecté par la

salinité. Dans le cadre du projet de recherche : Evaluation de la dégradation des sols salés dans le Bas Cheliff, une parcelle de 130 ha, faisant partie des terres de la station expérimentale de H'madena, a été choisie pour faire, entre autres, l'objet de mesure de la salinité à l'extrait dilué 1/5.

Site d'étude

Le champs étudié , d'une superficie de 130 ha, fait partie des terres de la station expérimentale de l'INRA. Il est situé dans la commune de H'madena à 30 km à l'Est de la wilaya de Relizane (Fig.1). Le climat est semi-aride avec une moyenne annuelle en pluviométrie inférieure à 300 mm et une température moyenne annuelle atteignant les 28 °C sous abri.

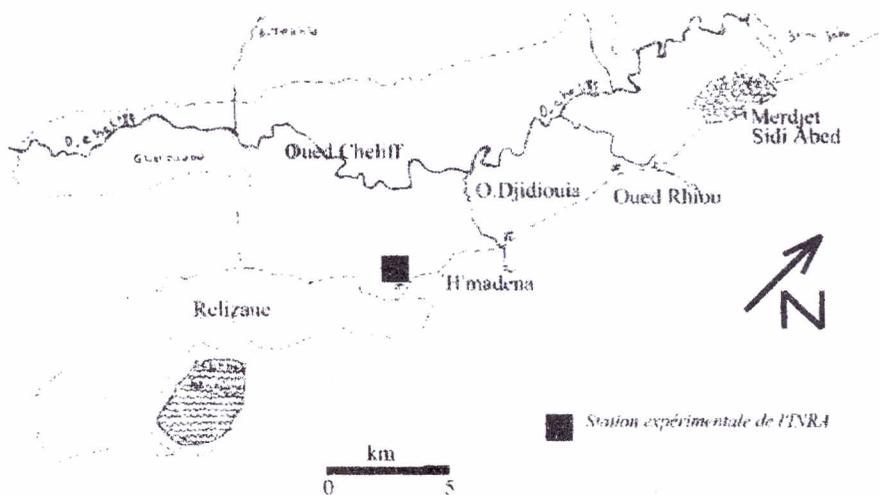


Figure 1 : Plan de situation de la zone d'étude

Dispositif d'échantillonnage

Le dispositif d'échantillonnage a été établie selon un quadrillage régulier de 80m de maille. 154 points ont été échantillonnés à partir du premier horizon à une épaisseur de 20 cm (Fig. 2).

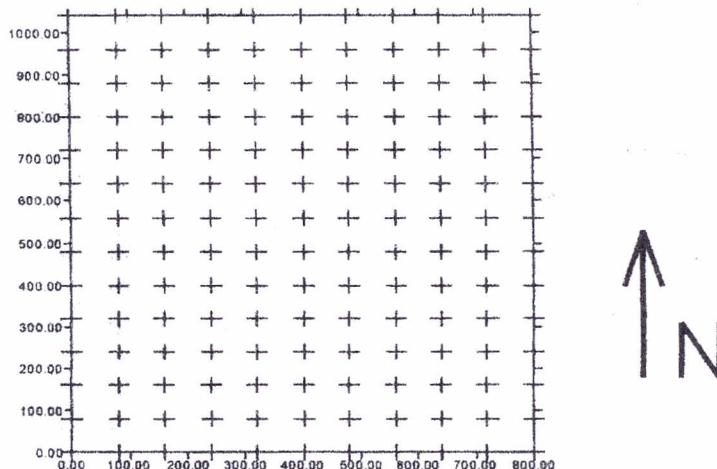


Figure 2 : Dispositif d'échantillonnage

Statistiques élémentaires

Le calcul statistique donne une moyenne de conductivité électrique élevée de 3.9 dS/m à l'extrait dilué 1/5. La valeur du CV (60 %) montre une répartition spatiale assez élevée avec un minimum de 0.21 dS/m et un maximum de 9.96 dS/m.

Le variogramme

Le variogramme permet de résumer toute l'information structurale de la variable régionalisée (Rossi et al., 1995 ; Steven et al., 1996).

Considérons deux valeurs numériques $z(x_1)$ et $z(x_2)$ d'une propriété (Z) en deux points distants d'une distance h . La variance de ces deux points est par définition :

$$S^2 = (z(x_1) - z_m)^2 + (z(x_2) - z_m)^2$$

avec z_m la moyenne des deux observations

Le développement de cette équation donne

$$S^2 = 1/2 (z(x_1) - z(x_2))^2$$

Comme $x_1 - x_2 = h$, on aura

$$S^2 = 1/2 (z(x_1) - z(x_1 - h))^2$$

Ce calcul de variance peut être effectué pour différentes valeurs de h , notées h_i . On considère alors différents couples de points pour lesquels la distance entre les deux points du couple sera h_i . L'équation devient :

$$S^2 (h) = 1/2n \sum_{i=1}^{nh} (z(x_i) - z(x_i + h))^2$$

$S^2 (h)$ est en général appelée Semi-variance, elle rend compte de la ressemblance entre deux valeurs des couples de points distant de h .

Dans la pratique, le choix de N points permet de former $N(N-1)/2$ couples de points à partir desquels on calcule le variogramme. Un variogramme robuste est par définition un variogramme qui reflète de façon la plus fidèle possible la structure (comportement spatial) du phénomène à étudier, c'est à dire qu'il garde la même allure si le plan d'échantillonnage venait à être modifié.

Pour arriver à ce type de variogramme, il y a une démarche et des critères qu'il faut respecter dont quelques uns sont abordés dans ce qui suit :

- Un nombre de classe de l'ordre de 15 ou 20.
- Un nombre de couples par classe supérieur à 50 voir 80
- Une distance maximale de l'ordre de $L/2$, L étant l'éloignement maximal entre les couples de points.
- Un nombre de données suffisant pour pouvoir analyser les variogrammes

Le tableau 1 montre les résultats des calculs obtenus pour l'établissement du variogramme expérimental. Les classes retenues sont au nombre de 26 et le nombre de couples par classe est supérieur à la valeur requise (50). Le pas de calcul dans ce cas est de 11.31m en moyenne.

Tableau 1 : résultats du calcul du variogramme robuste

Classe	N couples	h moyenne	$\gamma(h)$
1	566	80	2.07892
2	520	113.137	2.39951
3	516	160	3.09384
4	948	178.885	3.16066
5	432	226.27	3.43366
6	466	240	3.353
7	856	252.982	3.3062
8	780	288.44	3.4776
9	1180	326.376	3.6972
10	352	339.41	3.5000
11	352	339.41	3.5000
12	696	357.77	3.7577
13	1666	403.195	3.672
14	612	430.813	3.855
15	832	461.789	3.945
16	896	484.286	3.773
17	528	505.96	4.091
18	492	512.25	4.16
19	476	536.65	4.183
20	970	564.12	4.035
21	868	579.71	4.24
22	400	609.26	4.25
23	372	624.82	4.89
24	968	643.86	4.25
25	360	659.69	4.14
26	796	684.40	4.29

La figure 3 représente le variogramme expérimental robuste calculé à partir des données du tableau n°1 en tenant compte de l'ensemble des critères de robustesse cités précédemment.

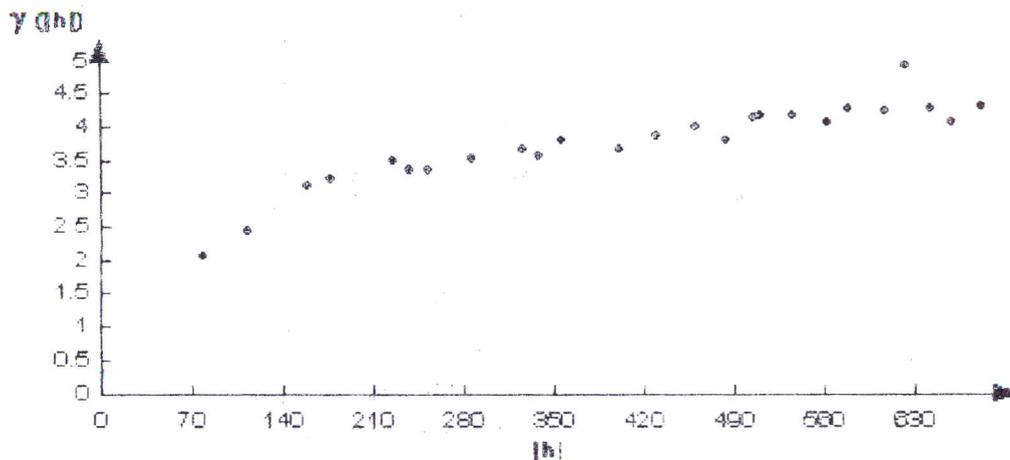


Figure 3 Semi variogramme expérimental de la conductivité électrique(CE)

Le logiciel VARIOWIN calcule en plus du variogramme expérimental, un variogramme expérimental de surface qui permet l'identification de la direction principale de l'évolution du phénomène étudié (anisotropie). Dans notre cas le variogramme de surface montre une continuité maximale dans la direction 140° et une continuité minimale dans la direction 50° (Fig.4).

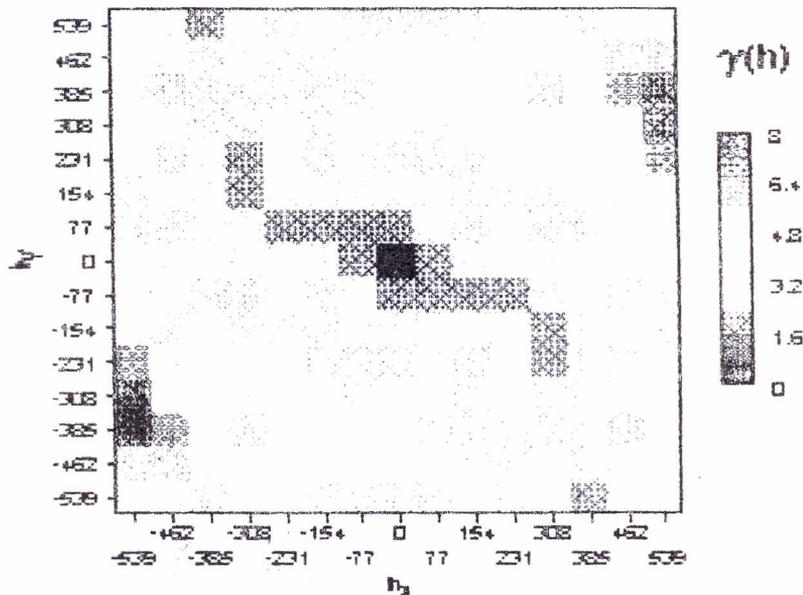


Figure 4. Variogramme expérimental de surface

Ajustement du variogramme

Une fois le variogramme expérimental robuste établi, il faut lui trouver le modèle théorique qui lui convient le plus. Le VARIOWIN propose cinq (05) modèles : le modèle linéaire, sphérique, exponentiel et gaussien. Parmi tous ces modèles, le modèle exponentiel semble être le plus approprié. Pour déterminer le modèle qui s'ajuste le mieux, le logiciel VARIOWIN calcule un indice IGF (indicative goodness fit) pour qualifier l'ajustement visuel. C'est un nombre sans unité indiquant un bon ajustement quand l'IGF est proche de 0. Il est calculé selon la formule suivante :

$$IGF = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N_{mk}} \sum_{i=1}^{P(i)} [P(i) / \sum P(i)] \cdot [D(k) / d(i)] \cdot [(\gamma(i) - \hat{\gamma}(i)) / \sigma^2]$$

N : nombre des variogramme directionnel

P(i) : nombre de classes relative au variogramme k

D(k) : La distance maximale relative au variogramme k

d(i) : la moyenne de la distance par classe du variogramme k

$\gamma(i)$: Les mesures expérimentales de la continuité spatiale pour le pas de calcul i

$\hat{\gamma}(i)$: les mesures estimées de la continuité spatiale pour d(i)

Le modèle qui s'ajuste le mieux au variogramme expérimental retenu correspond au modèle exponentiel avec un IGF de 0.0019. un effet de pépite (discontinuité à l'origine) de 1.4 (Fig.5)

Ce dernier traduit soit l'existence des erreurs de mesure (JOURNEL, 1977), soit à la présence d'une structure dont l'échelle est très inférieure à l'espacement des données (micro - regionalisation). (MEYLAN, 1986). la portée de 641m et le palier de 2.9

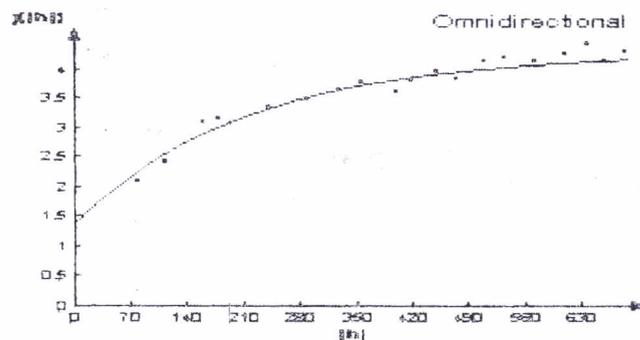


Figure 5 : ajustement du variogramme moyen de la conductivité électrique

Variogrammes directionnels

Les variogrammes directionnels sont calculés en plus des classes de distance, dans différentes classes de directions en fonction de l'orientation du vecteur. Dans la pratique on ajoute au choix du pas de distance, le choix d'un pas d'angle et on répartit les couples en différentes classes selon ces deux critères. Ces calculs sont indispensables pour analyser l'anisotropie des données (GASCUEL-ODOUX, BOIVIN, WALTER, 1990).

On parle de phénomène d'anisotropie lorsque la variabilité n'est pas la même dans toutes les directions, l'existence d'une direction privilégiée vis à vis du phénomène étudié (FREYCON V., SEBASTIEN B., 1991)

En se référant au variogramme de surface qui a donné les deux principales directions d'anisotropie (Nord Est et Nord Ouest), l'établissement des variogrammes selon les deux directions permet de déterminer le rapport d'anisotropie après ajustement de ces deux variogrammes (Fig. 6)

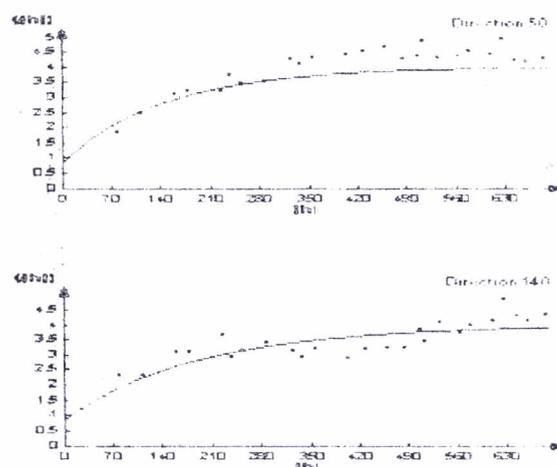


Figure 6 : ajustement des variogrammes expérimentaux directionnels

L'ajustement des variogrammes expérimentaux directionnels pour 50° et 140° avec une tolérance de 45° donne un modèle exponentiel commun d'une anisotropie (Anis) de 1.3, un effet de pépite de 0.75, une portée de 434.7 m et une variance de 3.11.

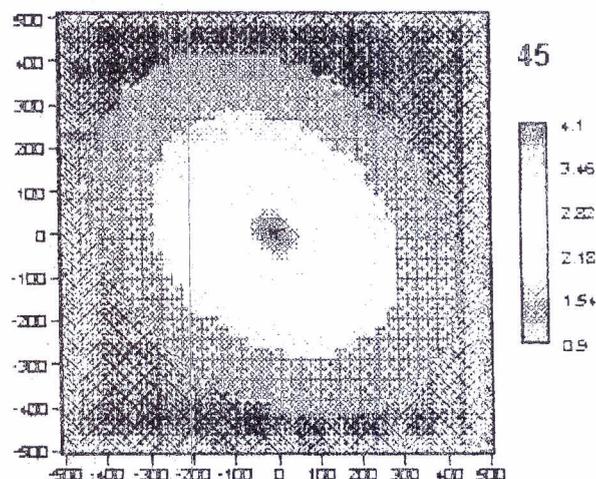


Figure 7 Identification graphique de l'anisotropie

La figure 7 est la représentation graphique de l'anisotropie de la salinité dans le terrain d'étude. Elle montre clairement par une ellipse établie en fonction des différentes semi-variance par rapport aux différentes classes que l'anisotropie maximal se trouve bien dans la direction Nord Ouest - Sud Est comme il a été déjà trouvé lors de l'établissement du variogramme de surface

CONCLUSION

Cette étude a permis de mettre en évidence une salinité moyenne de $3.9 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-2}$ à l'extrait dilué et une variabilité spatiale assez élevée ($\text{CV} = 60\%$)

La conductivité électrique possède une structure spatiale, ses mesures sont corrélées dans l'espace jusqu'à une certaine distance de 641m (portée), avec un palier de 2.91 et un effet de pépite de 1.4.

Ces résultats permettent en premier lieu de suggérer des recommandations sur la stratégie d'un plan d'échantillonnage futur, en deuxième lieu, ils vont être utilisés pour la mise en œuvre de carte de salinité des sols, pour bien connaître la distribution des sels dans le but d'une meilleure prise en charge de ce phénomène.

BIBLIOGRAPHIE

CAMARA D. O. A., CLUIS D. (1992) - Variabilité spatiale des propriétés physico-chimiques d'un champ affecté par la salinité dans le Nord-Ouest du Mexique. Pédologie, XLII-2,P.183-203.

De FOUQUET C. (1993) - Géostatistique orientée vers le traitement des données territoriales : Notions - clés et exemples. Biom. Praxim. (1993), 33 113 - 146.

FREYCON V., SEBASTIEN B. (1991) - La théorie des variables régionalisées. Répartitions spatiales, méthodologie et traitement statistique. Séminaire Montpellier.9 - 11 Septembre 1991.

GASCUEL-ODOUX C., BOIVIN P. et WALTER C. (1992) - Géostatistique et informatique. ENSA. INRA. RENNES .

JOURNEL A.G. (1977) - Géostatistique minière. Centre de géostatistique. Ecole des mines,Fontainebleu , 737p.

MATHERON G. (1965) - Les valeurs régionalisées et leurs estimation.Masson, Paris 305p

MEYLAN P. (1986) Régionalisation des données entachées d'erreurs de mesure par Krigeage : Application à la pluviométrie . Hydrol continent, VI, N°1, 25 - 34.

PANNATIER Y. (1995) - VARIOWIN Software for spatial data analysis in 2D. Institut of Miniralogie, University of Lausanne, BFSH2, 1015 Lausanne, Switzeland.

EVALUATION DE LA DEGRADATION DES SOLS DU PERIMETRE DE H'MADENA (BAS CHELIFF)

GAOUAR A.¹, DOUAOUI A.², BENBOUALLI E.²

(1) Directeur Général du CRSTRA

(2) Centre Universitaire de Chlef - chercheur associé CRSTRA

Résumé

La connaissance de l'état actuel de la dégradation des couches de surface des sols du Bas Chélif nécessite la mise en évidence des différents niveaux de dégradation ainsi que les paramètres qui lui sont les plus liés. Il est aussi connu que cette dégradation est liée principalement à l'évolution progressive de la salinité ainsi que d'autres caractéristiques physico-chimiques induites ou favorisant celle-ci. Parmi ces caractéristiques, ce sont celles qui sont les plus ou moins liées à la structure qui ont été retenues : La stabilité structurale estimée par le MWD, le pourcentage du sodium échangeable, la conductivité électrique, les argiles, les limons, les sables, la matière organique, le calcaire total et le pH.

Pour une telle analyse, deux méthodes multidimensionnelles ont été appliquées : l'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse factorielle discriminante (AFD). Ces méthodes permettent d'analyser la structure des variables (leurs corrélations, leurs associations), les ressemblances et les dissemblances entre les individus ainsi que les variables les plus discriminantes.

Les résultats auxquels on a abouti montrent que ces sols atteignent souvent des niveaux de dégradation très avancés. L'ESP est la principale caractéristique de dégradation, suivi par les limons et la salinité. L'intervention de la matière organique dans l'amélioration de la structure est très limitée. Il existe trois niveaux de dégradation des sols liés principalement à la salinité, l'ESP, le MWD et de façon moindre la matière organique et les limons.

INTRODUCTION

L'état de dégradation avancé dans lequel se trouvent actuellement les sols du Bas-Cheliff nécessite la connaissance de son niveau de dégradation ainsi que les régions les plus ou moins touchées par ce phénomène.

Cette dégradation est principalement liée à la salinisation des terres dont l'importance dépend d'autres caractéristiques pédologiques tels que la granulométrie, l'ESP, le niveau piézométrique, la salinité de la nappe...

Les conséquences traduites par l'ensemble de ces paramètres se manifestent dans le sol par une augmentation de la conductivité électrique et une concentration saline élevée ainsi que par une dégradation de la couche de surface aboutissant à la formation d'une croûte de battance pouvant atteindre plusieurs centimètres. Cette croûte a une influence négative sur les échanges sol-atmosphère par sa nature imperméable, ce qui réduit fortement les échanges gazeux et l'infiltration de l'eau tout en favorisant l'évaporation et en limitant les chances de

germination des plantes (LE BISSONNAIS Y. et al. 1989, ABU-AWWAD A., 1997, ABU-AWWAD A. et AKASHEH O. 1997)

L'objectif de ce travail consiste à évaluer le niveau de dégradation des couches de surface des sols du périmètre de H'madena et d'en sortir les différents groupes en essayant d'apporter entre autres des éléments de réponse sur les variables qui contribuent le plus à la dégradation de ces sols. Pour cela, une parcelle avoisinant les 100 ha a été choisie à partir de laquelle 29 échantillons ont été prélevés. Les variables prises en compte sont : La granulométrie, la salinité (CE), la matière organique (MO), le calcaire total (CaCO_3), le pourcentage du sodium échangeable (ESP) et la stabilité structurale (MWD). Une analyse en composantes principales et une analyse factorielle discriminante ont été appliquées à ces variables.

MATERIEL ET METHODE

Méthodes d'analyse

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

les mesures ont porté sur :

- La conductivité électrique à l'extrait dilué 1/5
- La matière organique par la méthode VANNE
- Le calcaire total par la méthode du calcimètre de BERNARD
- Le pH eau de rapport 1/2,5
- La stabilité structurale par la méthode de LEBISSONNAIS
- La Granulométrie par la méthode internationale avec l'emploi de la pipette de Robinson
- Le dosage du Sodium échangeable, ainsi que la CEC par le photomètre à flamme (Phlato 4)

Choix des paramètres et justification

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

- **La conductivité électrique (CE)** : c'est la caractéristique principale des sols de la région (DURAND, 1953 ; BOULAIN, 1957 ; MC DONALD et BNEIDER, 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 BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995).
- **Le calcaire total** : Le rôle positif du calcaire total dans l'amélioration de la stabilité structurale est indéniable (HARIS et al., 1966, MBAGWU et BAZZOFFI, 1998) Ce rôle est

particulièrement important dans les sols de la parcelle d'étude où le risque d'un ESP élevé est permanent par le Calcium qu'il fournit au sol pour équilibrer le complexe absorbant.

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

- **La granulométrie** : Elle est déterminante dans le comportement physico-chimique des autres paramètres. En plus, lorsqu'on parle de perméabilité, lixiviation, drainage, la granulométrie est le premier paramètre à étudier vu les conséquences directes qu'elle engendre sur la salinisation (SCHWING, 1979 ; SCHAINBERG et LETEY, 1984 ; MBAGWU et BAZZOFFI, 1998).

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

- **Le MWD (Minle Weight Diameter)** a été retenu pour estimer la stabilité structurale. C'est une méthode récente qui a donné de bons résultats (LE BISSONNAIS et LE SOUDER, 1995 ; SAIDI et al. , 1999).

- **L'ESP (Pourcentage du Sodium Exchangeable)** : son effet négatif sur la stabilité structurale est prouvé sans ambiguïté par son action très dispersante sur les argiles (DUCHOUFOUR, 1977 ; EMERSON, 1977 ; DAOUD, 1993 ; DAOUD, 1999).

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

RESULTATS ET DISCUSSION

Analyse en Composantes Principales

La méthode de L'ACP est un outil statistique d'analyse de données pour mettre en évidence la structure des variables (leurs corrélations, leurs associations), les ressemblances et les dissemblances entre les individus (LEFONEN, 1981 ; PHILIPPEAU, 1986)

Il est toujours intéressant avant toute analyse de l'ACP de passer par les statistiques élémentaires en regardant les moyennes et les écart- types des variables ainsi que les corrélations bivariées linéaires entre elles. L'ACP utilisée dans ce cas est calculée sur des données centrées réduites

- Statistiques élémentaires

Le tableau n°1 montre que la granulométrie est dominée par les argiles qui atteignent la moyenne de 45.11% suivies par les limons avec 40.27%. Les valeurs faibles des CV de ces deux variables montrent une assez bonne homogénéité de leurs répartitions spatiale. La salinité

est élevée avec une moyenne de 3.52 ds/m pour l'extrait dilué au 1/5 et son CV montre, contrairement aux argiles et aux limons une variation importante de la salinité dans le terrain d'étude. Le pH a une moyenne supérieure à 8 qui le classe dans les sols alcalins. Le pourcentage du Na échangeable (ESP) reste moyennement élevé avec 12.5% avec un CV très élevé (90%) témoignant d'une dispersion très élevée de cette variable. Le calcaire total avec une moyenne de 22.8% est modérément élevé et présente une faible variabilité spatiale.

Tableau 1 : Moyennes et coefficients de variations des caractéristiques des sols

Variable	Arg%	Lim%	Sab%	CE ds/m	MO%	CaCO3%	pH	ESP	MWD
Moy	45.11	40.27	15.59	3.52	2.11	22.8	8.13	12.5	0.69
CV %	16	10	41	64	33	9	3.1	90	23.9

La matrice de corrélation (tab. n°2) renferme les valeurs des coefficients linéaires entre deux variables. Le seuil de signification à 5% de ces coefficients de corrélation selon le nombre des échantillons est de 0.36. Il en ressort donc que toutes les valeurs supérieures à 0.36 ont une corrélation significative. De ce fait, il apparaît que peu de corrélations ont leurs coefficients supérieurs à cette valeur.

Tableau 2 : matrice de corrélation

	%A	%L	%S	CE	MO	CACO3	PH	%NA/CEC	MWD
%A	1.00	-0.51	-0.72	-0.16	-0.05	-0.29	0.26	0.03	0.06
%L	-0.51	1.00	-0.00	0.07	-0.23	0.08	-0.14	0.21	-0.40
%S	-0.72	-0.00	1.00	0.00	-0.00	0.42	-0.24	-0.25	0.12
CE	-0.16	0.07	0.00	1.00	0.04	-0.21	-0.32	0.48	-0.47
MO	-0.05	-0.23	-0.00	0.04	1.00	-0.43	-0.03	-0.24	0.40
CACO3	-0.29	0.08	0.42	-0.21	-0.43	1.00	-0.11	-0.15	-0.09
PH	0.26	-0.14	-0.24	-0.32	-0.03	-0.11	1.00	0.26	-0.11
ESP	0.03	0.21	-0.25	0.48	-0.24	-0.15	0.26	1.00	-0.70
MWD	0.06	-0.40	0.12	-0.47	0.40	-0.09	-0.11	-0.70	1.00

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

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

- Les axes principaux

Le nombre des axes principaux en composantes principales à prendre en considération dépend des valeurs propres de chaque axe et les pourcentages correspondants. Les axes principaux n'étant pas corrélés entre eux, la part de l'information expliquée par plusieurs axes est tout simplement la somme de leurs pourcentages. L'axe 1 et l'axe 2 possèdent des

valeurs propres très proches et possèdent des pourcentages respectifs de 27.04% et 25.10% (fig. 1).

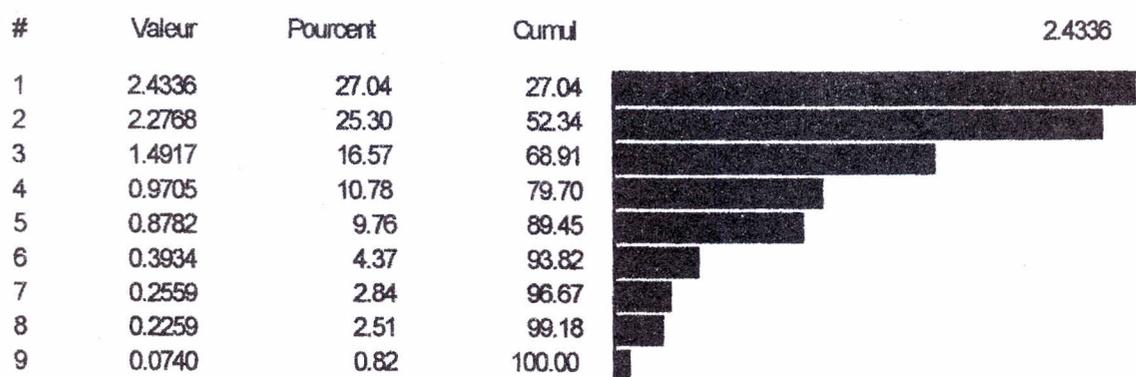


Figure 1 : pourcentage des valeurs propres de l'ensemble des axes

Le troisième axe avec une valeur propre de 1.49 donne un pourcentage de 16.57%. Le pourcentage cumulé de ces trois axes principaux atteint la valeur de 68.91%. Ce pourcentage représente la part de l'information expliquée par ces trois axes, jugée suffisante pour une approche d'analyse des variables et des individus au vu de la dispersion élevée des données représentée surtout par les cinq premiers axes.

Le tableau n° 3 représente les quatre premières composantes principales où l'ensemble des variables sont bien représentées avec un pourcentage variant entre 73 % et 94 % (première colonne). Les variables qui participent le mieux à la formation du premier axe sont : le MWD, l'ESP et de façon moindre les limons et la salinité. Ces variables sont toutes directement ou indirectement liée à la stabilité structurale et montrent que l'ESP, les limons et la salinité sont bien des paramètres de dégradation de la structure puisqu'ils évoluent dans le sens inverse du MWD. La variable la plus significative dans la dégradation est l'ESP.

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

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

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

Les valeurs des coefficients de corrélation des variables : MWD, ESP, limons, salinité, sont pratiquement nulles dans l'axe 2 et celles des variables sables, argiles et CaCO₃ le sont aussi dans l'axe 1. Ceci veut dire qu'il n'y a aucune corrélation entre ces deux groupes de variables.

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

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

- Les Cercles de Corrélations

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

Le plan principal formé par l'axe 1 et l'axe 2 représente un pourcentage d'information cumulé de 52.34 %. L'ensemble des variables excepté la MO et le pH, présentent une bonne à moyenne représentativité. C'est ainsi qu'on peut voir que la CE les Limons et particulièrement l'ESP s'opposent au MWD et que les sables et le calcaire s'opposent aux argiles. Ce dernier groupe de variable n'a aucune corrélation avec le premier groupe. Il est donc clair que les variables qui participent à la dégradation structurale sont par ordre décroissant l'ESP, la salinité et les Limons. Les Sables, le Calcaire et les Argiles n'ont pas d'influence sur cette dégradation.

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

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

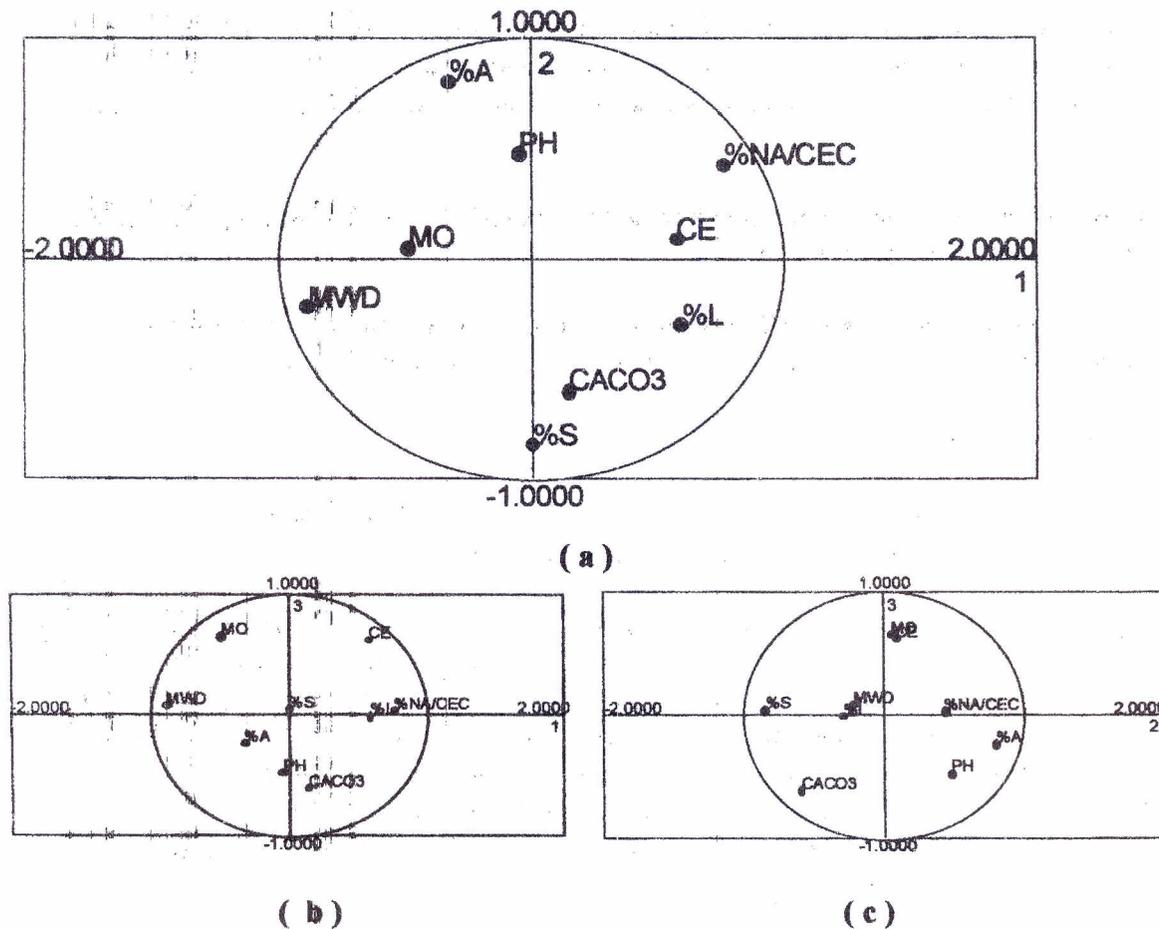


Figure 2 : Les cercles de corrélation

- Le Plan des Individus

Si on se maintient au plan principal, il apparaît clairement qu'il y a trois groupes de sol (fig. n°3) qui évoluent surtout par rapport à l'axe 1. Comme l'axe 1 est formé principalement par les variables traduisant la dégradation structurale, il est permis de dire alors, que ces trois groupes se rassemblent et se positionnent par rapport à leurs stabilité structurale. En effet, un retour aux données expérimentales montre que le premier groupe se trouvant à droite de l'axe 1 renferme les individus qui ont les MWD les plus faibles (mauvaise stabilité structurale) et le groupe se trouvant à gauche de cet axe est formé par les individus ayant les MWD les plus élevés (bonne stabilité structurale). Le groupe du milieu renferme les individus dont les MWD ont des valeurs intermédiaires. La répartition des individus en fonction des valeurs du MWD en quatre classes sur le plan principal (fig. 2) illustre bien le rôle que joue la structure dans les sols de H'madena.

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

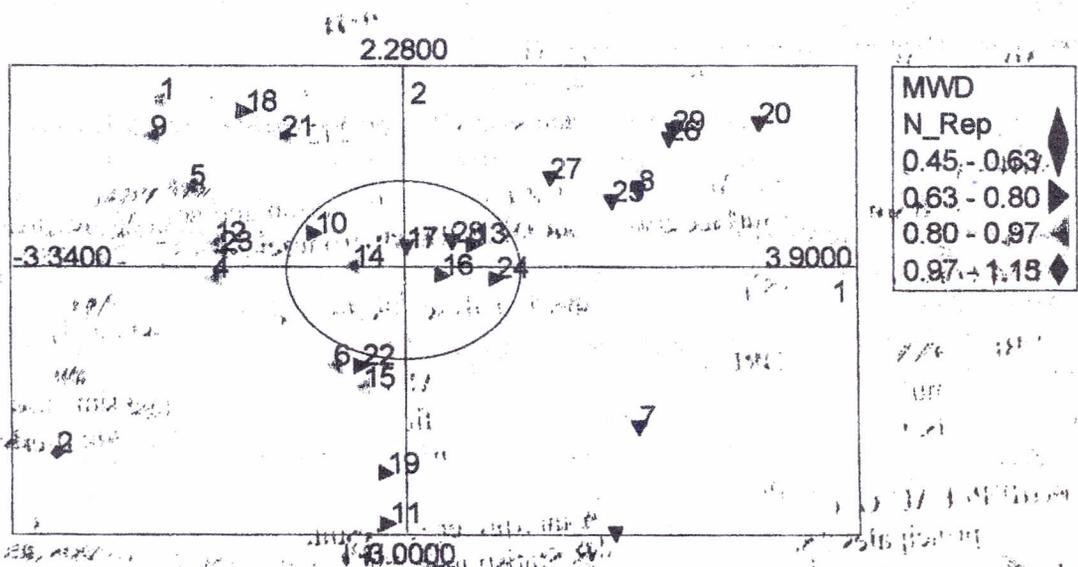


Figure 3 : projection des individus sur le plans principal

Analyse factorielle discriminante (AFD)

- Analyse de la variance

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

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

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

Tableau 4 : analyse de la variance des différentes variables

Variable	Arg	Lim	Sab	CE	MO	CaCO3	pH	ESP	MW D
F	3.59	7.31	1.82	6.65	2.46	5.64	1.84	48.88	25.67
Proba%	4.12	0.31	17.98	0.47	10.32	0.92	17.65	0.00	0.00

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

- Analyse factorielle discriminante proprement dite

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

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

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

Tableau 5 : résultat de l'AFD

Axes	val prprs	inertie %	pseudoF	Wilks	ddl	proba	corrélât
1	6.62	78.6	86.03	67.35	18	0.00	0.87
2	1.80	21.4	23.44	22.68	8	0.39	0.64

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

Tableau 6 : corrélations entre les variables et les axes discriminants

Axes	Arg	Lim	Sab	CE	MO	CaC	pH	ESP	MWD
1	0.27	-0.56	0.26	-0.99	0.65	0.3	-0.22	-0.98	0.95
2	-0.96	0.83	0.96	0.09	-0.75	0.95	-0.97	-0.19	-0.32

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

Tableau 7 : Distance de Mahalanobis

Groupe	1	2	3
1	0.000		
2	1.8730	0.000	
3	2.6293	2.3306	0.000

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

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

CONCLUSION

La parcelle de H'madena a une texture plutôt fine dominée généralement par les argiles avec en moyenne 4511 %, l'ESP et le pH dépassent parfois les valeurs critiques respectives de 15 % et 8.5. Les variables qui sont liées directement à la stabilité structurale (salinité, ESP, MWD) sont bien corrélées entre elles.

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

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

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

ETAT DE LA DEGRADATION DES SOLS DANS LE BAS CHELLIF

CHEBBANI R. * BEHLOULI A. ** DOUAOUI A. ***

*I.N.S.I.D 12 Bd Colonel Amirouche Alger **I.N.S.I.D laboratoire régional Ouest Relizane

***Centre Universitaire de Chellif

Résumé

La dégradation des sols dans la région du Bas Chellif entraîne une perte de leur fertilité physique et chimique par une salinisation secondaire et la formation des organisations pelliculaires de surface ou croûte de surface. Ces dernières sont par endroits très dures, épaisses compactes et imperméables. Les deux situations étudiées montrent une différence nette dans l'état de la dégradation de leurs sols. Dans la première, sur les 280 échantillons analysés, la salinité varie entre 1 et 8ds/m et plusieurs types de croûte de surface ont été décrits et qui sont en relation étroite avec le taux de salinité. La croûte structurale et la croûte de sédimentation sont très dures, épaisses et compactes et présentent une contrainte pour la germination des semences et la pénétration des racines. Par contre la croûte de salinisation, qui est l'état de dégradation la plus avancée, présente une structure de surface de type spongieuse (structure en pseudo-sable). Au niveau de la deuxième parcelle qui est située en amont de la première et sur les 250 échantillons de sols analysés, la salinité n'a pas dépassé 0.2ds/m. D'autre part, la croûte de surface est de type structural très mince et friable et ne pose pas de contrainte agronomique. Il faut noter qu'au niveau du Bas Chellif, la dégradation des sols par endroits est très avancée et alarmante et risque d'extension de cette dégradation pour les superficies agricoles productives et non atteintes par le phénomène de salinisation.

Mots clés : *Dégradation, salinité, croûte structurale, croûte de sédimentation, croûte spongieuse, variabilité spatiale, conductivité électrique.*

INTRODUCTION

Les zones arides et semi arides constituant la majeure partie du territoire national évoluant sous un climat propice et subissant les contraintes majeures (principalement climatiques et utilisation agricole des terres), connaissent une dégradation continuelle et risquent d'atteindre une étape irréversible qu'est la stérilisation des sols.

La salinité et la croûte de battance constituent pour les zones arides et semi-arides des handicaps pour le développement agronomique et socio-économique. La plaine du Bas Cheliff, située au Nord Ouest de l'Algérie sous un climat semi aride, connaît de graves problèmes de dégradation de ses sols.

La dégradation de la structure des sols et plus particulièrement la formation des croûtes de surface et la prise en masse de lits de semence, en diminuant l'infiltrabilité et en augmentant la cohésion, a des conséquences néfastes sur les plans agronomiques (mauvaise levée des cultures, diminution du stockage de l'eau dans le sol, difficultés de travail du sol) et sur le plan de l'environnement (ruissellement et son cortège de conséquences, érosion, pollution, inondation) (BRESSON, 1994).

Le choix d'une technique appropriée pour prévoir ou contrôler la dégradation de la structure des horizons de surface nécessite une bonne connaissance des processus en cause. Or ceux-ci sont de nature différente selon le type de sol, les conditions climatiques et les pratiques culturales. La microstructure de l'horizon superficiel contrôle largement les comportements physiques essentiels, tel que l'infiltrabilité et le ruissellement en relation avec la genèse des croûtes.

Il est couramment admis que les phénomènes d'éclatements des agrégats et le choc des gouttes d'eau sont largement responsables de la dégradation structurale (FARRES, 1980). BOIFFIN (1984) a observé que lors d'alternances hydriques (humectation-dessiccation) les mottes et agrégats de surface se fragmentent sur leur périphérie, ce qui entraîne l'individualisation des micro - agrégats et l'affinement progressif de la surface.

BOIFFIN (1984) ET BOIFFIN ET MONNIER, (1985) ont montré que la formation des croûtes résulte d'une combinaison de processus :

- détachement des particules.
- déplacement et colmatage intersticiel.
- compaction par le choc des gouttes.

La formation des croûtes à la surface du sol, sous l'action des pluies entraîne une réduction de l'infiltrabilité qui accroît les risques de ruissellement et d'érosion. L'analyse de la dynamique de formation et de la structure de ces croûtes est en relation avec les conditions hydriques initiales.

On note deux mécanismes de désagrégation: L'éclatement à partir d'agrégats initialement secs et la désagrégation mécanique à partir d'agrégats initialement saturés. La structure des croûtes et leur cinétique de formation sont très différentes suivant l'état d'hydratation initial des agrégats. Lorsque les agrégats sont secs, la formation de la croûte intervient dès le début de la pluie, les premières couches d'agrégats sont totalement désagrégées et l'excès d'eau apparaît rapidement en surface. En revanche, lorsqu'ils sont saturés la croûte se forme lentement et l'infiltrabilité reste élevée (LE BISSONNAIS, 1988).

En 1945, ELLISON établissait, en étudiant le développement des croûtes, que l'érosion débute par le déplacement des particules produites par rejaillissement sous l'impact des gouttes de pluie. MC INTYRE (1958) a, par la suite, montré comment les propriétés du sol pouvaient intervenir sur le splash et la formation des croûtes.

Plus récemment, de nombreuses recherches ont été menées sur la désagrégation, le splash, la structure des croûtes (CHEN et al, 1980 ; VALENTIN, 1981 ; ONFIOK ET SINGER, 1984 ; BOIFFIN ET BRESSON, 1987 ; NORTON, 1987 ; CASENAVE et VALENTIN, 1988 ; LE BISSONNAIS, 1988, LE SOUDER, 1990 ; ROSE, 1992 ; LANGE, KIDRON, 1992 ; LOCH et FOKEY, 1994 ; BRESSON, 1995) et sur l'encroûtement, le ruissellement et la réponse à l'érosion (LE BISSONNAIS ET SINGER, 1992 ; LE BISSONNAIS, 1994). D'autres études ont porté également sur la typologie des croûtes (CASENAVE ET VALENTIN, 1988). KAZMAN et al ; AGASSI et al, ont montré que l'énergie des gouttes des pluies réduit la porosité, compacte la surface par la dégradation des agrégats et la dispersion des argiles. Dans les sols salés, le Na joue un rôle majeur sur la dispersion des argiles des agrégats. LE BISSONNAIS (1988) a distingué différentes étapes successives de l'évolution structurale:

- La première correspond à l'humectation des agrégats de la surface.
- La deuxième étape consiste à l'effondrement de la structure des particules mobilisées durant la première phase et qui colmate progressivement la porosité inter-agrégats.
- La troisième étape démarre avec l'apparition d'un excès d'eau en surface.

Problématique

Au total 955 millions d'hectares dans le monde sont affectés par les sels. La perte annuelle des sols dans le monde par le phénomène de salinisation est de 20 millions d'hectares (R.H. QURESHI, 1993). Avec 270 millions d'hectares, l'agriculture irriguée représente 17% de la surface totale exploitée et fournit le 1/3 de la production mondiale. Dans les régions arides et semi-arides, le recours à l'irrigation est nécessaire, voire 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 50 ans après la mise en place des aménagements hydro-agricoles (SMEDEMA, 1994). Le stade ultime de cette dégradation est la stérilité du sol, parfois irréversible. Les périmètres irrigués de la plaine de Chelif, région reconnue pour sa grande vocation agricole n'échappe pas aux problèmes de dégradation des sols (croûte de battance, réduction de l'infiltrabilité, généralisation du ruissellement et perte de la production agricole).

La région Ouest du pays, s'étendant de la frontière marocaine (plaines cotières de Timouchent) jusqu'à la haute plaine de l'oued Chelif (Khemis miliana) en passant par le haut, le moyen et le Bas Cheliff, la mina, l'Habra, Sig et autres très importantes plaines (Sidi Bel Abbes, Tlémcen ...), subit 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 (géologique - géomorphologique, hydrogéologique et climatique), tels les bassins de la Macta et bassin de la Mina) d'autres, une origine secondaire ou humaine par une pratique des irrigations non maîtrisée et une exploitation agricole non raisonnée.

La dégradation des sols, des réseaux de drainage et d'irrigation, ont connu une situation d'abandon et de détérioration graduelle depuis l'indépendance du pays.

Quant aux sols où l'introduction de l'irrigation sans mesure préalable de drainage et de préservations, ils sont connus une dégradation très avancée par la formation d'une croûte de surface réduisant ainsi l'infiltrabilité et la germination des semences. Actuellement, la superficie totale atteinte par le phénomène de salinisation et de dégradation superficielle est d'environ 100 000 à 200 000 hectares.

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 « localisées et anciennes » ont concerné l'aspect salinité sans pour autant prendre en compte l'aspect dégradation structurale. Pour mieux connaître le comportement de ces sols vis à vis de la dégradation, nous nous attacherons dans le présent article à évaluer le degré de la dégradation des horizons de surface sous l'effet de la salinisation.

MATERIEL ET METHODE

L'étude que nous présentons a été réalisée sur deux sites à différents degrés de dégradation des horizons de surface (parcelle A et parcelle B). Pour la parcelle A, il s'agit de sols d'apports colluviaux et alluviaux à texture lourde (argilo-limoneuse), une structure polyédrique à prismatique en surface. Le plus souvent, on distingue des caractères verticaux bien marqués. Au niveau de cette parcelle, les signes de dégradation sont très apparents (formation des croûtes de salinisation, et présence de caractère d'hydromorphie. D'après DAOUD (1993) la salinisation de l'horizon de surface augmente chaque année suite à l'insuffisance pluviométrique et à la forte évaporation. Pour la parcelle B située à l'amont de la première, il s'agit de sol calcimagnésique et occupe la zone de bordure de la plaine à texture limono-argileuse, une structure polyédrique fine à fragmentaire. Ce deuxième type de situation présente un état de dégradation moins alarmant que la première.

L'échantillonnage a été effectué au niveau de l'horizon de surface suivant une maille carrée (canevas systématique) dont la mise en place est simple au niveau du terrain. Ainsi 560 échantillons de sol ont été prélevés entre 0 et 25cm de profondeur, niveau choisi pour son homogénéité latérale, un espacement de 250 m a été maintenu.

- La parcelle A est de 5000m par 3500m, l'ensemble des échantillons est de 280
- La parcelle B est de 5000m par 3500m, l'ensemble des échantillons est de 280.

Les mesures de conductivité électrique ont été réalisées sur extrait 1/2.5 de sol. D'autre part les croûtes de surface ont été décrites morphologiquement (épaisseur, forme et dureté de la croûte).

Traitements numériques

Les traitements numériques des données de la CE (variabilité spatiale et cartographie assistée) ont été réalisés à partir des logiciels GEOEAS et SURFER 6. Le premier se base sur la théorie des variables aléatoires régionalisées (MATHERON, 1965). Cette théorie est bien adaptée aux problèmes de variabilité spatiale et d'estimation dans les sols (GASCUEL, 1984) offre entre autres deux fonctions à l'utilisateur :

- Un module de variographie permet d'étudier la variabilité spatiale de la salure, plus particulièrement la corrélation existant entre deux points de mesure comme fonction de la distance qui les sépare ;
- Un deuxième module permet la cartographie par krigeage une variable donnée, et de restituer le résultat sous forme de l'interpolation sous forme de carte d'isovaleurs.

Milieus étudiés

La zone d'étude est située au Nord-Ouest de l'Algérie et fait partie de la plaine du Bas-chellif (d'une superficie de 40 000 hectares). Elle est située à trente cinq kilomètres (vol d'oiseau) de la Méditerranée et à 30 kilomètres de Relizane. Le climat est de type méditerranéen semi-aride à tendance continental à deux saisons contrastées (l'une humide et pluvieuse et l'autre sèche) avec un déficit hydrique durant la période sèche.

Les sols sont de type d'apport alluvial et colluvial et sont principalement des argiles et limons souvent à caractères salins. L'autre type de sol est calcimagnésique ou le caractère salin est absent.

La majorité des eaux de la zone présentent un faciès chloruré-sodique qui s'accroît avec l'augmentation du niveau de salinité. D'après DAOUD (1993), la salinité de l'eau des nappes de la plaine varie entre 2 et 30 ds/m et dans certains cas, elle peut dépasser 50ds/m. Pour les eaux souterraines, l'aquifère principal contient des niveaux élevés de sels dissous. Cette salure des eaux a induit à son tour une salure importante des sols des bas fonds à mauvais drainage aboutissant à la dégradation des sols et l'apparition d'une végétation caractéristique des sols salés tel que *Salsola*, *Suaeda*, *Atriplex* et *Peganum harmala*.

RESULTATS ET INTERPRETATION

Variabilité spatiale de la CE

Cette variabilité a été étudiée sur deux sites différents de points de vue pédogénèse et situation topographique. La taille des parcelles est de 1750 hectares chacune. Le nombre de points échantillonnés est de 280 pour chaque parcelle.

La CE a toujours une fonction de répartition normale. La variable est faiblement structurée ou purement aléatoire (P. BOIVIN *et al*, 1988). Dans le cas où la fonction aléatoire est stationnaire, on obtient des graphes où la portée, distance à partir de laquelle les points sont indépendants et donc où le palier, variance σ^2 de la population est atteint. Pour l'analyse de la structure spatiale de la variable nous avons procédé à l'estimation du variogramme expérimental de la CE, à l'étude de son comportement et la recherche de son ajustement à un modèle structural théorique. Pour la parcelle A, on observe une forte variabilité spatiale de la salure avec un coefficient de variation de 99,87%, la structure spatiale expérimentale s'ajuste à un modèle théorique de type exponentiel; l'effet de pépite (ou variance à faible distance) a été évalué jusqu'à des distances de 470 m. Le palier, ou variance à grande distance, observé correspond à des coefficients de variation supérieurs à 50%, il est de 2.71. Pour la parcelle B le coefficient de variation est de 23.24% ce qui montre une moyenne variabilité spatiale de la CE, ceci qui signifie que la variabilité est presque la même que l'on se place à 250 m ou à 400 m. La structure spatiale expérimentale s'ajuste à un modèle théorique exponentiel, avec un palier égale à 0.0006.

Cartographie par krigeage

Les cartes en courbes d'isovaleurs à partir des estimations par krigeage sont obtenues grâce au programme SURFER 6 qui fait la gestion des données et la représentation graphique. Les estimations aux noeuds d'une grille des différents paramètres sont visualisées sur des cartes d'isovaleurs ou cartes de valeurs ponctuelles.

Au niveau de la parcelle, la CE ne présente par une distribution orientée dans le paysage, l'aspect erratique est très accentué. Les valeurs extrêmes de la salure se localise au niveau de quelques endroits privilégiés telles que les dépressions et des zones à mauvais drainage (fig. 1). Par contre, pour la parcelle B, on note la présence d'un gradient de distribution orienté de la salure dans le paysage (fig. 2).

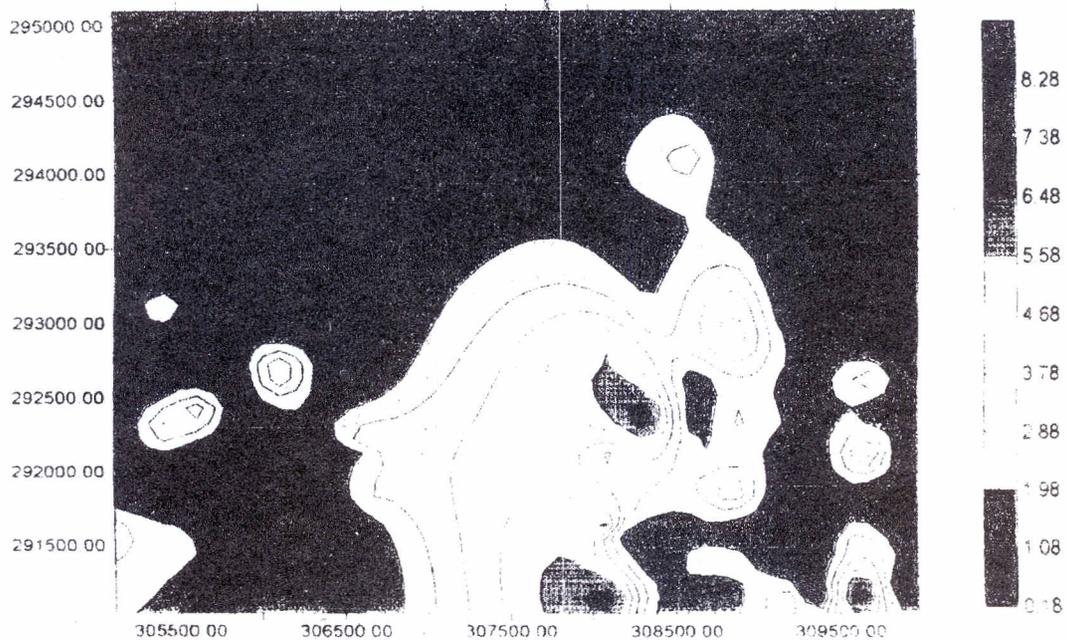


Figure 1. Carte d'isovaleur de la conductivité électrique (CE en dS/m) de la parcelle A

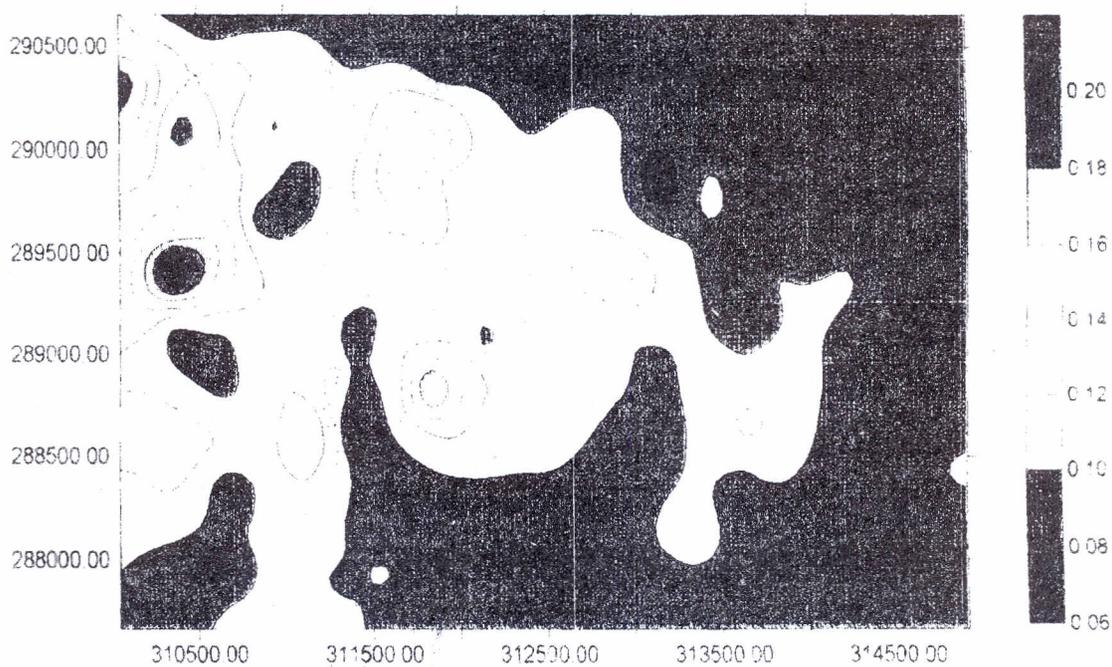


Figure 2. Carte d'isovaleur de la conductivité électrique (CE en dS/m) de la parcelle B

Caractérisation morphologique des croûtes de surface

La prospection pédologique a permis de distinguer 5 types de croûtes de surface, qui sont en relation généralement avec la nature du sol (granulométrie et structure), des façons culturales et de la charge grossière, ainsi que de la position topographique et du taux de salinité (fig. 3).

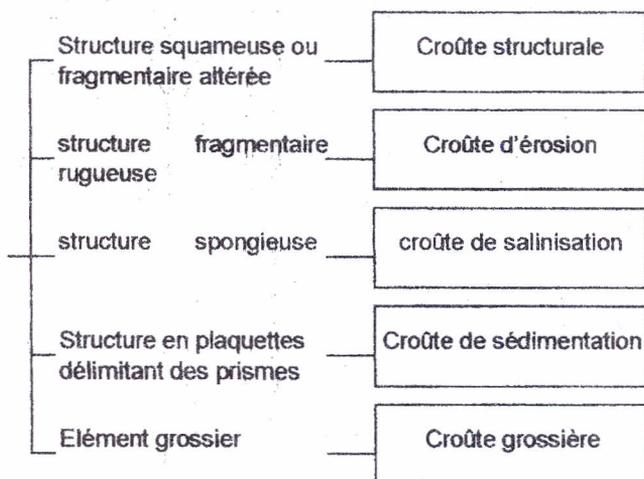


Figure 3 : Différents types de croûte rencontrés dans la zone d'étude.

- Croûte structurale

Les différents processus de mobilisation des particules interviennent lors de la phase d'humectation et préparent ainsi leur détachement par les gouttes de pluie. Les vides entre les agrégats se trouvent peu à peu comblés par les grains de sables et les fragments d'agrégats préalablement disjoints de la croûte qui se forme alors, ils émergent les agrégats les plus gros fortement émoussés (VALENTIN et CASENAVE, 1989). Cette croûte a une structure squameuse à paroi remboursée, présence de reste d'agrégats à la surface lui imprimant une forme rugueuse. Elle est lézardée par des fentes de dessiccation. Elle est friable et son épaisseur est de 10 mm. La surface est couverte d'une pellicule structurale, très fines, fragile et discontinue et qui recouvre de petits agrégats et grumeaux (Fig. 4).



Figure 4: Croûte type structurale

- Croûte d'érosion

Ce type de croûte est formé par une pellicule plasmique enrichie en éléments fins qui recouvrent les agrégats qui restent plus ou moins intacts. Une croûte d'érosion peut se former aux dépens :

- d'une croûte structurale argileuse: Le choc répété des gouttes de pluie sur la croûte qui reste exondée conduit à la formation d'une pellicule très compactée, souvent enrichie en

éléments fins (VALENTIN et FIGUEROSA, 1987). Il s'en suit une diminution de la rugosité et une disparition progressive de tout reste d'agrégats.

- d'une croûte de ruissellement: à mesure que la rugosité du terrain diminue, la vitesse du ruissellement augmente, limitent ainsi les mécanismes de dépôt et accentue l'arrachement. C'est ainsi qu'une croûte structurale de dépôt peut s'éroder jusqu'à la mise à l'affleurement de la croûte structurale qui se transforme en croûte d'érosion (CASENAVE et VALENTIN, 1989). La croûte d'érosion se présente sur structure continue, compacte et plus ou moins endurcie.

Dans ce type de croûte, la partie superficielle (pellicule de surface) est plus compacte et plus ou moins rugueuse. Ce type de surface est un stade plus avancé de dégradation. La pellicule de surface peut atteindre 10 mm d'épaisseur dans certains cas (Fig 5).



Figure 5: Croûte de type érosion

- Croûte de salinisation

Ce type de croûte témoigne d'une dégradation très avancée de la surface du sol. La structure est de type spongieuse du fait du cycle de dessiccation et d'humectation. Les sels se cristallisent dans la porosité et prennent la forme des vides et des vésicules. La surface est recouverte par une pellicule très mince. Cette dernière, à son tour, recouvre une zone de transition formée de pseudo-sable. Il s'agit de la dessiccation des minéraux argileux après leur dispersion par les ions sodium différents. À son tour, cette zone de transition recouvre des agrégats à structure polyédrique à prismatique. Ce type de croûte est très fragile (Fig. 6).

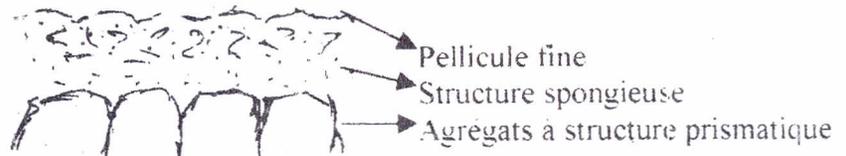


Figure 6: Croûte de salinisation

- Croûte de décantation ou de sédimentation

C'est la croûte qui se forme après sédimentation des particules dans un liquide au repos. Le tri granulométrique très marqué entre les différents lits qui la constituent, d'éléments grossiers à la base, fins en surface, favorise la formation de fissures et des fentes au cours de la dessiccation (CASENAVE et VALENTIN, 1989). Assez souvent, elle se trouve consolidée par la présence d'algues qui lui confèrent alors une couleur noirâtre en surface.

La partie superficielle est fragmentaire, en polygones. La structure en plaquette délimite des prismes. C'est le micro-horizon superficiel qui a permis d'identifier ces types de croûtes. Cette pellicule structurale de surface est très fine, fragile et discontinue. Les éléments grossiers se trouvent à la base et les éléments fins au sommet (Fig. 7).

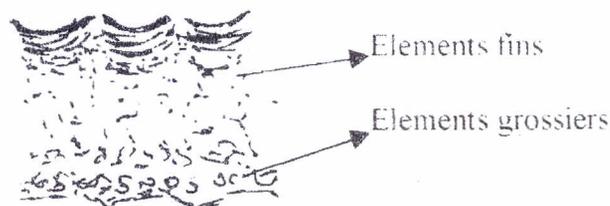


Figure 7. Croûte de décantation

- Croûte à charge grossière

Dans ce type de croûte, les éléments grossiers se trouvent enchâssés dans une pellicule plasmique de quelques mm d'épaisseur et lui confère une grande fragilité. Il est le résultat de la battance des gouttes de pluie sur la surface du sol généralement enrichie en charges grossières. Dès lors que les éléments grossiers excèdent 40% de la surface, nous considérons celle-ci comme formée d'une croûte à type G. (CASENAVE et VALENTIN, 1989) (Fig 8).



Figure 8. Croûte à charge grossière

CONCLUSION

A la lumière des résultats obtenus sur les deux parcelles étudiées, nous constatons deux situations différentes de dégradation de la fertilité physique des sols au niveau du Bas-Chellif. La première parcelle A située au niveau de la plaine et dont le drainage est mauvais, présente une forte variabilité spatiale de la salure. Ce type de salure entraîne une dégradation de l'horizon de surface et l'apparition de plusieurs types de croûtes (croûte d'érosion, croûte de sédimentation et la croûte de salinisation), différentes morphologiquement suivant la position topographique. Il faut noter que le type de croûte est en relation avec le taux de sel dans le sol. Cette dégradation entraîne un compactage du lit de semence et une baisse de la fertilité du sol. L'autre parcelle, située à l'amont de la première, présente une situation moins alarmante. Le drainage est rapide et la salinité est faible et présente une moyenne variabilité spatiale. D'autre part les croûtes de surface (croûte structurale et la croûte à charge grossière) sont fragiles et friable. La pratique culturale est de type céréaliculture intensive. Ce type de situation ne pose pas de contrainte de fertilité physique.

Au cours de la dégradation structurale, on note une différenciation verticale de l'organisation de la couche superficielle se traduisant par l'individualisation de micro-horizons (BOIFFIN et BRESSON, 1987 ; BRESSON, 1995). La dégradation de la structure superficielle passe par plusieurs étapes de l'état fragmentaire à l'état de la dégradation de la partie superficielle (croûtes stratifiées) ou phase d'évolution structurale en passant par la phase de fermeture de la surface et la généralisation de la dégradation de la couche superficielle du sol.

BIBLIOGRAPHIE

- BOIFFIN J. (1984) - La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. *Thèse Doct. Ing.*, 320pp
- BOIFFIN J., BRESSON L.M. (1987) - Dynamique de formation des croûtes de superficielles : apport de l'analyse microscopique. *Micromorphologie des sols* : 393-399
- BOIVIN P., BRUNET D., JOB J.O. (1988) - Conductivité électromagnétique et cartographie automatique des sols salés. Une méthode rapide et fiable. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIV, n° 1* : 39-48
- DAOUD Y. (1993) - Contribution à l'étude des sols des plaines du Chelif. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. *Thèse Doc. d'Etat. INA alger*, 233pp
- GASCUEL- ODEUX C (1984) - Application de la géostatistique à l'étude de la variabilité spatiale des propriétés hydriques du sol. *Thèse de Doc. Ing.* 235pp
- QUERSCI R.H., NAWAZ S., ASLAM M. (1993) - Performance of selected atriplex and maireana species in the PUNJAB, Pakistan. Halophite utilisation in agriculture Agadir, Morocco 538pp.

CONTRIBUTION A L'ETUDE PEDOLOGIQUE DES SOLS SALES DE HAMADENA

DJEBRANI M

INRAA, Centre de Recherche en Phytotechnie de Mahdi Boualem BP37 Baraki - Alger

Résumé

La présente étude porte sur les sols salés de la station INRAA de Hamadena faisant partie du Bas-Chelif. A priori, les sols paraissent jouir de caractéristiques intéressantes pour la production agricole. L'étude détaillée, descriptive et analytique nous révèle d'autres caractères négatifs qui constituent de sérieux obstacles à la mise en culture et à l'aménagement de ces sols en général. Ces contraintes sont la salinité des sols accentuée par la fluctuation de la nappe d'eau salée, l'hydromorphie due à la nappe peu profonde et qui est favorisée par la texture lourde et enfin l'insuffisance des eaux de pluie et d'irrigation pour lessiver les sels en profondeur. Ainsi donc, la plus grave contrainte soulevée lors de l'étude de ces sols reste la salinité. Cette dernière s'avère très élevée sur la majeure partie de la station, atteignant un seuil maximal avoisinant les 5 mmhos/cm² à 25°C au nord de la station (partie basse), quant à la partie sud (partie haute), la C E y est moins élevée. Notons que ce problème de salinité est intimement lié à celui de l'hydromorphie et à la fluctuation de la nappe d'une saison sèche à une saison humide. Les teneurs de ces sols en calcaire total sont moyennes dans l'ensemble et le pH est élevé, oscillant entre 7,80 et 8,00. Les sols possèdent par ailleurs une capacité d'échange cationique (CEC) élevée. Celle-ci leur a été conférée par la texture lourde à dominance argilo-limoneuse. Cette texture représente deux gros inconvénients : la faible perméabilité et l'hydromorphie, le toit de la nappe étant proche de la surface et le drainage étant très faible. L'installation d'un réseau de drainage efficace pour évacuer l'excès d'eau hors des parcelles s'avère alors indispensable. Le sol présente un déficit hydrique très prolongé du à la sécheresse et à l'élévation de l'évapotranspiration. Cette eau est salée, par conséquent, elle donne lieu à une accumulation de sels dans le sol. Parmi les propriétés chimiques induites par les sels, citons l'alcalinité avec un pH élevé voisin de 8. L'aménagement de tels sols se heurte à d'énormes obstacles qui sont principalement le problème de salinité accentué par la sécheresse et le climat aride en général, d'autre part, celui de l'hydromorphie lié à la présence de la nappe et à la texture argileuse. Les actions à entreprendre en priorité seraient nécessairement en rapport avec le drainage, les sels et les cultures envisagées. Pour ce, de grandes quantités d'eau d'irrigation doivent être mobilisées, afin de lessiver les sels en profondeur.

Mots clés : *sols salés, hydromorphie, sols lourds, semi-aride, drainage.*

INTRODUCTION

Cette étude pédologique constitue une contribution à la connaissance des sols de la station et de la région en général. La station de recherche de Hamadena (wilaya de Relizane) est l'une des plus importantes parmi les cinq (05) stations que comprend le réseau de recherche de l'Institut National de Recherche Agronomique d'Algérie. Cette station dont

CONTRIBUTION A L'ETUDE PEDOLOGIQUE DES SOLS SALES DE HAMADENA

DJEBRANI M

INRAA, Centre de Recherche en Phytotechnie de Mahdi Boualem BP57 Baraki - Alger

Résumé

La présente étude porte sur les sols salés de la station INRAA de Hamadena faisant partie du Bas-Chelif. A priori, les sols paraissent jouir de caractéristiques intéressantes pour la production agricole. L'étude détaillée, descriptive et analytique nous révèle d'autres caractères négatifs qui constituent de sérieux obstacles à la mise en culture et à l'aménagement de ces sols en général. Ces contraintes sont la salinité des sols accentuée par la fluctuation de la nappe d'eau salée, l'hydromorphie due à la nappe peu profonde et qui est favorisée par la texture lourde et enfin l'insuffisance des eaux de pluie et d'irrigation pour lessiver les sels en profondeur. Ainsi donc, la plus grave contrainte soulevée lors de l'étude de ces sols reste la salinité. Cette dernière s'avère très élevée sur la majeure partie de la station, atteignant un seuil maximal avoisinant les 5 mmhos/cm² à 25°C au nord de la station (partie basse), quant à la partie sud (partie haute), la C.E y est moins élevée. Notons que ce problème de salinité est intimement lié à celui de l'hydromorphie et à la fluctuation de la nappe d'une saison sèche à une saison humide. Les teneurs de ces sols en calcaire total sont moyennes dans l'ensemble et le pH est élevé, oscillant entre 7,80 et 8,00. Les sols possèdent par ailleurs une capacité d'échange cationique (CEC) élevée. Celle-ci leur a été conférée par la texture lourde à dominance argilo-limoneuse. Cette texture représente deux gros inconvénients : la faible perméabilité et l'hydromorphie, le toit de la nappe étant proche de la surface et le drainage étant très faible. L'installation d'un réseau de drainage efficace pour évacuer l'excès d'eau hors des parcelles s'avère alors indispensable. Le sol présente un déficit hydrique très prolongé du à la sécheresse et à l'élévation de l'évapotranspiration. Cette eau est salée, par conséquent, elle donne lieu à une accumulation de sels dans le sol. Parmi les propriétés chimiques induites par les sels, citons l'alcalinité avec un pH élevé voisin de 8. L'aménagement de tels sols se heurte à d'énormes obstacles qui sont principalement le problème de salinité accentué par la sécheresse et le climat aride en général, d'autre part, celui de l'hydromorphie lié à la présence de la nappe et à la texture argileuse. Les actions à entreprendre en priorité seraient nécessairement en rapport avec le drainage, les sels et les cultures envisagées. Pour ce, de grandes quantités d'eau d'irrigation doivent être mobilisées, afin de lessiver les sels en profondeur.

Mots clés : *sols salés, hydromorphie, sols lourds, semi-aride, drainage.*

INTRODUCTION

Cette étude pédologique constitue une contribution à la connaissance des sols de la station et de la région en général. La station de recherche de Hamadena (wilaya de Rélizane) est l'une des plus importantes parmi les cinq (05) stations que comprend le réseau de recherche de l'Institut National de Recherche Agronomique d'Algérie. Cette station dont

L'I.N.R.A. A s'est proposé de réaliser l'étude pédologique est d'une superficie de soixante dix hectares (70 ha). Elle est caractérisée par des sols lourds présentant une salinité élevée (Daoud Y, 1981), ce sont les deux principales caractéristiques de ces sols. Ce travail a abouti enfin à l'établissement de cartes pédologique et thématique. Une carte d'occupation des sols a été aussi dressée, le tout à l'échelle 1/2000e. Au préalable, un aperçu succinct sur la géologie, l'hydrogéologie, les sols ainsi que le climat de la région a été donné. La station de Hamadena est constituée de sols lourds ce qui représente une contrainte majeure de ces sols. En effet cette texture lourde induit un drainage faible. Le toit de la nappe est très proche de la surface du sol d'où problème d'hydromorphie. Par ailleurs, cette eau ainsi que ces sols sont salés ce qui constitue une autre contrainte pour les cultures.

MATERIEL ET METHODES

Matériel

- Présentation du site

La station de Hamadena s'étend sur une superficie de soixante dix (70) hectares, cette station est surtout caractérisée par des problèmes de salinité, aggravés par un mauvais drainage, compte tenu de la texture lourde et de la présence de nappe d'eau salée à faible profondeur avoisinant les deux mètres. L'aménagement de tels sols pose d'énormes problèmes, car il faut à la fois résoudre le problème de drainage par l'installation d'un réseau efficace pour évacuer l'eau en excès dans le sol, et d'autre part celui des sels par leur élimination hors de la zone explorable par les racines des cultures. Des essais d'amendement en phosphogypse ont été installés en vue d'une expérimentation ayant pour but de remédier aux problèmes causés par le sodium (Na^+) à savoir la dégradation de la structure du sol, et ce, en déplaçant ce Na^+ par le Ca^{++} contenu dans le phosphogypse (Benamar A, 1991). Cette méthode était en phase d'expérimentation. En définitive, cette station représentative de toute une région, est d'une grande importance vu les problèmes particuliers à étudier afin d'aboutir à des propositions d'aménagement de ce type de sols.

-Localisation

La station de Hamadena est située à l'aval de la plaine de Cheliff, à une trentaine de kilomètres à l'est de Relizane, à proximité du village portant le même nom. Elle occupe une superficie de 70 ha et elle est destinée à l'étude des sols salés et à la possibilité de leur exploitation. Ce sont en général des sols lourds nécessitant un drainage. La cote moyenne du terrain est de 48,50m et la pente est faible avoisinant 1,5% (J.H. Durand, 1956). Les problèmes majeurs spécifiques à cette station restent l'accumulation des sels et le drainage.

- La géologie de la région

L'étude géologique de cette région nous indique qu'on retrouve du sud au nord au fur et à mesure que l'on s'approche de l'Oued Cheliff quatre terrasses différentes. La plus ancienne est formée de poudings épais. Elle est suivie d'une autre récente formée d'alluvions brunes perméables. Nous retrouvons ensuite une surface de remblaiement formée d'alluvions grises (alluvions récentes), argileuses, plus ou moins salées et imperméable. La station de Hamadena se trouve à ce niveau. Enfin sur la rive de l'Oued Cheliff existe une terrasse moderne formée de sables (J.H Durand, 1956).

-L'hydrogéologie

Les sols de Hamadena renferment une nappe d'eau superficielle dont la profondeur fluctue entre 1.30m et 2.50m (mesures effectuées le 31 juillet 1989) Il faut signaler qu'il existe un marais salé à l'est de la station, le sud par contre est constitué de coteaux. Les eaux souterraines proviennent donc à la fois du marais et du coteau, les premières sont plus salées que les secondes (J.H Durand, 1956).

-L'occupation des sols

Les sols de la station de Hamadena sont travaillés dans leur totalité. Parmi les cultures et essais mis en place, on retrouve de l'orge, du blé dur, de la vesce-avoine, du pois-avoine, de l'avoine et de la fève. Certaines parcelles, sont réservées aux essais d'amendement en phosphogypse (voir carte d'occupation du sol).

- Aperçu sur les sols de la région

Les sols de la plaine du Cheliff sont formés d'alluvions plus ou moins récentes, ils sont en général très profonds et constituent de bons sols agricoles. La station de Hamadena, située dans la partie basse de la plaine du Cheliff, repose également sur des alluvions grises, argileuses et imperméables. La nappe d'eau est toute proche de la surface du sol: cette eau est salée, c'est ce qui cause, lors de la remontée de la nappe, un dépôt de sel. Les sols de la région de Relizane ont tous un problème de salinité, les sels font que parfois la structure du sol est dégradée et ce, à cause de la dispersion des argiles par le sodium (Na^+) qui constitue l'ion principal de ces sels. Le second obstacle à l'aménagement de ces sols est l'hydromorphie compte tenu de la présence de la nappe à faible profondeur et de la texture lourde. (Berrokia A, 1985) Quant aux autres caractères pédologiques, ils sont en général satisfaisants.

-Le climat de la région

La station météorologique de Relizane sise aux coordonnées suivantes: longitude: $0^{\circ}33'$ Est, latitude: $35^{\circ}45'$ Nord et altitude moyenne: 75m, nous fournit les données climatiques illustrées dans (Tableau I et II) ci-dessous. La pluviométrie annuelle étant très faible (325mm) et 43% de celle-ci tombe en l'espace de trois mois seulement (novembre à janvier). Les périodes les plus chaudes correspondent aux périodes les plus sèches (fig. 1).

Tableau I : Les pluviométries mensuelles

Mois	Janv.	Féé	Mars	Var	Mai	Juin	Juif	Août	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	An
Pmm	47	35	37	30	32	7	1	1	13	29	45	48	325

(source: Seltzer, 1946)

Tableau II: Les températures mensuelles

T°	Jan	Fe	Mar.	Var	Mai	Juin	Juif	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
m	4.5	5.7	7.1	9.1	12.3	15.1	18.6	19.2	17.6	12.8	9.1	5.5
M	15.3	16.9	19.8	23.4	27.8	32.1	37.2	37.7	32.5	26.4	19.9	16.1
M+m /2	9.9	11.3	13.45	16.25	20.05	23.6	27.9	28.7	25.05	19.6	14.5	10.8

(source: Seltzer, 1946)

où m = moyenne de tous minima.

M = moyenne de tous maxima et $M + m/2$ = moyenne mensuelle.

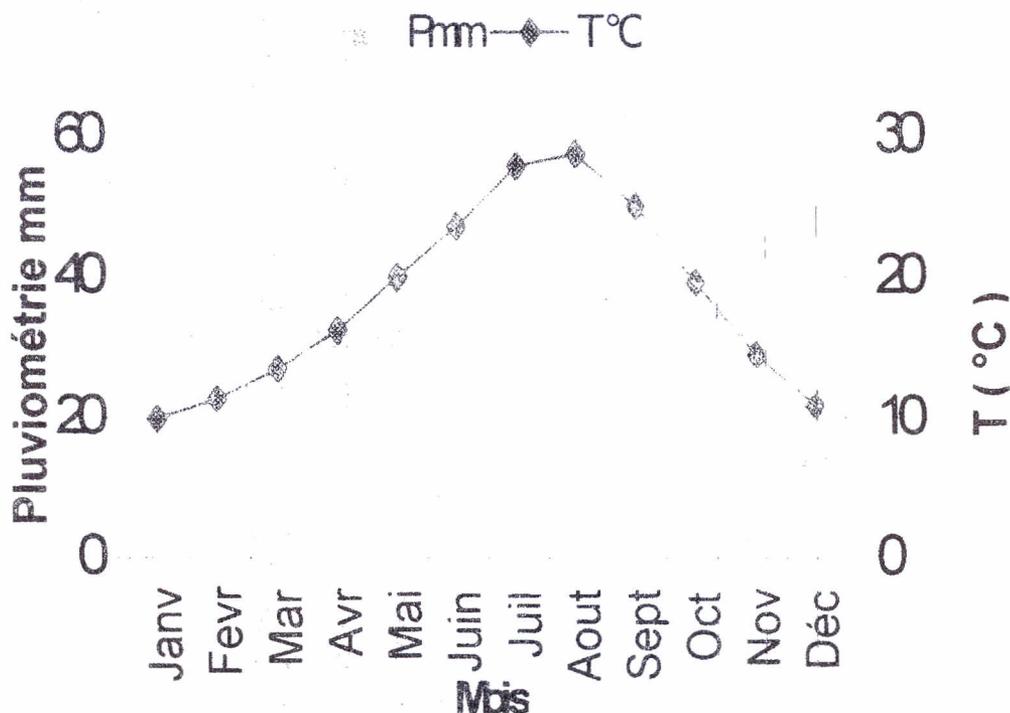


Figure 1 Diagramme ombrothermique

Méthodes

L'étude pédologique de la station de Hamadena a été réalisée en plusieurs étapes. Celles-ci débutent par une collecte des données concernant la région en général et la station en particulier. Elle est ensuite suivie d'une collecte de documents de base indispensables pour l'établissement des cartes, entre autres la carte topographique de la zone. La phase suivante consiste en la prospection pédologique avec dans un premier lieu des sondages systématiques à la tarière puis des profils représentatifs. Ces profils au nombre de sept (07) ont été décrits morphologiquement en notant le plus d'informations possibles sur la profondeur, la couleur (Oyama M. et Takehara H, 1967), l'appréciation de la matière organique, du calcaire, de la texture, de la structure, des revêtements, des taches d'oxydoréduction et autres. Ils sont également échantillonnés pour être analysés. Enfin les méthodes d'analyse adoptées sont comme indiquées ci-dessous (Jourdan E., 1976)

- Texture: à la pipette de Robinson
- C.E: Conductivimètre à partir de la pâte saturée
- C.E.C: Méthode Drouineau
- C.O: Méthode Anne
- Calcaire total: Calcimètre de Bernard.
- N total: Méthode de Kjeldahl

RESULTATS ET DISCUSSION

D'après les résultats de la description morphologique et des analyses physico-chimiques, il ressort clairement que les sols de Hamadena se distinguent par les caractéristiques suivantes : un niveau de salinité assez élevé, une texture argileuse, un taux de calcaire assez élevé, un pH élevé voisin de 8, une profondeur satisfaisante mais les sols sont limités par une nappe d'eau salée qui fluctue d'une saison à une autre, causant une hydromorphie temporaire et une salinisation des sols.

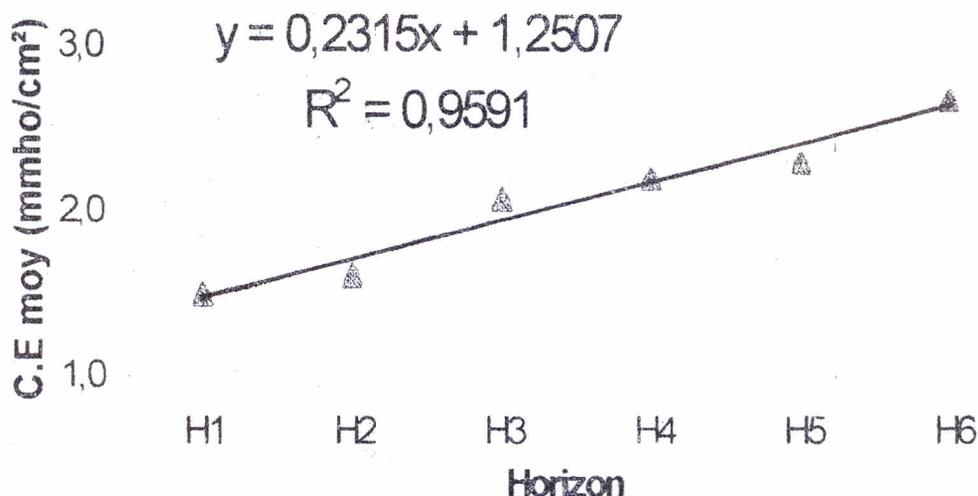


Figure 2 Evolution de la salinité avec la profondeur

Les variations spatiales de la salinité

La salinité des sols évaluée à partir de la conductivité électrique effectuée sur pâte saturée est très forte sur la plus grande partie de la station. Cette conductivité électrique atteint un seuil maximal avoisinant $CE = 5 \text{ mmhos/cm}^2$ à 25°C et ce, sur la partie basse (nord) des terres de la station (profil n°3). Cependant, cette salinité est très faible à la partie haute (sud est) de la station où la conductivité ne dépasse guère $0,03$ à $0,08 \text{ mmhos/cm}^2$ à 25°C pour les profils n°1 et n°2 (fig.3 et fig.4). Le reste des sols de la station est caractérisé par une conductivité électrique très élevée. Cette salinité est en relation avec la nappe souterraine dont le toit est à environs deux mètres de la surface du sol. Cette nappe d'eau salée par sa remontée en saison humide et sa chute en saison sèche contribue à la salinisation de ces sols par dépôts successifs de sels (Daoud, 1993). Ce problème de salinité associé à celui de l'hydromorphie constitue une contrainte majeure à l'aménagement de ces sols. Un réseau de drainage est indispensable ainsi qu'une opération de dessalinisation avant de mettre en culture ces terres (Durand J.H. et Guyot J. 1955). Par ailleurs, on observe une tendance à l'élévation de la teneur en argile en profondeur où la moyenne passe de $32,9\%$ en surface à $38,3\%$ en profondeur (fig.5). Il en est de même pour la valeur de la C.E. qui passe de $1,50 \text{ mmho/cm}^2$ en surface à $2,68 \text{ mmho/cm}^2$ en profondeur (fig.2). Ceci est sans doute probablement en relation avec la présence de la nappe à faible profondeur.

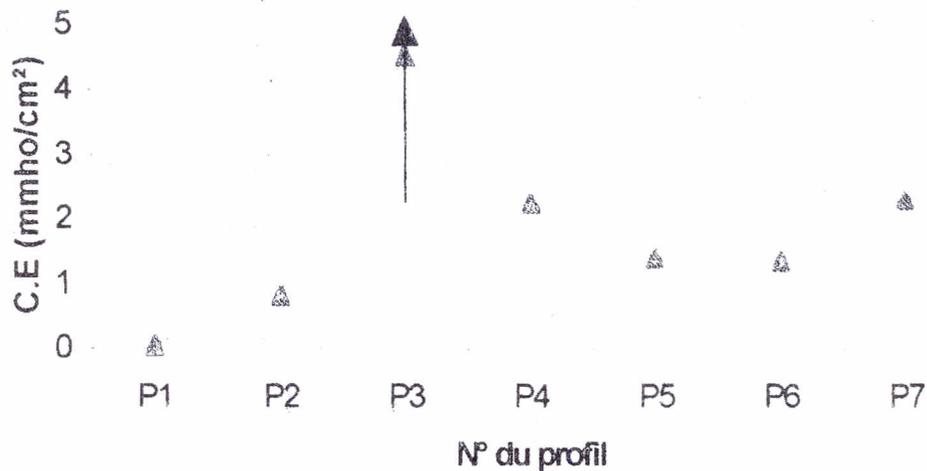


Figure 3 : Evolution de la salinité par profil

Impact sur le pH des sols

Le pH des sols de la station de Hamadena oscille entre 7.8 et 8.0 en moyenne. Ce pH est très élevé et ne peut être toléré par quelques plantes. Ce pH doit être abaissé par une acidification progressive du milieu car il pose de sérieux problèmes dans l'assimilation des éléments, notamment les phosphates qui deviennent non assimilables vu leur rétrogradation à partir de pH= 8 sous forme d'ion bivalent (ex. phosphates bi puis tricalciques). Ce problème est surtout valable pour les céréales qui sont de mauvaises extractrices de phosphore contrairement aux légumineuses (Durand J.H., 1956). Ce pH élevé est certainement dû à la teneur élevée en calcaire (environ 20% en moyenne) ainsi qu'à la présence des sels

Les effets de la texture des sols

La texture des sols de la station de Hamadena est en général lourde, souvent argilo-limoneuse. Cependant quelques zones de la station renferment un peu plus de sable que les autres, c'est le cas de la partie formant l'angle nord-ouest de la station ainsi que celle apposée à la première (voir profils 2 et 7) possédant une texture équilibrée sableuse en général. Les profils (1, 4, 5 et 6) sont de texture argilo-limoneuse, quant au profil n°3, il est de texture argileuse (fig.5). Cette texture argileuse confère au sol des propriétés physico-chimiques bien déterminées (Douaoui A., 1993) dont les plus importantes sont la capacité de rétention en eau, la capacité d'échange cationique, la faible perméabilité ainsi que l'hydromorphie qui est liée à cette dernière vu la présence d'une nappe d'eau à faible profondeur.

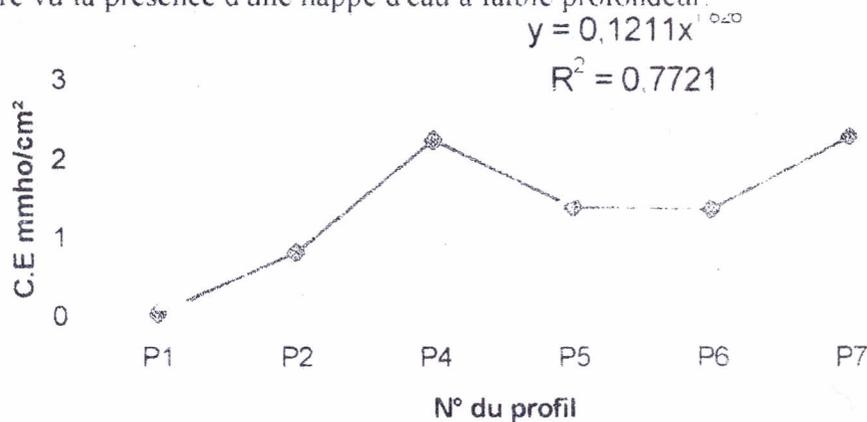


Figure 4 : Sens d'évolution de la salinité

Ainsi, la texture argileuse prédominant dans ces sols a doté ces derniers d'une capacité d'échange cationique ainsi que d'une capacité de rétention en eau élevée. Par ailleurs, cette texture lourde induit une perméabilité plutôt faible (Saïdi Dj., 1993) et par conséquent le risque d'hydromorphie est grand. Cette hydromorphie a été observée et décrite dans tous les profils à des profondeurs variables suivant le niveau du toit de la nappe qui varie légèrement d'un point à l'autre de la station. Il faut souligner cependant que, vu le taux d'argile élevée celui de la matière organique est relativement bas. Par contre le niveau de salinité élevé pourrait être aggravé par la forte teneur en argile dans ces sols (fig 6)

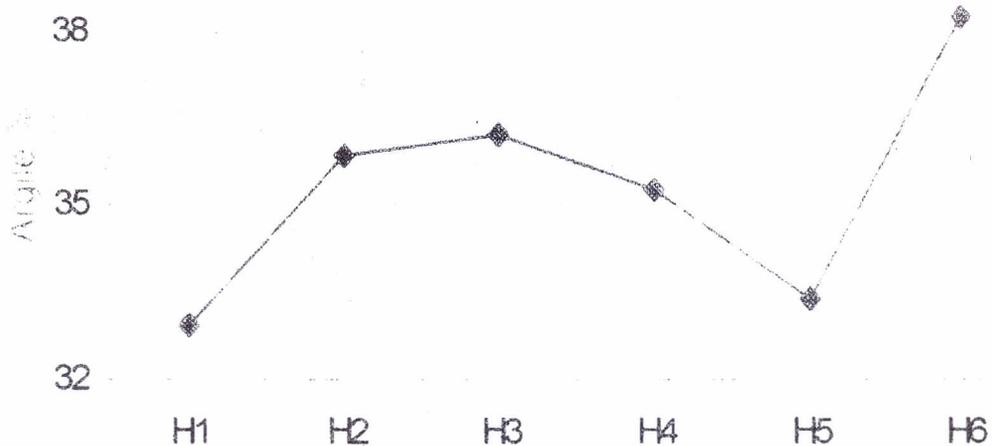


Figure 5 Evolution du taux d'argile avec la profondeur

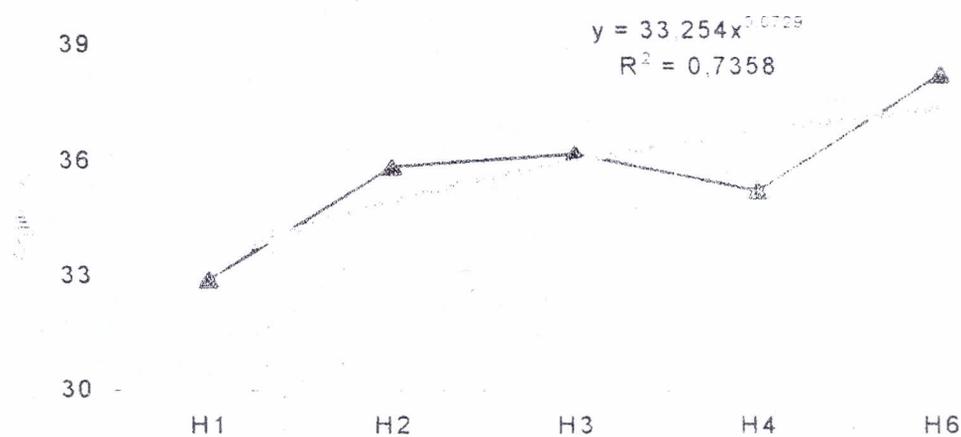


Figure 6 : Sens d'évolution du taux d'argile avec la profondeur

A travers l'étude pédologique de la station, il se dégage quelques points importants à souligner. A première vue, les sols nous apparaissent très bons pour l'agriculture avec, notamment une profondeur très satisfaisante, l'absence totale de charge caillouteuse, une texture équilibrée à lourde donc une bonne capacité d'échange cationique (C.E.C), et forcément une bonne capacité de rétention en eau. Ensuite, l'étude détaillée, descriptive et analytique nous révèle d'autres caractères négatifs qui constituent de sérieux obstacles à la mise en culture et à l'aménagement de ces sols en général. Ces contraintes ont trait à l'hydromorphie due à la nappe peu profonde et favorisée par la texture lourde, la salinité des sols accentuée par la fluctuation de la nappe d'eau salée et l'insuffisance des eaux de pluie et

d'irrigation pour lessiver les sels en profondeur. Les sols de la station de Hamadena sont caractérisés par une profondeur très satisfaisante dépassant les deux mètres en général, cette profondeur n'est en fait limitée que par le toit de la nappe. Les sols de la station présente par contre une grave contrainte qui est la salinité. Cette dernière évaluée à partir de la conductivité électrique est très élevée sur la plus grande partie de la station. Elle atteint un seuil maximal avoisinant les 5 mmhos/cm² à 25°C, au nord de la station (profil 3). Cette conductivité électrique est basse à la partie sud de la station (profil 1). Notons que ce problème de salinité est intimement lié à celui de l'hydromorphie et à la fluctuation de la nappe d'une saison sèche à une saison humide. Les teneurs de ces sols en calcaire sont moyennes dans l'ensemble, sauf pour les extrémités nord-ouest et sud-est (profils 2 et 7) qui présentent un taux élevé en calcaire total. Le pH de ces sols est élevé, il oscille entre 7,80 et 8,00 en moyenne. Ce pH élevé ne peut être toléré par certaines cultures, et l'on doit viser à le diminuer progressivement afin d'éviter un effet dépressif sur les cultures. Il faut également effectuer un choix judicieux quant aux cultures à mettre en place, et leur tolérance aux pH élevés. Ces sols possèdent par contre une capacité d'échange cationique (CEC) élevée à très élevée dans l'ensemble (fig.1). Les sols de la station de Hamadena sont caractérisés par une texture lourde à dominance argilo-limoneuse. Ceci constitue d'une part un avantage car le sol est ainsi doté d'une bonne capacité d'échange cationique et d'une bonne capacité de rétention en eau. D'autre part cette texture lourde représente un gros inconvénient, la perméabilité est faible et l'hydromorphie est généralisée. L'installation d'un réseau de drainage efficace pour évacuer l'excès d'eau hors des parcelles s'avère alors indispensable.

CONCLUSION

De prime abord, les sols de la station expérimentale de Hamadena apparaissent comme étant de bons sols agricoles. Ils sont caractérisés par une pente très faible, l'absence de charge caillouteuse, une profondeur très satisfaisante et une texture équilibrée à lourde. Après l'étude pédologique détaillée, la description morphologique et les analyses physiques et chimiques, il s'avère que ces sols présentent de sérieuses contraintes à la mise en cultures avec notamment le problème des sels et d'hydromorphie. L'étude climatique nous montre que la station expérimentale de Hamadena est située dans une aire géographique tel que le climat est très rigoureux avec un été très chaud et sec et hiver relativement humide et très froid. Le sol présente un déficit hydrique très prolongé du à la sécheresse et à l'élévation de l'évapotranspiration. La texture est lourde et provoque un problème d'hydromorphie surtout que le toit de la nappe est très proche de la surface. Cette eau est salée par conséquent, les sols ont une conductivité électrique élevée dans l'ensemble, elle atteint une valeur critique de 5mmho/cm² à 25°C dans la partie basse de la station. Les propriétés chimiques de ces sols se résument en une capacité d'échange cationique élevée, un taux de matière organique faible compte tenu de la texture argileuse, ainsi qu'un pH élevé voisin de 8. Quant aux teneurs en potassium assimilable et en azote total, elles sont moyennes dans l'ensemble. L'aménagement de ces sols se heurte à d'énormes obstacles qui sont principalement le problème d'hydromorphie lié à la présence de la nappe et à la texture argileuse d'une part, d'autre part le problème de salinité accentué par la sécheresse et au climat aride en général. Les actions à entreprendre en priorité seraient d'installer un réseau de drainage efficace pour évacuer l'excès d'eau, ce réseau existe déjà, il faut l'entretenir régulièrement. D'autre part, l'eau d'irrigation doit être disponible et de bonne qualité pour l'irrigation, afin de lessiver les sels en profondeur.

BIBLIOGRAPHIE

- BENAMAR A. (1991) - Contribution à l'étude des conditions d'utilisation du phosphogypse dans la mise en valeur des sols du Bas-Cheliff. Th. Magister. INA El-Harrach 1991
- BERROKIA A. (1985) - Etude agropédologique des sols de la Mina (Relizane). Mém. Ing Agr. Sc. Sol- INA El-Harrach 1985.
- DAOUD Y. (1981) - Contribution à l'étude de la dynamique des sols et des sels dans un sol irrigué du périmètre du Haut Cheliff. Mém Magister INA. 1981
- DAOUD Y. (1993) - Contribution à l'étude des sols des plaines du Cheliff : Le phénomène de salinisation : conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Th Doctorat d'Etat en Sciences Agronomiques
- DOUAOUI A. (1993) - Contribution à l'étude des sols des plaines du Cheliff : variabilité spatiale de quelques propriétés physico-chimiques des sols du moyen Cheliff. Incidences cartographiques. Th. Magister - Sc. Sol - INA El Harrach 1993
- DURAND J.H. (1956) - Les sols de la station d'étude des sols salins des Hamadena. Quelques aspects de la station d'étude des sols salins des Hamadena et de ses activités. Revue « Terres et eaux » N°28. 2ème et 3ème trimestre 1956 pp 02-17
- DURAND J.H. ET GUYOT J. (1955) - L'irrigation des cultures dans l'Oued Ghir. Extrait des travaux de l'Institut de Recherches Sahariennes. Tome XIII, 1955.
- JOURDAN E. (1976) - Protocoles d'analyse chimiques. CRP Mahdi Boualem INRA d'Algérie
- OYAMA M. ET TAKEHARA H. (1967) - Munsell soil color charts : Document technique. Japon.
- SAIDI D. (1993) : Etude expérimentale de la stabilité structurale des sols de la plaine du Cheliff. Th. Mag. INA El Harrach.
- SELTZER, 1946 : Le climat de l'Algérie

CONTRIBUTION A LA CARACTERISATION DU SOL D'UNE PALMERAIE D'IN SALAH

TOUMI M. BOUBEKER N. MAHDI Y
E. N. S. Kouba. Département de Biologie

Résumé

La région d'In Salah fait partie de la zone hyper-aride caractérisée par une remontée de sels très accrue dans les palmeraies due essentiellement à l'utilisation d'une eau d'irrigation très salée dans la culture intercalée du palmier dattier.

La solution du sol est très chargée en chlorures denotant une sodisation progressive induisant une fertilité physique et chimique très faible entraînant l'abandon de l'activité agricole au centre des palmeraies et l'agrandissement des superficies se fait en périphérique.

La connaissance physico-chimique des sols des palmeraies, nous permettra d'aborder différentes propositions pour l'amélioration de la fertilité dans cette région.

Mots clés : *salinité, irrigation, palmeraie, In Salah*

INTRODUCTION

Les régions arides d'Algérie représentent près de 95 % du territoire National dont 80 % dans le domaine hyper-aride. Ces chiffres traduisent à eux seuls l'intérêt de ces régions sur le plan socio-économique (HALITIM, 1988).

Le déséquilibre auquel est sujette la zone aride, comme d'ailleurs dans tout le Maghreb est due en particulier d'une part depuis le début du 20^e siècle à l'augmentation de la population et de son niveau de vie avec trois conséquences principales : déforestation, surpâturage, cultures en sec (DUCHAUFFOUR, 1995)

L'amélioration des qualités physico-chimiques des sols de la région d'In Salah permettra la récupération des sols non cultivés selon une méthodologie appropriée et permettra d'augmenter à long terme les surfaces agricoles et de limiter considérablement leur salinisation.

Nous nous intéressons particulièrement à l'étude de la valorisation du phospho-gypse dans l'amélioration des sols salés agricoles de la région d'In Salah

L'ancien réseau de drainage allant d'El Barka vers Sebkhât El Zebbara (région présentant un taux de sels très élevé rendant les sols infertiles) datant de l'époque coloniale est mal entretenue entraînant une accumulation de sels à la surface des sols travaillés (palmeraies) d'une part. D'autre part, on constate que les eaux utilisées pour l'irrigation sont salées aggravant davantage cette situation.

MATERIELS ET METHODES

- 1- Analyse du pH et de la CE du sol
- 2- Dosage des chlorures par volumétrie (nitrate d'argent avec l'utilisation du chromate de potassium).
- 3- Dosage des sulfates par gravimétrie avec utilisation de BaCl₂
- 4- Choix de la région (relevés cartographiques et reconnaissance sur terrain et détermination des aires échantillons).

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Résultats

Les résultats sont comparés aux normes. Classification des sols d'après leur teneur en sels toxiques (en % de la masse du sol) (d'après N.Bazilevitch et E. Pankova in KAOURITCHEV, 1983) et Normes AFNOR X31-103 juin 1981, Normes AFNOR X 31-113 septembre 1986. Tableau 1.

Tableau 1 : Classification des sols d'après leur teneur en sels toxiques (en % de la masse du sol) (d'après N.Bazilevitch et E. Pankova)

Degré de salinité des sols	Genre de salinité				
	Chlorurée Cl:SO 4-2-5	Sulfatée chlorurée Cl:SO 4 = 2.5-1	Sudo-Chlorurique et chlorurée o-sodique Cl:SO ₄ >1	Sodo-sulfatique et sulfato-sodique Cl:SO ₄ <1	Chlorurée o-sulfatique Cl:SO ₄ <1-0.3
Non salins	<0.03	>0.05	< 0.1	<0.15	<0.10
Faiblement salins	0.03-	0.05-	0.10-	0.15-	0.10-
Moyennement salins	0.10	0.12	0.15	0.25	0.25
Fortement salins	0.10-	0.12-	0.15-	0.25-	0.25-
Très fortement salins	0.30	0.35	0.30	0.35	0.50
	0.30-	0.35-	0.30-	0.35-	0.50-
	0.60	0.70	0.50	0.60	0.70
	>0.6	>0.70	>0.5	>0.60	0>0.90

-Sol superficiel 0-20 cm

pH = 7.63 selon la norme AFNOR X31-103

C.E à 25°C $\rho = 3.967$ mS/cm selon la norme AFNOR X31-113

Chlorures : Cl^- % = 0.58 % selon la méthode volumétrique

Sulfates : SO_4^{--} = 10.7766 meq/100grs du sol selon la méthode gravimétri

- Sol de profondeur ≥ 40 cm

pH = 7.65 selon la norme AFNOR X31-103

C.E à 25°C $\rho = 0.688$ mS/cm selon la norme AFNOR X31-113

Chlorures : Cl^- % = 0.017 % selon la méthode volumétrique

Sulfates : SO_4^{--} = 6.3273 meq/100grs du sol selon la méthode gravimétrique

-Eau d'irrigation : Hassi El Hadjar (Bradai,1991).

Le pH mesuré pour les eaux prélevées est supérieur à 7 (7.2 à 7.5)

Pour l'échantillon de Hassi El Hadjar

Cl^- en mg/l = 555.00 mg/l ou 15.63 meq/l.

SO_4^{--} en mg/l = 564.00 mg/l ou 11.75 meq/l

C.E en micromho à 25°C = 3500 μmho

Discussions :

Les résultats présentés du sol superficiel de la palmeraie d'El Barka dénotent une forte salinité du type sulfato-chlorurée avec un rapport de :

$\text{Cl}^- : \text{SO}_4^{--} = 0,59 : 0.67 = 0.87$

Concernant le sous sol le rapport $\text{Cl}^- : \text{SO}_4^{--} = 0.017 : 0.39 = 0.04$ dénotant une salinité faible du type chlorurée.

Ces données nous permettent d'affirmer que la palmeraie d'El Barka ne pratique pas de lessivage et cela du fait de l'inexistence d'un réseau de drainage entraînant l'accumulation des sels solubles en surface avec un taux très élevé (forte évapotranspiration des eaux d'irrigation qui sont riches également en sels solubles).

CONCLUSION

Le sol de la palmeraie d'El Barka de la région d'In Salah est du type sulfato-chlorurée en surface et chlorurée en sous-sol.

Cette situation a engendrée une forte accumulation des sels en surface et cela nous permet d'orienter nos investigations pour proposer un plan de redressement des sols reposant essentiellement sur l'installation d'un réseau de drainage localisée débouchant sur un collecteur principal entourant les parcelles d'une part et de proposer un amendement avec du phosphogypse permettant de lessiver l'excès des sels rencontrés dans ces parcelles d'autre part.

L'installation d'un réseau d'irrigation au goutte à goutte avec une micro-station de désalinisation des eaux d'irrigation s'avère très utile par la suite de cette mise en valeur.

BIBLIOGRAPHIE

- AFNOR (1987) - Qualité des sols – méthodes d'analyses, édité par l'AFNOR. 133 p.
- BRADAI A. (1991) - Projet sur l'alimentation en eau de la future briqueterie silico-calcaire d'In Salah. Organisme : UREG de Boumerdes. Rapport 47p.
- DUCHAUFFOUR Ph. (1965) - Précis de pédologie, MASSON & Cie , EDITEURS, 481p.
- DUCHAUFFOUR Ph. (1995) - Sol, végétation, environnement, 4é Edition MASSON 324 p.
- HALITIM A. (1988) - Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U, 384 p.
- KAOURITCHEV I. Et Coll. (1983) - Manuel pratique de pédologie, édition Mir traduction française, 273.
- MAMOUNI S. (1989) - Projet céramique carreaux In Salah. Gisement Igoustène. Rapport géologique final- Etude détaillée, Organisme : UREG de Boumerdes. Rapport 61p.

PROFILS HYDRIQUES DANS LES SOLS SALINS

BERROKIA A.

Institut National de la Recherche Agronomique (Hmadena- Relizane)

Résumé

La majeure partie des sols du Bas Chélif souffrent du problème de salinité. Ils sont généralement caractérisés par une structure défavorable liée essentiellement à la présence de l'ion sodium et plus particulièrement lorsque son taux de saturation augmente en réduisant fortement la perméabilité.

Pour mettre en évidence le lien existant entre la salinité et l'infiltrabilité, des profils hydriques sous différents niveaux de salinité ont été effectués au niveau de la station expérimentale de Hmadena (INRAA).

Les résultats auxquels on a abouti ont montré les courbes d'humidité commencent à se différencier à partir de la deuxième journée particulièrement dans les vingt premiers centimètres. Cette discrimination semble être liée à la salinité et à la perméabilité.

Mots clés : *Humidité, profil hydrique, salinité, perméabilité*

INTRODUCTION

La majeure partie des sols du bas CHELIFF sont considérés comme étant des sols salés ces sols sont caractérisés généralement par structure défavorable due essentiellement à la présence de l'ion Na et plus particulièrement lorsque son taux de saturation augmente ; d'autres facteurs aussi comme la texture, le climat et les techniques culturales conditionnent de près le devenir de ces sols

Leur mise en valeur nécessite au préalable une bonne connaissance du fonctionnement physique et surtout hydrique de ces sols qui perçoivent moins de 350 mm de pluie irrégulières par an et perdent près de 1300 mm d'eau par évapotranspiration

L'hétérogénéité qui les caractérise rend difficile la connaissance de la circulation de l'eau et rend difficile la description quantitative (HILLEL, 1984 ; AIDAOU, 1985).

Le but de ce travail est d'approcher cette connaissance par deux paramètres la circulation de l'eau et la salinité.

Le profil hydrique est le paramètre essentiel dans cette étude, il est défini comme étant la fonction de répartition de la teneur en eau suivant une verticale en fonction de la profondeur (HENINS, 1977); et permet aussi de calculer la variation de l'humidité volumique entre deux temps et dans le même endroit à une profondeur voulue. (BELATRACHE, 1986)

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

L'étude a été réalisée à la station I.N.R.A.A. d'El hmadna sur la partie ouest du périmètre du bas chélif.

Les profils hydriques et les perméabilités ont été mesurés sur les dix sites de salinité différente de la carte de salinité établie par étude géostatistique.

Les sols du bas chélif sont dans la majeure partie des solonchacs divers à texture limoneuse argileuse en surface argileuse en profondeur.

Méthodes de mesures

Pour les profils hydriques nous avons utilisé la méthode gravimétrique dont le principe consiste à prélever des échantillons de sol à l'aide d'une tarière; les profondeurs choisies sont 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm, 20-50cm et 50-70cm. Les humidités sont calculées après double pesée et passage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures après ressuyage.

La perméabilité a été déterminée par la méthode Porchet (Méthode du trou à la tarière).

$$K(\text{cm/s}) = 1.15 \times (r / \Delta t) \times \log [(h_1 + r/2) / (h_2 + r/2)]$$

Où :

Δt : Temps écoulé entre début et fin de la mesure ($t_2 - t_1$) en seconde

h_1 : Niveau de l'eau dans le trou correspondant au temps t_1 (cm)

h_2 : Niveau de l'eau dans le trou correspondant au temps t_2 (cm)

r : Rayon du trou en cm

Les périodes de mesure

Les mesures de l'humidité ont débutées dès le premier cumul pluviométrique de 29.3mm du mois de Mars 1999 qui est considéré comme étant la fin de la période humide.

Sur les trois sites choisis par rapport à leurs niveaux de salinité, l'humidité a été suivie quotidiennement pour les trois premiers relevés. Pour les deux derniers relevés, l'intervalle est respectivement de six et sept journées.

RESULTATS ET DISCUSSION

La parcelle H8 (1) montre une évolution temporelle nettement décroissante de la surface jusqu'aux 20 premiers centimètres, après quoi, l'écart global entre les teneurs et l'humidité devient de plus en plus faible. Il y a une diminution continue et régulière entre les différentes périodes, excepté entre la période du 9/03/99 et celle du 10/03/99 sur les 20 premiers centimètres de profondeur. A partir de cette profondeur, l'écart entre les teneurs des humidités devient de moins en moins apparent pour se limiter entre 10 % et 20 %, alors qu'à la surface il variait entre 11% et 28%.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

L'étude a été réalisée à la station I.N.R. AA. d El hmadna sur la partie ouest du périmètre du bas chélif.

Les profils hydriques et les perméabilités ont été mesurés sur les dix sites de salinité différente de la carte de salinité établie par étude géostatistique

Les sols du bas chélif sont dans la majeure partie des solonchacks divers à texture limono argileuse en surface argileuse en profondeur

Méthodes de mesures

Pour les profils hydriques nous avons utilisé la méthode gravimétrique dont le principe consiste à prélever des échantillons de sol à l'aide d'une tarière; les profondeurs choisies sont 0-5cm, 5-10cm, 10-20cm, 20-50cm et 50-70cm. Les humidités sont calculées après double pesée et passage à étuve à 105°C pendant 24 heures après ressuyage.

La perméabilité a été déterminée par la méthode Porchet (Méthode du trou à la tarière).

$$K(\text{cm/s}) = 1.15 \times (r / \Delta t) \times \log [(h_1 + r/2) / (h_2 + r/2)]$$

Où :

Δt : Temps écoulé entre début et fin de la mesure ($t_2 - t_1$) en seconde

h_1 : Niveau de l'eau dans le trou correspondant au temps t_1 (cm)

h_2 : Niveau de l'eau dans le trou correspondant au temps t_2 (cm)

r : Rayon du trou en cm

Les périodes de mesure

Les mesures de l'humidité ont débutées dès le premier cumul pluviométrique de 29.3mm du mois de Mars 1999 qui est considéré comme étant la fin de la période humide.

Sur les trois sites choisis par rapport à leurs niveaux de salinité, l'humidité a été suivie quotidiennement pour les trois premiers relevés. Pour les deux derniers relevés, l'intervalle est respectivement de six et sept journées.

RESULTATS ET DISCUSSION

La parcelle H8 (1) montre une évolution temporelle nettement décroissante de la surface jusqu'aux 20 premiers centimètres, après quoi, l'écart global entre les teneurs et l'humidité devient de plus en plus faible. Il y a une diminution continue et régulière entre les différentes périodes, excepté entre la période du 9/03/99 et celle du 10/03/99 sur les 20 premiers centimètres de profondeur. A partir de cette profondeur, l'écart entre les teneurs des humidités devient de moins en moins apparent pour se limiter entre 10 % et 20 %, alors qu'à la surface il variait entre 11% et 28%.

Il est aussi à remarquer que pour les trois premières périodes l'humidité montre une croissance jusqu'à 10 cm de profondeur, alors que pour les deux dernières cette augmentation n'est interrompue qu'à partir de 20 cm (fig. 1).

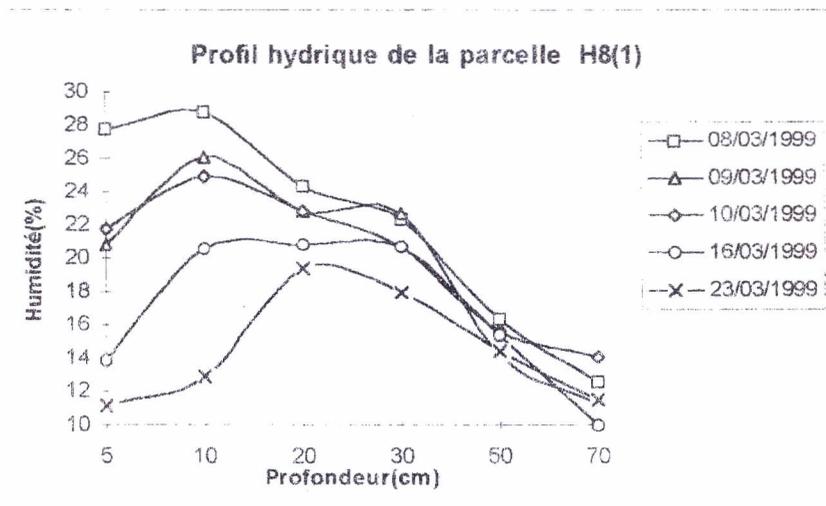


Figure 1 : Suivi des profils hydriques de la parcelle H8(1)

Pour la parcelle G7 (1), d'une salinité intermédiaire, l'écart temporel de l'humidité est aussi important (16% et 26%) avec la même remarque faite pour la parcelle H8 (1) de salinité moindre pour les périodes du 9/03 et 10/03/99 où l'écart n'intéresse pratiquement que la surface. La diminution de l'humidité commence à partir de 10 cm de profondeur pour les cinq premières périodes, alors qu'elle reste croissante jusqu'à 50 cm de profondeur pour la dernière période (fig. 2). Contrairement à la parcelle H8 (1), l'écart de l'humidité entre les périodes en surfaces et en profondeur reste pratiquement le même avec un emmagasinement d'eau nettement plus important.

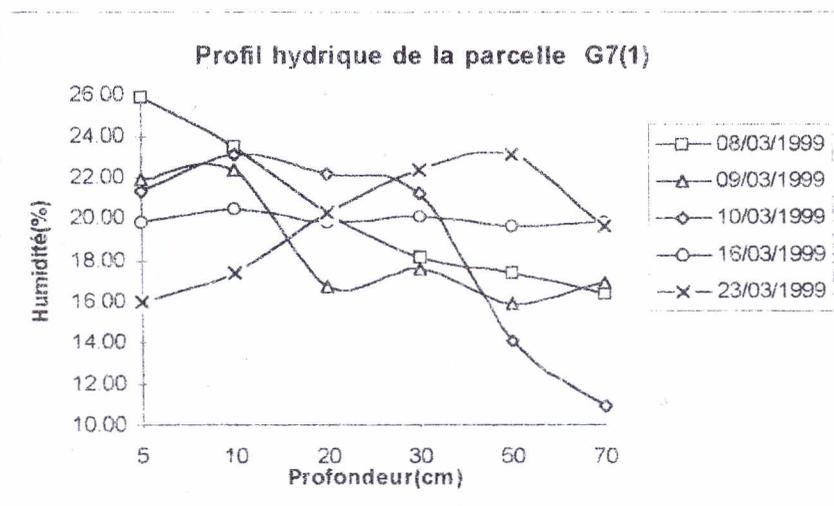


Figure 2 : Suivi des profils hydriques de la parcelle G7(1)

La parcelle F6(1) la plus salée, quant à elle, montre un écart temporel de l'humidité encore plus faible (22% à 31%) (fig. 3). En surface, il n'y a pratiquement pas de différence entre les trois premières périodes avec la même remarque pour les deux dernières. En

profondeur, l'écart temporel des humidité est très faible. Le niveau de 10 cm marque la limite à partir de laquelle il y a rupture de l'augmentation de l'humidité et ce pour l'ensemble des courbes d'humidité.

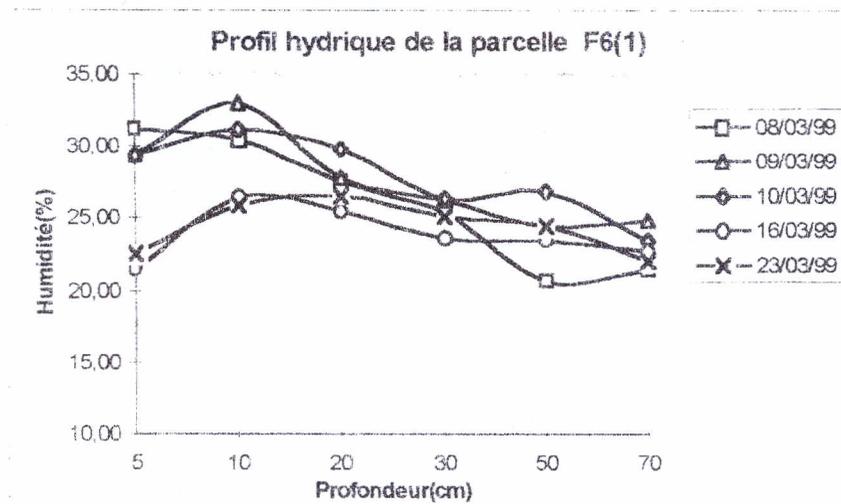


Figure 3 : Suivi des profils hydriques de la parcelle F6(1)

Suite aux différents résultats obtenus pour les trois parcelles, il apparaît clairement que l'infiltration de l'eau en profondeur est différente d'une à l'autre.

Pour la première parcelle H8(1), il semble que l'infiltration est très faible en profondeur et ne peut guère dépasser les vingt premiers centimètres. Ceci peut être expliqué par le fait que la diminution importante de l'humidité temporelle en surface ne se retrouve pas en profondeur et ne peut être due qu'à une évaporation.

Dans la deuxième parcelle, cette diminution de l'humidité temporelle à travers le profil se trouve compensée en profondeur où on retrouve le même écart avec une nette augmentation de l'humidité au cours de la dernière courbe d'humidité. La courbe du 16/03/99 marque une humidité homogène sur tout le profil.

Au niveau de la troisième parcelle, il semble que l'infiltration est aussi faible comme pour la première parcelle. A la différence que cette dernière a une capacité de rétention plus élevée. En effet, au cours des trois premières périodes la teneur en humidité est restée pratiquement la même; il a fallu attendre la quatrième période (06 jours après) pour obtenir une diminution de l'humidité en surface qui s'est d'ailleurs stabilisée avec même une légère augmentation après sept autres jours (dernière courbe d'humidité). Cette légère augmentation peut être expliquée par la remontée capillaire où on peut voir effectivement une humidité légèrement plus faible de la journée du 16/03/99 par rapport à la journée du 23/03/99 au voisinage de 10 cm de profondeur.

Dans l'objectif de mieux comprendre l'évolution de l'humidité, une représentation graphique des teneurs de l'humidité des trois parcelles pour chaque période a été faite. Il

Il est aussi à remarquer que pour les trois premières périodes l'humidité montre une croissance jusqu'à 10 cm de profondeur, alors que pour les deux dernières cette augmentation n'est interrompue qu'à partir de 20 cm (fig. 1).

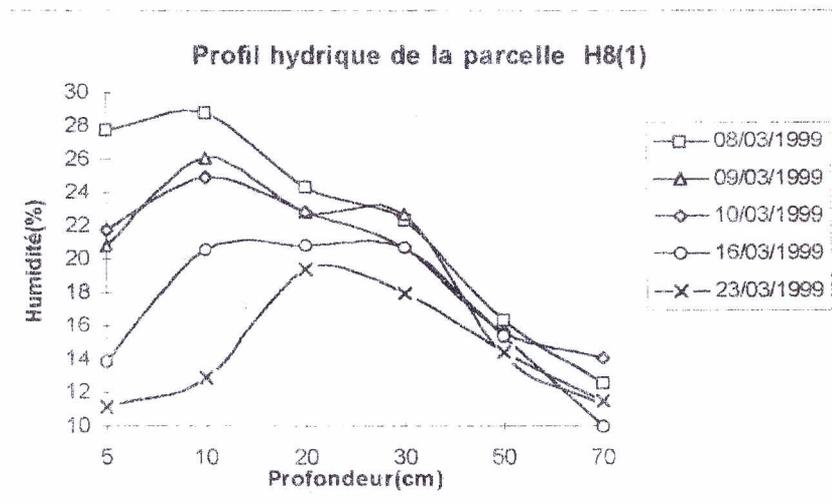


Figure 1 : Suivi des profils hydriques de la parcelle H8(1)

Pour la parcelle G7 (1), d'une salinité intermédiaire, l'écart temporel de l'humidité est aussi important (16% et 26%) avec la même remarque faite pour la parcelle H8 (1) de salinité moindre pour les périodes du 9/03 et 10/03/99 où l'écart n'intéresse pratiquement que la surface. La diminution de l'humidité commence à partir de 10 cm de profondeur pour les cinq premières périodes, alors qu'elle reste croissante jusqu'à 50 cm de profondeur pour la dernière période (fig. 2). Contrairement à la parcelle H8 (1), l'écart de l'humidité entre les périodes en surfaces et en profondeur reste pratiquement le même avec un emmagasinement d'eau nettement plus important.

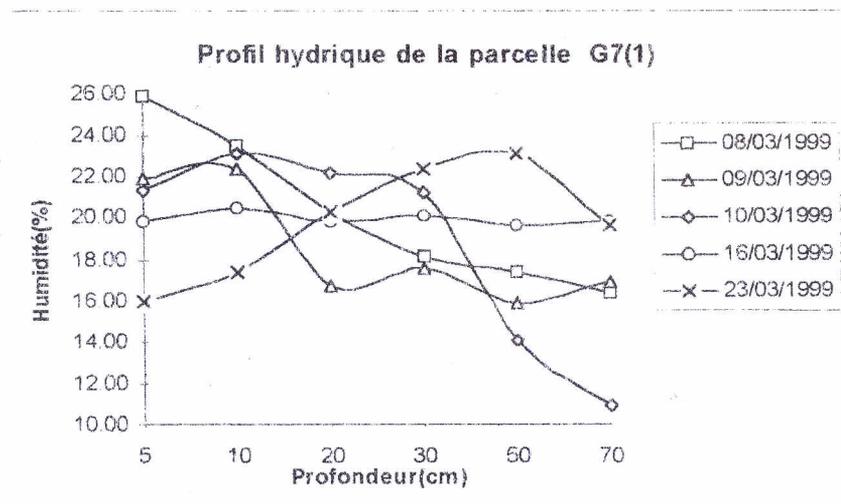


Figure 2 : Suivi des profils hydriques de la parcelle G7(1)

La parcelle F6(1) la plus salée, quant à elle, montre un écart temporel de l'humidité encore plus faible (22% à 31%) (fig. 3). En surface, il n'y a pratiquement pas de différence entre les trois premières périodes avec la même remarque pour les deux dernières. En

profondeur, l'écart temporel des humidité est très faible. Le niveau de 10 cm marque la limite à partir de laquelle il y a rupture de l'augmentation de l'humidité et ce pour l'ensemble des courbes d'humidité.

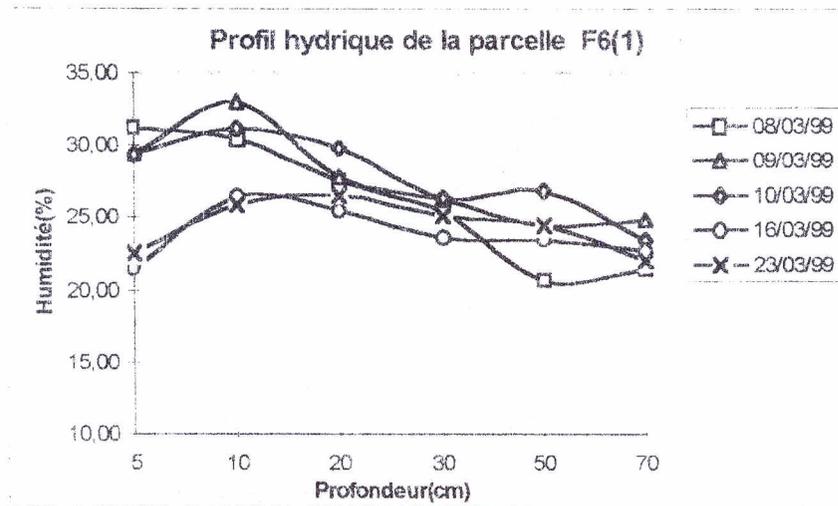


Figure 3 : Suivi des profils hydriques de la parcelle F6(1)

Suite aux différents résultats obtenus pour les trois parcelles, il apparaît clairement que l'infiltration de l'eau en profondeur est différente d'une à l'autre.

Pour la première parcelle H8(1), il semble que l'infiltration est très faible en profondeur et ne peut guère dépasser les vingt premiers centimètres. Ceci peut être expliqué par le fait que la diminution importante de l'humidité temporelle en surface ne se retrouve pas en profondeur et ne peut être due qu'à une évaporation.

Dans la deuxième parcelle, cette diminution de l'humidité temporelle à travers le profil se trouve compensée en profondeur où on retrouve le même écart avec une nette augmentation de l'humidité au cours de la dernière courbe d'humidité. La courbe du 16/03/99 marque une humidité homogène sur tout le profil.

Au niveau de la troisième parcelle, il semble que l'infiltration est aussi faible comme pour la première parcelle. A la différence que cette dernière a une capacité de rétention plus élevée. En effet, au cours des trois premières périodes la teneur en humidité est restée pratiquement la même; il a fallu attendre la quatrième période (06 jours après) pour obtenir une diminution de l'humidité en surface qui s'est d'ailleurs stabilisée avec même une légère augmentation après sept autres jours (dernière courbe d'humidité). Cette légère augmentation peut être expliquée par la remontée capillaire où on peut voir effectivement une humidité légèrement plus faible de la journée du 16/03/99 par rapport à la journée du 23/03/99 au voisinage de 10 cm de profondeur.

Dans l'objectif de mieux comprendre l'évolution de l'humidité, une représentation graphique des teneurs de l'humidité des trois parcelles pour chaque période a été faite. Il

Il est aussi à remarquer que pour les trois premières périodes l'humidité montre une croissance jusqu'à 10 cm de profondeur, alors que pour les deux dernières cette augmentation n'est interrompue qu'à partir de 20 cm (fig. 1).

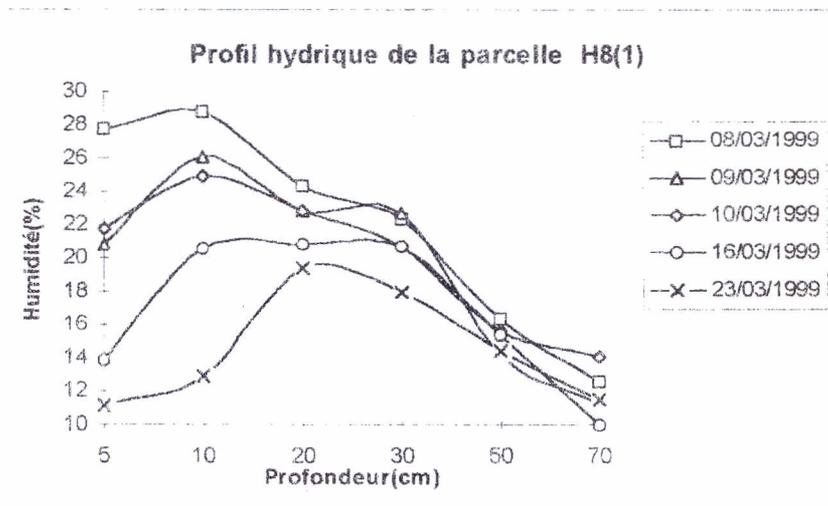


Figure 1 : Suivi des profils hydriques de la parcelle H8(1)

Pour la parcelle G7 (1), d'une salinité intermédiaire, l'écart temporel de l'humidité est aussi important (16% et 26%) avec la même remarque faite pour la parcelle H8 (1) de salinité moindre pour les périodes du 9/03 et 10/03/99 où l'écart n'intéresse pratiquement que la surface. La diminution de l'humidité commence à partir de 10 cm de profondeur pour les cinq premières périodes, alors qu'elle reste croissante jusqu'à 50 cm de profondeur pour la dernière période (fig. 2). Contrairement à la parcelle H8 (1), l'écart de l'humidité entre les périodes en surfaces et en profondeur reste pratiquement le même avec un emmagasinement d'eau nettement plus important.

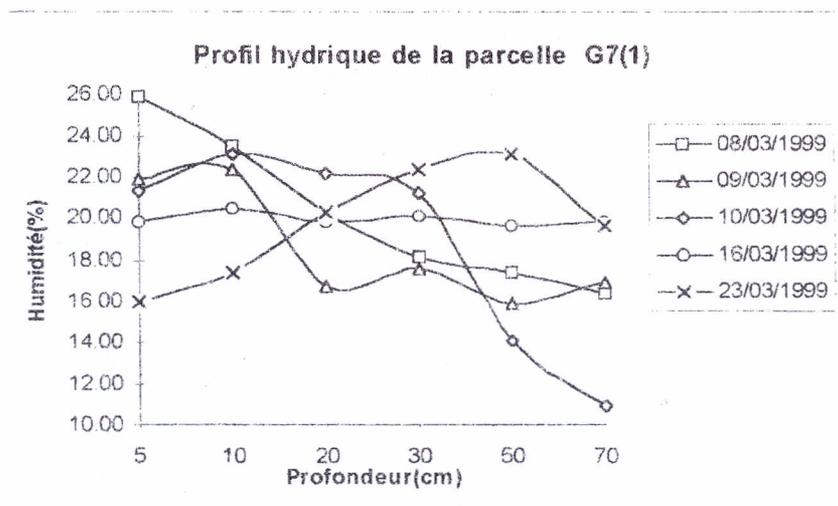


Figure 2 : Suivi des profils hydriques de la parcelle G7(1)

La parcelle F6(1) la plus salée, quant à elle, montre un écart temporel de l'humidité encore plus faible (22% à 31%) (fig. 3). En surface, il n'y a pratiquement pas de différence entre les trois premières périodes avec la même remarque pour les deux dernières. En

profondeur, l'écart temporel des humidité est très faible. Le niveau de 10 cm marque la limite à partir de laquelle il y a rupture de l'augmentation de l'humidité et ce pour l'ensemble des courbes d'humidité.

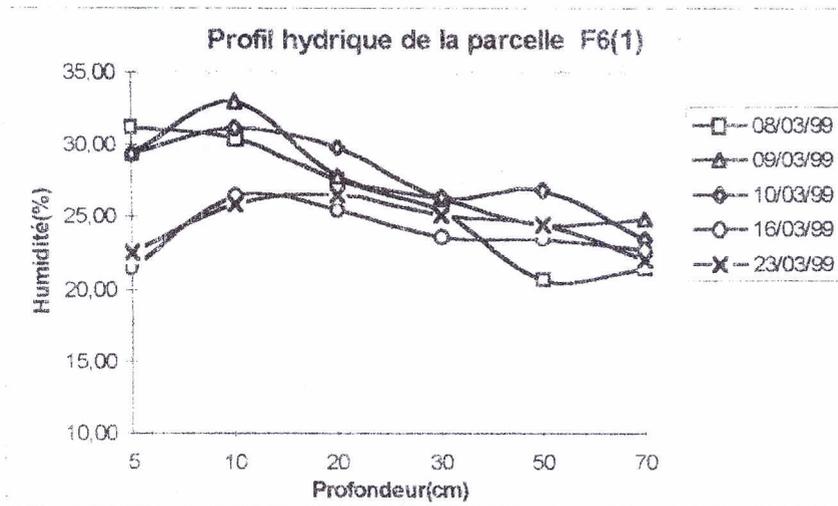


Figure 3 : Suivi des profils hydriques de la parcelle F6(1)

Suite aux différents résultats obtenus pour les trois parcelles, il apparaît clairement que l'infiltration de l'eau en profondeur est différente d'une à l'autre.

Pour la première parcelle H8(1), il semble que l'infiltration est très faible en profondeur et ne peut guère dépasser les vingt premiers centimètres. Ceci peut être expliqué par le fait que la diminution importante de l'humidité temporelle en surface ne se retrouve pas en profondeur et ne peut être due qu'à une évaporation.

Dans la deuxième parcelle, cette diminution de l'humidité temporelle à travers le profil se trouve compensée en profondeur où on retrouve le même écart avec une nette augmentation de l'humidité au cours de la dernière courbe d'humidité. La courbe du 16/03/99 marque une humidité homogène sur tout le profil.

Au niveau de la troisième parcelle, il semble que l'infiltration est aussi faible comme pour la première parcelle. A la différence que cette dernière a une capacité de rétention plus élevée. En effet, au cours des trois premières périodes la teneur en humidité est restée pratiquement la même; il a fallu attendre la quatrième période (06 jours après) pour obtenir une diminution de l'humidité en surface qui s'est d'ailleurs stabilisée avec même une légère augmentation après sept autres jours (dernière courbe d'humidité). Cette légère augmentation peut être expliquée par la remontée capillaire où on peut voir effectivement une humidité légèrement plus faible de la journée du 16/03/99 par rapport à la journée du 23/03/99 au voisinage de 10 cm de profondeur.

Dans l'objectif de mieux comprendre l'évolution de l'humidité, une représentation graphique des teneurs de l'humidité des trois parcelles pour chaque période a été faite. Il

apparaît que la parcelle F6 (1) a une teneur en humidité toujours plus élevée en fonction de la profondeur et en fonction du temps.

Pour les deux parcelles H8(1) et G7(1), La teneur en humidité est plus importante au cours des deux premières périodes de mesure jusqu'à une profondeur de 50 cm pour la parcelle H8(1). Au cours de la troisième période, l'humidité devient équivalente dans les deux parcelles pour devenir plus élevée au niveau de la parcelle G7(1).

Les remarques essentielles déduites de l'étude des profils hydriques sont :

- Les profils hydriques des sites salés présentent des allures de courbe très bien distinctes qui sont par niveau croissant de salinité H81 ,G71 et F61.
- L'ensembles des valeurs de l'humidité déterminées sont proportionnelles aux valeurs de la salinité.
- Les grandes variations de l'humidité dans tous les profils sont observées en général à la profondeur 0-20cm.
- On observe une zone de rupture plus ou moins stable aux environ de 20cm de profondeur, qui peut correspondre à la semelle de labour, dont les valeurs de la densité mesurée insitu à cette profondeur, montre le passage de la valeur de 1.09 de l'horizon superficiel à 1.63 de l'horizon sous-jacent.

Il apparaît alors que la salinité à une influence non négligeable sur les courbes d'humidité des différents profils. En effet, le site le plus salé présente une teneur en eau toujours supérieure aux autres sites et ceci pour toute la période de suivi. En plus, le site le moins salé qui avait une humidité plus importante que le site à salinité intermédiaire en début de période de retour avec l'humidité la plus faible en fin de suivi.

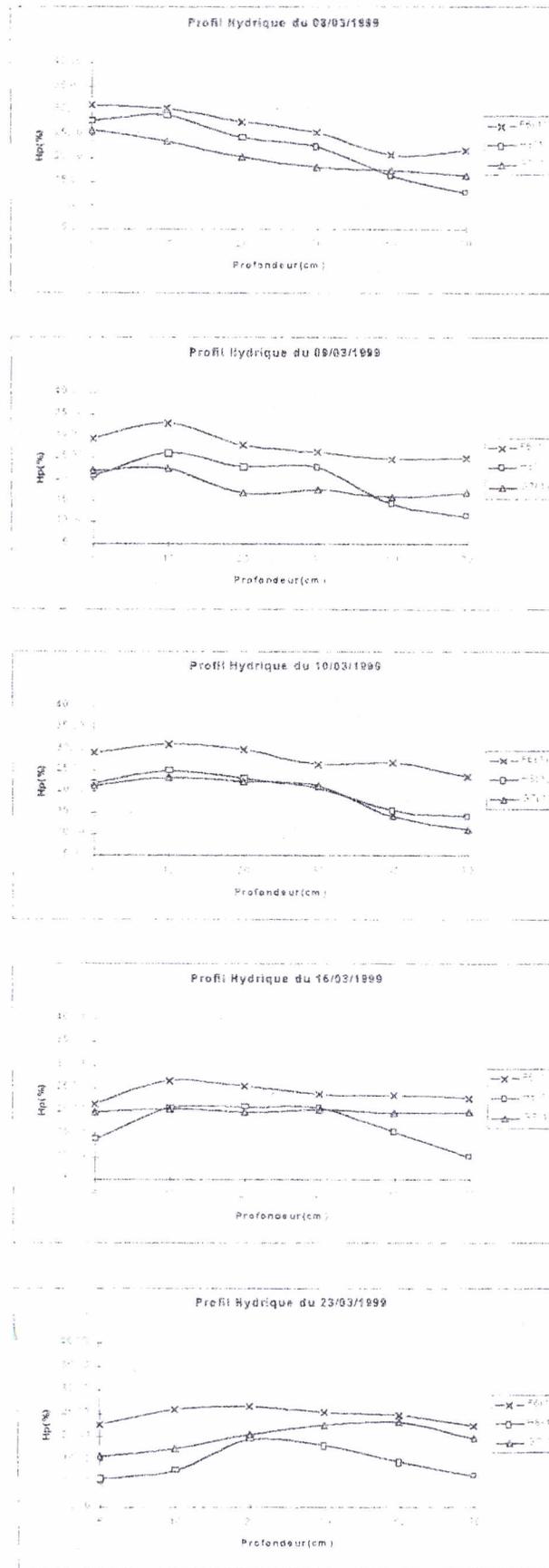


Figure 4 : Suivi des courbes d'humidité des sites par date

Pour mettre en évidence la relation existante entre la salinité et l'infiltration, une étude a été faite sur dix sites à différents niveaux de salinité.

Le tableau 1 représente les valeurs de la perméabilité en fonction de la salinité dans les différents sites. La salinité est élevée dans l'ensemble des sites mais à des degrés différents, alors que la perméabilité varie entre des infiltrations assez rapides, moyennes et assez lentes.

Tableau 1 : Quelques valeurs de la perméabilité en fonction de la salinité

Parcelle	Ordre	salinité (dS/m)	Perméabilité (cm/s)	Observation
H8(1)	1	2	1.89 E-3	Assez rapide
H8(2)	2	3.5	1.39 E-3	Moyenne
F4(1)	3	3.5	7.42 E-4	moyenne
F4(2)	4	4.5	6.84 E-4	moyenne
G7(2)	5	5.6	6.77 E-4	moyenne
G9	6	5.6	6.17 E-4	moyenne
F6(2)	7	4.5	5.71 E-4	assez lente
G7(1)	8	5.5	5.30 E-4	assez lente
F5	9	6.7	4.01 E-4	assez lente
F6(1)	10	8	1.89 E-4	assez lente

Comparer aux classes d'appartenance des profils, les perméabilités obéissent en général à l'ordre des classes de salinité correspondantes. L'étude de la corrélation entre les deux paramètres, donne une équation de régression :

$$K(\text{cm/s}) = -0.000251414 \times \text{Salinité (dS/m)} + 0.00201109 \quad r = 0.8$$

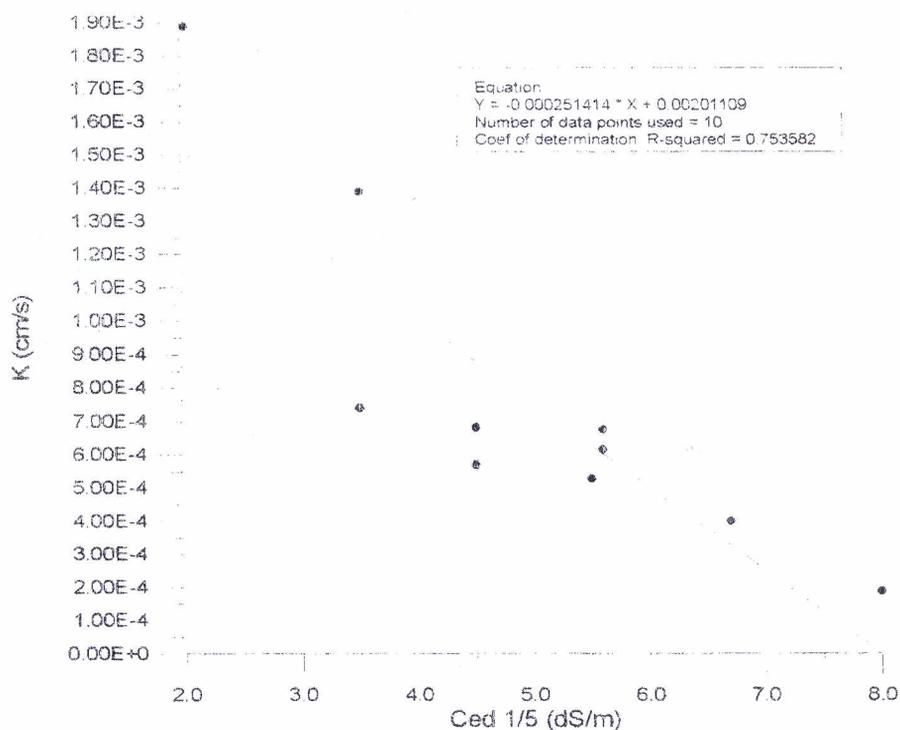


Figure 5 : régression linéaire entre la salinité 1/5 et la perméabilité de Porchet

CONCLUSION

L'étude des profils hydriques en zone salée a montré par le biais de l'interprétation des courbes d'humidité que la circulation de l'eau en ces zones à la fois salées et semi-arides est très complexe

Cette idée est confirmée par les résultats de HILLEL (1984) et AIDAOUI (1985) sur la complexité et la difficulté à pouvoir décrire quantitativement la circulation de l'eau sous ces conditions

Néanmoins quelques caractères apparaissent dans les interprétations des courbes d'humidité.

En général toutes les courbes étudiées présentent une rupture de l'infiltration où la variation graphique due à l'infiltration au environ de 20cm et ceci pour toutes les salinités ; ce fait peut s'expliquer soit par la différence de perméabilité entre les horizons de surface et de profondeur où à une semelle de labour ou à la présence de fente de retrait sous l'horizon remanié.

Il pourrait aussi être déduit que le mouvement d'infiltrabilité dans les profils moins et moyennement salés et continue dans tous les profils, tandis que dans les profils salés l'infiltration d'après les courbes d'humidité n'intervient que dans les 20 premiers centimètres pour laisser apparaître un ensemble de courbe d'humidité au delà de 20 centimètre très difficile à interpréter

Il est à retenir, toutefois, que la salinité a une influence apparente sur les profils hydriques

BIBLIOGRAPHIE

AIDAOUI A. 1985 - Variabilité spatiale de la conductivité hydraulique estimée insitu à partir des teneurs en humidité. Thèse Magister, INA El Harrach 159p.

BELATERACHE N. 1986 - Influence de la périodicité des irrigation sur la consommation en eau du poivron et impact sur la rendement et la précocité. Thèse ing. agro., INA El Harrach.

CALLOT C. et al. 1982 - Mieux comprendre les interactions sol-racines, Incidence sur la nutrition minérale. INRA

CHAMAYOU H. 1984 - Notion fondamentale de sciences de sol, DEA-DAA sciences de sol, Aménagement ENSA de Montpellier.

HENINS 1977 - Cours de physique de sol, l'eau et le sol - les propriétés mécaniques. Paris: Bruxelles: Orstom. Edi 1977.

HILLEL D. 1984 - L'eau et le sol: principe et processus physique. Ed. Vauber. Bruxelles.

THEME II

COMPORTEMENT DES PLANTES EN
MILIEU SALIN - STRESS HYDRIQUE ET IRRIGATION

EFFETS COMBINES DE LA SALINITE ET DE LA BENTONITE SUR LA DENSITE RACINAIRE D'UNE CULTURE DE TOMATE CULIVEE SUR UN SUBSTRAT SABLEUX

BENKHELIFA M.¹, ARBAOUI M.¹ et BELKHODJA M.²

Institut des Sciences Agronomiques, Université de Mostaganem

Institut de Biologie, Université Es Senia Oran

Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides

Résumé

En Algérie, la superficie des zones arides et semi-aride couvre près de 95% du territoire et l'eau utilisée par irrigation entraîne indéniablement un accroissement de la salinité des terres et une extension des zones affectées. Les terres sablonneuses sont la composante dominante dans ces régions où les pluies sont rares et irrégulières et les températures très élevées. A cause de leur faible capacité de rétention en eau et en éléments minéraux, leur infiltration élevée et leur grande susceptibilité à l'érosion, les sols sableux sont depuis longtemps l'objet de plusieurs études en vue de l'amélioration de leurs caractéristiques physiques, chimiques et hydriques par la bentonite.

Dans ce travail, nous avons étudié l'évolution de la salinité d'un mélange de sable et de bentonite irrigué à l'aide d'une solution saline de NaCl et CaCl₂ selon sa concentration. Au bout de chaque irrigation, nous avons analysé le pH du sol et sa conductivité électrique à trois niveaux de profondeur : superficiel, intermédiaire et inférieure. La réponse de la culture installée : tomate industrielle (*Lycopersicon esculentum*) était obtenue par l'analyse de la densité de son développement racinaire effectuée sur des sujets sacrifiés pour deux stades de développement (floraison et début nouaison).

Mots clés : zone aride, sol sableux, bentonite, tomate, irrigation, salinité.

INTRODUCTION

Actuellement les pays en développement souffrent, dans leur majorité, d'une crise d'insuffisance alimentaire due à la gestion des terres et des eaux ajoutée aux phénomènes de désertification et de salinité.

L'Algérie, classée comme zone semi-aride à aride du fait de l'importance de l'évapotranspiration par rapport aux précipitations, se distingue par un biotope caractérisé par des dépôts géologiques salifères et des nappes phréatiques ou artésiennes salées. La superficie des zones arides et semi-arides y couvre près de 95% du territoire (HALITIM, 1985), et l'eau d'irrigation entraîne indéniablement une augmentation de la salinité des sols et des zones affectées (DAOUD, 1993). La salinité des sols et des eaux constitue un obstacle majeur à la croissance et au développement des cultures dans ces régions où les pluies sont rares et irrégulières et les températures très élevées (BRUN, 1980).

Les sols sableux sont la composante dominante dans ces régions et se caractérisent par une faible capacité de rétention en eau et en élément minéraux, un complexe argilo-humique très réduit, une infiltration élevée et une ascension capillaire faible (HALITIM, 1978). L'adjonction de bentonite, comme moyen d'amélioration des caractéristiques physico-chimiques et hydriques de ces sols, est étudiée depuis longtemps par plusieurs auteurs qui ont montré que des cultures installées sur des sols sableux amendés à l'aide de 10% d'argile enregistrent des augmentations de rendement variant entre 10 et 40% selon la plante (BENKHELIFA, 1997 ; HENNI, 1994 ; ROUIBA, 1994 ; KHERROUBI, 1992 ; EL SHERIF, 1987 et LHOTSKY, 1970).

Le présent travail, est une contribution à l'étude de l'effet de la bentonite sur le pH et la conductivité électrique d'un sol sableux irrigué à l'aide d'une solution de NaCl et de CaCl₂ (V/V) à trois concentrations (100, 200 et 300 meq.l⁻¹). Ces paramètres étaient déterminés à trois niveaux de profondeur (superficielle, intermédiaire et inférieure) aux stades de floraison et début nouaison. En parallèle nous avons analysé la densité de développement racinaire de la culture installée (tomate industrielle) effectuée sur des sujets sacrifiés aux deux stades de développement.

MATERIEL ET METHODES

- Matériels

+**Substrat** : Avant leur mélange le sable a été lavé et la bentonite broyée. Cette argile de nature calcaïque provient du gisement de Maghnia situé sur la rive droite de la Tafna au sud est de la ville.

Tableau 1: Caractéristiques de la bentonite (BENDELLA, 1994)

Constituants	teneur	Constituants	teneur
HCC (%)	79.5	pH eau	8.4
MO (%)	0.26	CE (eps) dS.m ⁻¹	1.4

+**Culture** : tomate industrielle (*Lycopersicon esculentum Mill.*) de la famille des Solanacées. Variété fixée appelé marmande claudia.

+**Serre** : Nous avons utilisé une serre construite en bois et couvrant une superficie de 8m². Les conditions climatiques étaient en moyenne comme suit :

- température = 20 à 25°C
- humidité relative = 70%
- rayonnement journalier = 10 heures

- Méthodes

+ **Préparation du mélange** : la bentonite préalablement broyée a été soigneusement mélangée avec le sable moyennant la dose de 10% du poids de sol sec. Le substrat ainsi formé a été mis dans des vases de végétation en polyéthylène destinés au support de la culture. La quantité de bentonite ajoutée au sable est de 3000g par pot. Ces derniers sont en matière plastique avec un diamètre de 24.6 cm et une hauteur de 21 cm. Au fond de chaque pot, nous avons placé une couche de gravier afin d'assurer un bon drainage de l'eau d'irrigation.

Effet de la profondeur : la CE diminue au fur et à mesure que la couche du sol est plus profonde. SERVANT (1976), remarqua que la CE diminuait au fur et à mesure que la couche d'un sol irrigué à l'aide d'une solution saline étaient plus profonde.

Par ailleurs, DAUTREBANDE (1982), affirme que les concentrations extrêmes se rencontrent en surface de la zone racinaire.

Bien que l'effet de la profondeur soit très significatif sur les variations globales, il est plus prononcé dans le substrat amendé (26 et 11%) que dans le substrat sableux (13 et 6%). Ceci peut être expliqué par le fait que, l'eau d'irrigation s'infiltré en fonction de la perméabilité du sol et sa capacité de rétention et reste à la disposition des racines un certain temps. Elle se concentre sous l'influence conjuguée de l'évaporation et de l'absorption par les racines qui puissent très peu de sels solubles (BOULAINÉ, 1978). En effet, un travail expérimental similaire montre que la perméabilité est de 98 et 48 cm.h^{-1} respectivement pour les substrats sableux et amendé (BENKHELIFA, 1997).

Selon l'échelle de salinité totale de l'extrait au 1/5 établie par SERVANT (1975), les substrats sableux sont faiblement salés à salés suite aux traitements par rapport au témoin alors qu'ils sont faiblement salés à fortement salés dans les substrats amendés.

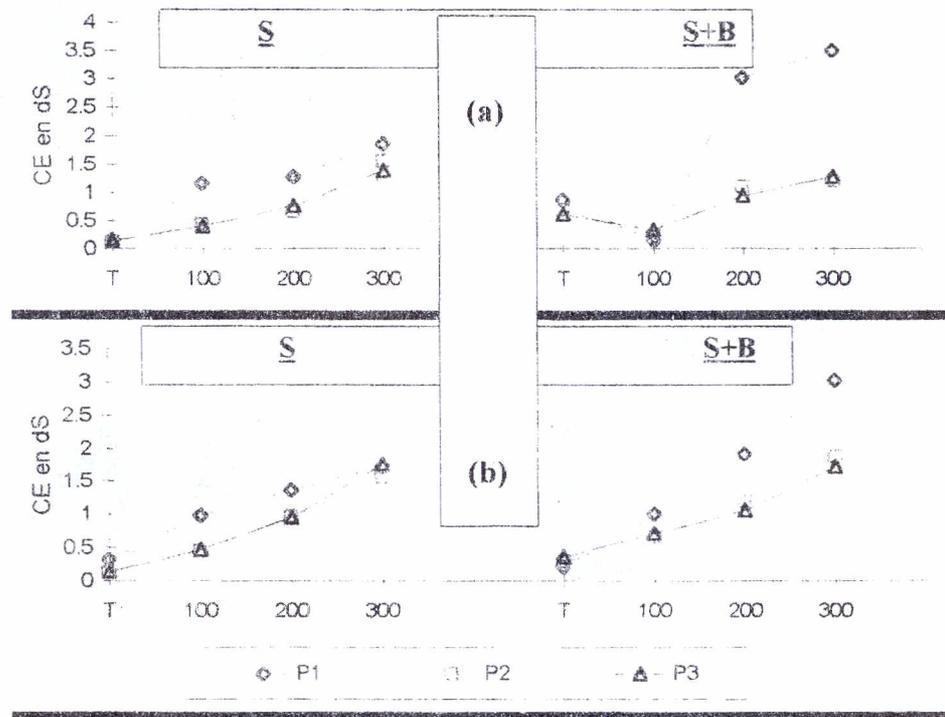


Figure 2 : Evolution de la CE en fonction des traitements en meq.l^{-1} et de la profondeur pour les deux substrats. (a) : floraison ; (b) : début nouaison

- Densité racinaire

Au stade de floraison, les jeunes racines semblent plus développées dans le substrat amendé où la longueur dépasse les 28 cm par rapport au substrat sableux où la longueur ne dépasse pas 24 cm. L'effet de la salinité sur les jeunes racines apparaît au bout de la dose de 300 meq.l^{-1} pour les deux substrats, où la densité racinaire diminue particulièrement dans le sable de manière plus prononcée que dans le substrat amendé (fig. 3).

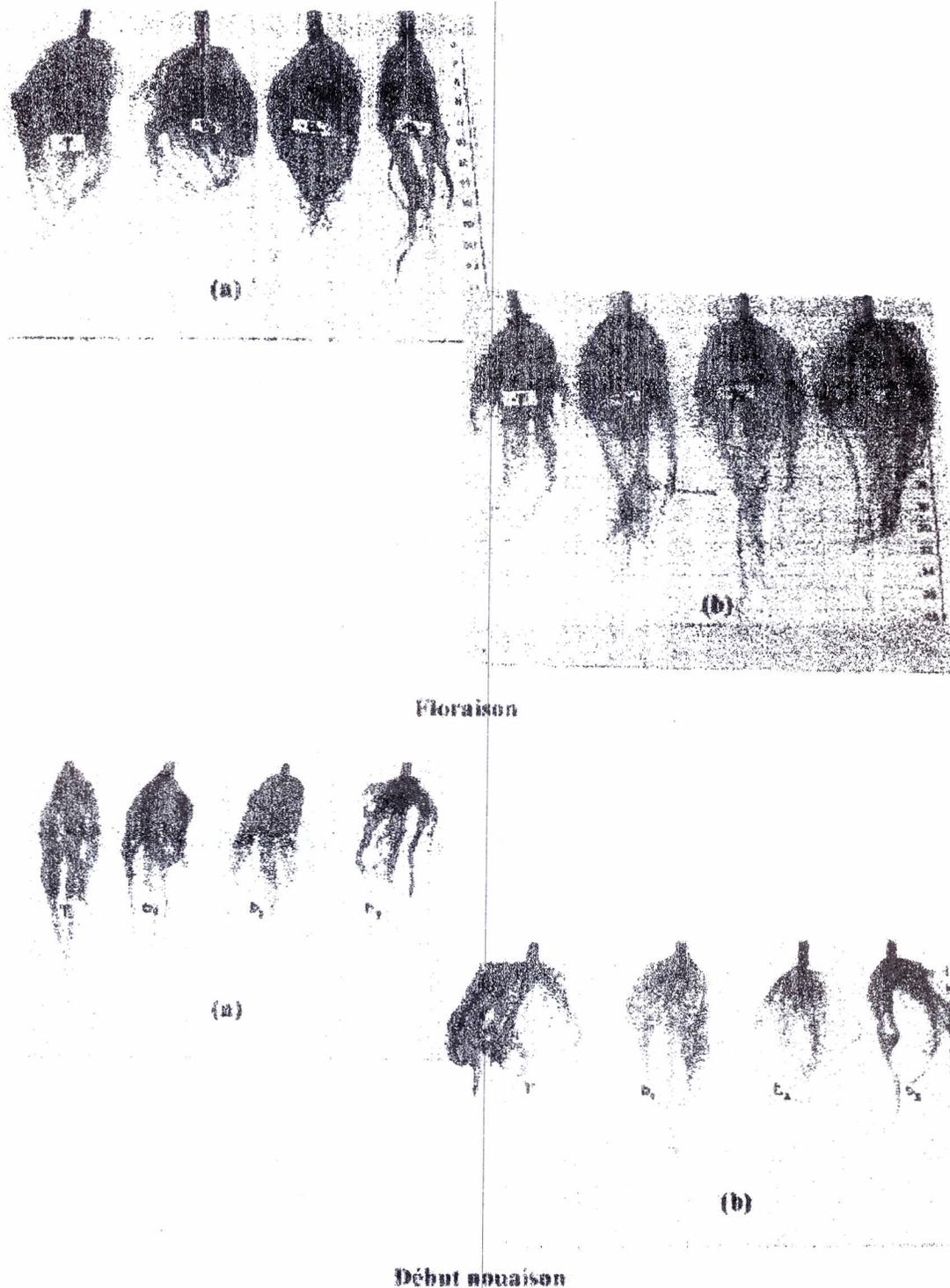


Figure 3: Evolution de la densité racinaire en fonction des substrats et de la concentration saline pour les deux stades de développement. (a) : sable; (b) : sable + bentonite
 T : témoin ; D₁ : 100 méq.l⁻¹ ; D₂ : 200 méq.l⁻¹ ; D₃ : 300 méq.l⁻¹

Il apparaît, donc, que pour ce stade de développement, la bentonite favorise un comportement de tolérance de la culture vis à vis de la salinité. En effet, nous avons remarqué que les plantes cultivées sur les substrats sableux présentaient un retard de floraison par rapport à ceux amendés.

Au stade de début nouaison, les racines apparaissent à une échelle plus petite que précédemment et sont plus denses dans le substrat amendé par rapport au substrat sableux particulièrement pour le témoin et le traitement à 100 meq.l⁻¹. Pour les deux autres traitements, les racines ne semblent pas tolérer l'effet du stress salin dans les deux substrats.

Ainsi, la culture manifeste une sensibilité marquée à la salinité pour ce stade de développement (où les premières réactions apparaissent à 200 meq.l⁻¹) comparativement au stade précédent (où les premières réactions apparaissent à 300 meq.l⁻¹). A l'intérieur de chaque stade, l'effet du substrat dénote l'importance de la bentonite dans l'aptitude de la culture à résister à la salinité.

CONCLUSION

Au terme de cet étude il est possible d'affirmer que l'apport de bentonite de Maghnia à un sol sableux favorise la tolérance de la culture de tomate à la salinité pour les stades de floraison et début nouaison.

La culture apparaît plus sensible à la salinité au stade de début nouaison qu'au stade de floraison. En effet, des études indiquent que la tolérance des cultures au stress salin et leurs rendements dépendent du stade de développement et de la durée pendant laquelle est appliqué le stress (MAAS et al., 1986).

Cette expérience nous a permis de remarquer que l'effet du stade de développement est prédominant sur celui de la durée du stress que nous avons adopté. Néanmoins, très peu d'études de recherche ont traité l'aspect qui sépare complètement les effets de la durée du traitement et ceux du stade de développement qui reflète l'état dans lequel la plante évolue (MAAS et al., 1986).

Pour les deux stades étudiés, l'effet des substrats montre l'importance de la bentonite de Maghnia comme amendement minéral des sols sableux dans l'adaptation de la culture au stress salin en plus de son intérêt physico-chimique et hydrique (BENKHELIFA, 1997).

Nous projetons de soumettre au cours des prochaines études, la culture à plusieurs durées de stress salin afin d'approcher davantage l'état dans lequel a lieu le développement et la croissance des cultures dans les substrats amendés.

BIBLIOGRAPHIE

- BENDELLA S. (1994) - Etude de la fixation du baryum par la bentonite pontée. Mémoire d'ingénieur. INES, Chimie Industrielle. Université de Mostaganem. 60p.
- BENKHELIFA M. (1997) - Influence de la bentonite sur les caractéristiques physiques, hydriques et mécaniques d'un sol sableux du plateau de Mostaganem. Thèse de Magister. INA, Alger. 114p.
- BOULAINE J.(1978) - Cours d'hydropédologie. INA, ENGREF. 193p.
- BRUN A. (1980) - Effets comparés de différentes concentrations de NaCl sur la germination, la croissance et la composition minérale de quelques populations de luzerne annuelle d'Algérie. Thèse 3^{ème} cycle. Acad. Montpellier. 78p.
- DAOUD Y. (1993) - Contribution à l'étude des sols des plaines du Chellif. Le phénomène de salinisation et ses conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doc. es Sciences. INA, Alger.
- DAUTREBANDE G. S. (1982) - Amélioration des sols salins. Notes de cours, Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat, Gembloux. 163p.
- EL SHERIF A. (1987) - Projet de recherche sur la valorisation des sols sableux par la bentonite, méthodes et aspects économiques ; Rapport final. ARST. Le Caire.274p.
- HALITIM A. (1985) - Contribution à l'étude des sols des zones arides (hautes plaines steppiques de l'Algérie). Thèse de Doc. es Sciences. Université de Rennes. 384p.
- HALITIM A. (1978) - Cours de science du sol. Pédologie générale et agropédologie. Tome1. INA. Alger.
- HENNI M. (1994) - Amélioration des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques d'un sol sableux par l'utilisation de la bentonite. Mémoire d'Ingénieur Agronome, INFSA, Mostaganem. 80p
- HOAGLAND D. et ARNOLD I. (1938) - the cultur method for growing plants without soil. Univ. Str. Aes. Cir.pp :341-1136.

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'INFLUENCE DE LA SALINITE SUR LE COMPORTEMENT DU BLE DUR

Z. BELDJOUDI

I.N.R.A.A. Laboratoire de sciences des sols et de la fertilisation
CRP Mehdi Boualem B.P. 37, Baraki 16210, Alger.

Résumé

Le stress salin est l'un des facteurs majeurs qui limitent les rendements des céréales dans les régions sahariennes. Le stress salin ou hydrique varie beaucoup dans les sols et plus particulièrement dans les sols sableux. La croissance et le développement des variétés de blé tolérantes aux sels représentent une solution potentielle à ce problème. Dans ce sens, un essai expérimental a été mené sous abri en vase de végétation pour étudier la tolérance de six variétés de blé dur (waha; Ben-Bachir; Hedba; Oued-Zenati; Vitron; Mexicali) à la salinité à différents niveaux (0, 2, 4, 6 g de NaCl/l). Les résultats obtenus montrent qu'en présence du sel le comportement du blé diffère d'un stade de développement à un autre.

Les observations et les mesures effectuées pendant le cycle phénologique et après la récolte portant sur la hauteur des épis et des tiges et sur la longueur des jeunes et des vieilles feuilles révèlent l'effet significatif du sel notamment pour les concentrations les plus élevées c'est à dire 4 et 6 g de NaCl/l.

Le seuil critique pour les paramètres étudiés varie entre 2 et 4 pour les variétés Mexicali, Vitron et Waha et entre 4 et 6 pour les variétés Hedba, B.Bachir et Oued-Zenati.

Mots clés : *Salinité, Blé dur, comportement variétal, milieu saharien.*

INTRODUCTION

La dégradation des terres est la contrainte principale de la limitation des produits alimentaires dans le monde. Le facteur majeur de qui contribue à la dégradation des terres est la salinisation des sols et des eaux dans les zones arides (Kennech, 1995 in Ghassemi, 1995).

Une grande proportion de la masse des terres dans le monde est saline, en effet, sur superficie totale de 14 billion d'hectare de terre utilisable, 46,5 % est considérée comme aride où les précipitations faibles, l'évaporation intense et les roches dégradées se sont combinées pour former 1.0 billion d'hectare de sols salins. (Moshe, 1994).

Les ressources hydriques appropriées à l'irrigation deviennent moins abondantes dans le monde, une eau initialement considérée trop saline est utilisée actuellement en agriculture (Leland et al., 1994). Toutefois son extension a induit à une diminution de la productivité des cultures due principalement au stress salin (Ranglely, 1986 in John, 1990). Le stress salin est, en effet, l'un des facteurs abiotique majeurs qui limitent les rendements (Moshe, 1995).

La croissance et le développement des plantes tolérantes aux sels représentent une solution potentielle à ce problème, notamment en Algérie où près de 95% du territoire

nationale est représenté par des sols arides (Halitim, 1988) et où les eaux d'irrigation des zones céréalières sahariennes sont relativement riches en sels (Hadid, 1992).

Les principaux objectifs visent à:

- étudier la tolérance du blé dur à la salinité en calculant le pourcentage germinatif pour chaque variété.
- Etudier le comportement du blé au cours de son cycle de développement en déterminant les paramètres de rendement.
- Analyser les végétaux (racines, tiges et graines) par le dosage de N, P, K Na et Cl pour étudier les interactions élément nutritif/ salinité.

MATERIEL ET METHODES D'ETUDE

L'essai expérimental a concerné six cultivars de blé dur (*Triticum durum* Desf.): Hedba, M.B.Bachir, Mexicali, Waha, Vitron, Oued Zenati soumis à quatre traitements salins: C1 = 0g de NaCl /l - C2 = 2g de NaCl /l - C3 = 4g de NaCl /l - C4 = 6g de NaCl/l. Le NaCl a été choisi pour sa prédominance dans les eaux d'irrigation des zones céréalières sahariennes (Hadid, 1992).

Les graines ont été placées dans des boîtes de Pétri pour une période de germination de 10 jours à raison de 25 graines par boîte sous une température de 20 ° C. L'arrosage a été appliqué quotidiennement avec des solutions salines contenant les quatre traitements salins.

Les plants qui ont bien germés ont été repiqués le 10 janvier 1996 manuellement dans des vases de végétation à raison de trois plants par vase sur un substrat sableux dépourvu de toutes impuretés (6 Kg / vase). La conductivité électrique (CE) de la solution de drainage a été contrôlée grâce au percolat recueillis après chaque arrosage.

Les boîtes de Pétri ainsi que les vases de végétation ont été placées selon un dispositif factoriel en bloc aléatoire comportant: 6 cultivars - 4 traitements salins et 5 répétitions.

Les vases ont été placées sous abri à la station expérimentale de l'I.N.R.A. Au stade deuxième feuille, l'engrais a été apporté sous forme d'une solution nutritive préconisée par Coic et Lesaint (1975). Trois pots non ensemencés ont été préparés pour la réalisation des mesures de la réserve utile. La dose d'arrosage a été calculée en tenant compte de la capacité de rétention du sable (Beldjoudi, 1993).

Des notations et des mesures ont été effectuées chaque quinze jours tout au long du cycle végétatif. Les notations ont concerné le repérage des stades végétatifs . A la récolte, les mesures ont porté sur la hauteurs des tiges et des épis et sur la longueur des jeunes et vieilles feuilles.

RESULTATS ET DISCUSSION

Le traitement statistique a porté sur l'analyse de variance pour chaque paramètre étudié: Hauteur moyenne des tiges et des épis ,longueur moyenne des jeunes et des vieilles feuilles.

Hauteur moyenne des tiges (HMT)

L'analyse de variance montre que les traitements salins ont un effet très hautement significatif.

Le Test de Newman et Keuls à 5 pourcent de seuil fait ressortir 7 groupes homogènes et 17 groupes intermédiaires. Il est à noter que le cultivar Hedba à C2 est en tête et que le cultivar Waha à C4 en dernier.

Tableau 1 : Classification des cultivars en fonction des traitements pour le paramètre HMT

Traitements salins	Classification des cultivars (des plus tolérants aux moins tolérants)
C1	M.B.Bachir Oued-Zenati Hedba Mexicali Wahz Vitron
C2	Hedba M.B.Bachir Oued-Zenati Mexicali Vitron Waha
C3	Hedba B.Bachir Oued-Zenati Mexicali Vitron Waha
C4	Hedba B.Bachir Oued-Zenati Mexicali Vitron Waha

Hauteur moyenne des épis (HME)

Pour cette variable, l'interaction des cultivars et les traitements montre que l'effet du NaCl est hautement significatif. Le groupage statistique basé sur le test de Newman et keuls à 5 pourcent de seuil fait ressortir 6 groupes homogènes et 18 groupes intermédiaires avec le cultivar Hedba à ; C2 en tête et le cultivar Waha en dernier à C4.

Tableau 2 : Classification des cultivars en fonction des traitements pour le paramètre HME

Traitements salins	Classification des cultivars (des plus tolérants aux moins tolérants)
C1	Hedba Vitron Oued-Zenati M.B.Bachir Waha Mexicali
C2	Hedba Oued-Zenati M.B.Bachir Vitron Mexicali Waha
C3	Hedba Oued-Zenati B.Bachir Vitron Mexicali Waha
C4	Hedba B.Bachir Oued-Zenati Vitron Mexicali Waha

Longueur moyenne des jeunes feuilles (LMJF)

Les traitements salins ont eu un effet très hautement significatif sur la longueur des jeunes feuilles. On distingue 2 groupes homogènes et 22 intermédiaires d'après le Test de Neuman et Keuls à 5 pourcent de seuil. Pour cette variable, le cultivar vitron à C1 est en tête et le cultivar Waha en dernier à C4.

Tableau 3 : Classification des cultivars en fonction des traitements pour le paramètre LMJF

Traitements salins	Classification des cultivars (des plus tolérants aux moins tolérants)
C1	Vitron Mexicali Waha Oued-Zenati Hedba M.B.Bachir
C2	Vitron Hedba Waha Oued-Zenati Mexicali M.B.Bachir
C3	Hedba Oued-Zenati Vitron B.Bachir Mexicali Waha
C4	Hedba Oued-Zenati Vitron B.Bachir Mexicali Waha

Longueur moyenne des vieilles feuilles (LMVF)

Pour ce paramètre les traitements salins ont eu un effet très hautement significatif On distingue 9 groupes homogènes et 15 intermédiaires d'après le Test de Neuman et Keuls à 5 pourcent de seuil avec le cultivar O.Zenati en tête à C1 est en tête et le cultivar Waha en dernier à C4.

Tableau 4 : Classification des cultivars en fonction des traitements pour le paramètre LMVF

Traitements salins	Classification des cultivars (des plus tolérants aux moins tolérants)
C1	Oued-Zenati B.Bachir Hedba Vitron Mexicali Waha
C2	B.Bachir Oued-Zenati Hedba Vitron Mexicali Waha
C3	Hedba B.Bachir Oued-Zenati Vitron Mexicali Waha
C4	Hedba B.Bachir Oued-Zenati Vitron Mexicali Waha

CONCLUSION

D'une manière générale, le sel diminue le développement du blé à des teneurs basses de sel et devient nocif quand celle ci augmentent.

Les résultats obtenus concernant la hauteur moyenne des tiges et des épis et la longueur moyenne des jeunes et vieilles feuilles montrent que le NaCl a eu un effet hautement significatif suivant les cultivars.

En effet, les valeurs les plus élevées de la hauteur de la HMT et de la HME ont été notées chez Hedba et les plus faibles chez Waha. Entre ces deux cultivars on a enregistré des valeurs décroissantes chez O.Zenati, Mexicali et Vitron respectivement. Il faut noter que pour HMT, Hedba, B.Bachir et O.Zenati ont eu un comportement identique en présence des concentrations C2 et C3. Le même comportement a été constaté chez O.Zenati, B.Bachir et Vitron et ce pour la HME.

L'élévation de la salinité n'a pas inhibé le développement des jeunes feuilles notamment chez Vitron, O.Zenati et Hedba. Les feuilles de ces trois cultivars ont presque la

même longueur (inférieur à 30 cm). A C2 et C3, les feuilles de Mexicali et de Waha ont relativement résister puis ont nettement chuté à C4.

Les variétés de blé dur étudiées tolèrent différemment les concentrations salines croissantes. En effet, les mesures effectuées sur la hauteur des tiges et des épis et sur la longueur des jeunes et vieilles feuilles révèlent l'effet significatif du NaCl. Probablement l'exès de Na et de Cl dans la zone racinaire a empêché ou restreint l'assimilation de N, P, K, éléments fertilisants pour la croissance et le développement du blé; il ya donc absorption sélective de Na par rapport à K et de Cl par rapport à N.

BIBLIOGRAPHIE

BELDJOUDI ZINEB 1993 - Contribution à l'étude de la tolérance d'une variété de blé dur (Waha) à la salinité. Mém. Ing. I.N.A., El Harrach. 42p.

CHIPA. B.R. ET LAL. P. 1992 - Effect of soil salinity in the pattern of nutrient uptake by susceptible and tolerant varieties of wheat. *Agrochimica* vol. 36 N° 6, pp. 418-426.

COIC A. ET LESAIN M. 1975 - Cultures hydroponiques Ed. La maison Rustique -Paris6 120p.

GHASSEMI F., F.JAKEMAN J and NIX H.A. - 1995 Salinisation of land and water resources. Human causes, extent, management and case studies -Austarlia- Centre for Ressource and Enviromental Studies 520p.

HADID R. 1992 - Fertilisation des céréales en milieu salé saharien: Essai de transformation des eaux d'irrigation en solution nutritive. Mém. Ing. I.N.A. El Harrach 52p.

HALITIM A. 1988 - Sols des régions arides d'Algérie Ed. O.P.U. Alger, 384 p.

JONH.W. GRONWALD, CHARLES G. SUHAYDA, MOSHE TAL and MICHAEL C. SHANON 1990 - Reduction in Plasma Membrane APT ase Activity of Tomato Roots by salt. *Plant science*, 66; 145-153.

LELAND E. FRANCOIS, CATHERINE M; GRIEVE, EUGENE V. MAAS AND SCOTT M. LESCH 1994 - Time of salt stress affects growth and yied compnents of irrigated wheat. *Agron. J.* 86: 100-107.

MAAS E.V. 1990 - Crop salt tolerance. *Engineering praticctice* N°. 71, ASCE, NY., pp. 262-304.

MOSHE TAL 1995 - Wild germination for salt tolerance in plants

RABIE. R.K., MATTER M. K., KHAMIS A. A, and MOSTAFA M. M 1985 - Effect of salinity and moisture content of soil on growth. *Soil sci. Plant Nutr.*, 31 (4), pp. 537-545.

L'EFFICIENCE DE L'EAU EN CONDITIONS DE STRESS HYDRIQUE UNE APPROCHE SIMPLE POUR LA SELECTION CHEZ LE BLE DUR (*Triticum durum* Desf.)

BENSEDDIK B.* ; LABDI B.**

Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides

* Institut des Sciences de la Nature.

Laboratoire de Gestion des Ecosystèmes . Université Djillali Liabés

**Station expérimentale ITGC S.B.Abbés.

Fax 07 56 66 11

23.Rue Khemliche Sebbar Sidi-bel-Abbés 22000 Algérie. Mél : benscailla13@ hotmail. Com

Résumé

Les performances du blé dur (rendement par unité de surface) sont sous le contrôle :

- Des caractéristiques endogènes propres à chaque cultivars (structure génétique).
- De paramètres exogènes imposés par des caractéristiques physiques (sol et climat) et chimiques (éléments nutritifs).

Les premiers, restent encore mal ou insuffisamment connus, leurs expressions est largement dépendantes des conditions du milieu qui modifient substantiellement leurs réponses.

Pour les second, les changements aléatoires et continues du 'climat' restent imprévisibles et difficilement changeables, ceux de la composante 'sol' nécessitent souvent des investissements lourds qu'il n'est pas facile de rentabiliser.

Cette contrainte environnementale est donc caractérisée par plus d'un stress physique en même temps ou tout au long du parcours d'élaboration du rendement. Le plus connu est le stress hydrique induit par des séquences sèches ou la salinité des sols (agissant séparément ou en combinaison) et compromettant plus ou moins les récoltes selon leur durées et occurrences.

Des apport d'eau supplémentaires sont souvent nécessaires, mais les performances des cultivars sont très variables à cet égard et la gestion de l'eau qui est la ressource la plus rare et la plus incertaine, impose la recherche de l'efficacité maximum des apports supplémentaires .

Une approche simple et complémentaire aux outils d'analyse classique est préconisée pour le criblage des variétés vis à vis de la valorisation de l'eau en condition de stress. Ce qui facilitera l'affectation spatiale des cultivars et le choix des caractères à induire par un programme d'amélioration.

Mots clés : *Blé dur, rendement ,stress hydrique , efficacité de l'eau.*

INTRODUCTION

En Algérie, le blé dur (*T. durum* Desf.) constitue un produit de base dans l'alimentation humaine, tout particulièrement en milieu rural où il constitue l'essentiel de la ration alimentaire humaine (fabrication de coucous, galette, pâtes alimentaires ...), et fournit de part ses dérivés, (pailles et sons) une ressource substantielle pour l'alimentation animal.

La part du blé dur représente 40 à 50 % des 3 millions d'hectares consacrés annuellement à la céréaliculture. Cette culture est essentiellement pluviale, elle est par conséquent soumise à des régimes pluviométriques caractérisés par des précipitations très variables, souvent faibles, et présentant des distributions aléatoires qui sont rarement en adéquation avec les besoins de la plante (SELTZER P, 1946 ; BALDY CH, 1974 ; LE HOUEROU NN, 1989). Ce qui se traduit par des déficits hydriques qui peuvent s'établir à n'importe quel moment durant le cycle végétatif de la céréale, et qui sont souvent amplifiés par la nature et la composition du sol.

Il n'est donc pas paradoxal que la variation des rendements soit liée à celle des précipitations et du milieu.

Deux alternatives se présentent et doivent d'ailleurs être menées de pair:

1- Poursuivre les investigations sur l'identification et la définition des traits morphophysiologiques d'adaptation, de résistance, tolérance ou esquivance au stress dus aux déficits hydriques ou à la salinité des sols. Ces approches permettant la compréhension des mécanismes développés par cette céréale sont largement développées par QUIZENBERRY J.E, 1982 ; ALCEVEDO E, 1987 ; P. MONNEVEUX, 1991.

2- Développer une approche permettant de mieux caractériser la variable hydrique, de repérer les périodes de stress les plus critiques, et de fournir un complément d'eau par irrigation quand c'est possible (STERN R.D, DENNETT M.D, DALE I.C 1982).

Cette deuxième approche, simple à la mise en place et au suivi, permet de cibler les performances des différents cultivars et offrir ainsi indirectement les opportunités de valorisation des sols.

D'une manière simple, ceci peut être fait à travers :

- La caractérisation des régimes pluviométriques aux différentes échelles (annuelle, mensuelle, décadaire et journalière) permettant ainsi l'identification des séquences de sécheresse, leurs occurrences, leurs intensités et leurs durées.

- Le repérage des risques probables de coïncidence de ces occurrences avec les phases sensibles de croissance et développement du blé dur.

L'apport d'eau aux phases sensibles et l'évaluation des réponses de la plante en terme d'efficacité.

MATERIEL ET METHODES

Six variétés de blé dur (*T. durum* Desf.), retenues pour leurs performances et implantées dans le cadre d'un essai au niveau de la station expérimentale I.T.G.C ont reçu des irrigations d'appoints sous forme de 03 doses correspondant aux trois stades jugés critiques vis à vis des besoins en eau.

Origine des variétés

Chen 'S'	Variétés d'introduction de l' ICARDA, de culture récente.
BD 1 /94	
Om rabii 9	
Kabir	
O.Zenati	Variétés locales utilisées comme témoins.
M.B.Bachir	

Les stades morphophysiologiques sensibles sont fixés après l'identification des séquences de sécheresse et leur position par rapport au cycle végétatif et/ou reproductif de la céréale.

- Apports d'eau -

Irrigation (mm d'eau)	stade végétatif
28 mm	tallage
25 mm	montaison - gonflement
25 mm	remplissage du grain

Pour les besoins de cette analyse seuls le rendement biologique et le rendement en grain sont considérés. Ces deux variables constituent des facteurs intégrateurs et permettent d'estimer l'efficacité du mm d'eau apporté sans passer par toutes les composantes morphophysiologiques et phénotypiques explicatives.

RESULTATS ET DISCUSSION

La variabilité mensuelle et décadaire des précipitations impose souvent un apport d'eau supplémentaire durant les phases critiques du blé (BRISSON N ; DELECOLLER R 1992).

L'analyse à un pas de temps décadaire s'ajuste sensiblement mieux aux besoins de la plante, il est souvent utile d'effectuer l'analyse en deux parties en éliminant les valeurs égales à zéro d'abord puis en traitant séparément les valeurs non nulles. C'est une caractéristique importante qui doit être prise en compte pour l'interprétation des données .

Tous les mois peuvent présenter des minimum de 0 mm , il suffit alors que cette occurrence coïncide avec une phase sensible (méiose pollinique et la phase qui l'entoure de quelques jours), pour voir le rendement sérieusement compromis. Par ailleurs, l'amplitude de variation de la moyenne vraie est un autre caractère qu'il faudrait prendre en considération dans l'interprétation des données à partir de l'échelle mensuelle.

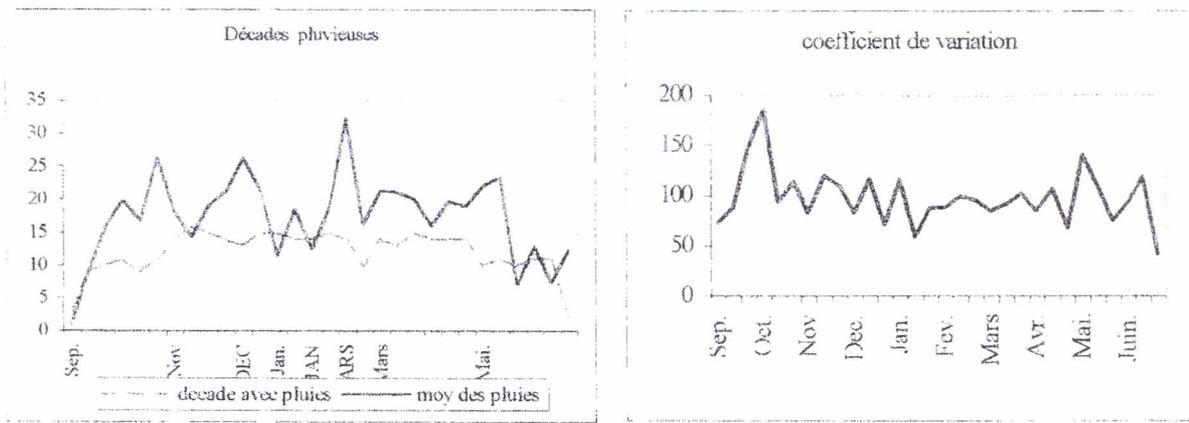


Figure 1 : Caractéristiques des pluies décadaires

Le tableau suivant confirme que la moyenne n'est pas un estimateur précis.

L'intervalle de confiance (95%) de la moyenne vraie varie dans des proportions non négligeables, au vu des largeurs de cette intervalle qui sont importantes.

Ce qui confirme encore le caractère erratique des précipitations mensuelles, et incite aussi à se pencher sur l'importance du support 'sol' qui peut atténuer ou amplifier le stress hydrique.

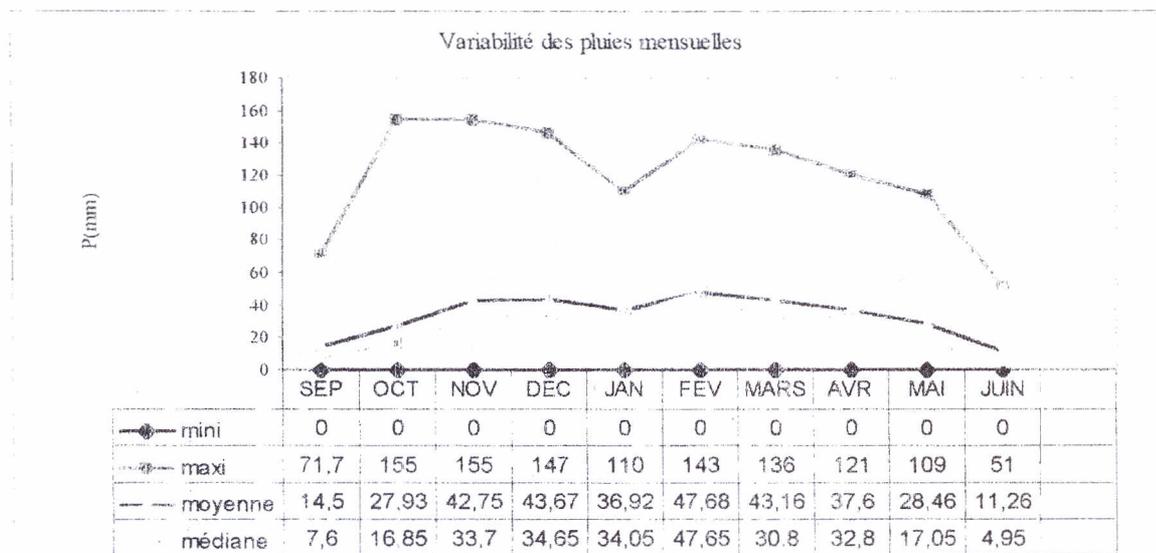


Figure 2: Variabilité des pluies mensuelles

Identification des séquences sèches

Pour le traitement des séquences sèches, la première tâche consiste à définir un jour sec. La définition la plus évidente correspond à toute journée non pluvieuse. Généralement, un jour est considéré comme sec lorsque la quantité de pluies recueillie durant ce jour est inférieure à un certain seuil. Ce seuil est généralement égal à 1 mm.

La longueur de séquence sèche atteinte depuis le dernier jour pluvieux et la longueur de la séquence sèche maximale pour chaque mois peut être définie.

Il est utile de considérer des séquences pour des périodes de temps inhérentes aux stades morphophysologiques ou phénotypiques du blé plutôt que pour des périodes fixes dans l'année (KEATINGE J.D.H, DENNETT M.D, RODGERS J. 1984 ; BENSEDDIK B, 1996).

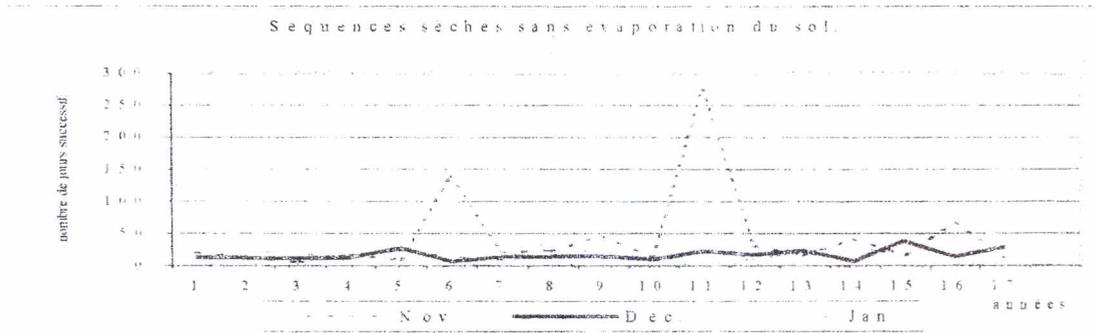


Figure 3 : Types de séquences sèches après semis

L'exemple suivants permet, après identification des risques de séquences sèches et leur intensités (nombre de jours successifs secs), une confrontation avec les différentes phases du cycle du blé dur. Ce qui permettra de repérer les phases limitantes en fonction des risques de stress hydriques.

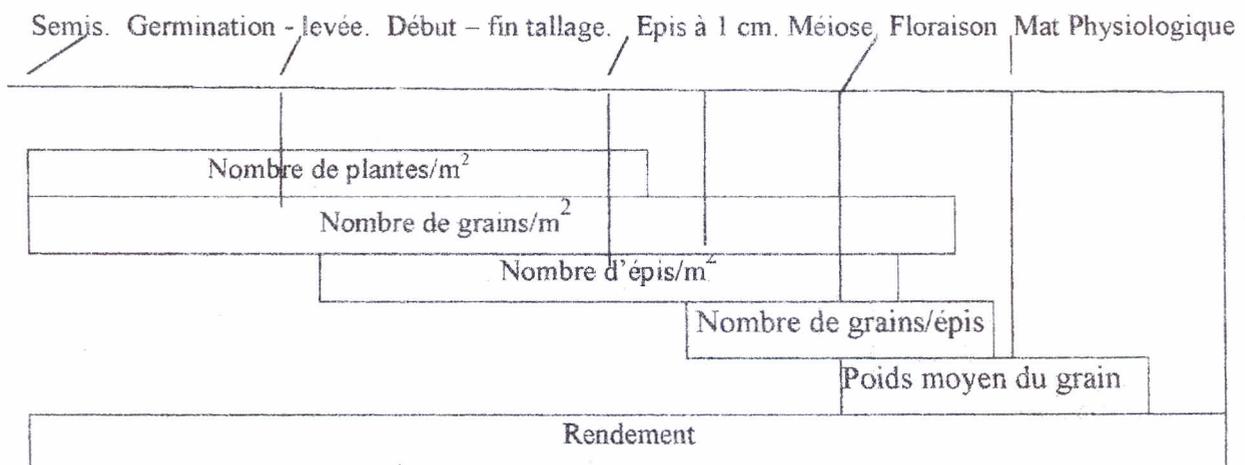


Figure 4 : Les composantes du rendement et les besoins moyens en eau du blé dur.

Valorisation du 'mm' d'eau

* Efficience biologique

Les résultats indiquent qu'en terme de biomasse totale synthétisée, les cultivars valorisent différemment les apports d'eau.

La variété locale témoin (O.Zenati) donne un rendement de 62,39 qtx. contre 32.18 qtx. en conditions pluviales (+ 94 %), alors que CHEN'S' passe de 51.37 qtx. à 56,85 qtx (+11 %).

Tableau 1 : Variabilité de la biomasse totale synthétisée.

Variétés	Rendement biologique		gain
	sec	irrigué	
CH.'S'	51.37	56.85	11%
BD 1/94	41.89	59.49	42%
O.R 9	39.81	44.43	12%
Kab.	49,04	55.67	14%
Mb.B	30,09	39.65	32%
O.Z (t)	32.18	62.39	94%

- Efficience de la matière sèche.

L'accroissement de la masse végétale ne se traduit pas forcément en production de grains

La valorisation de l'eau reste aussi tributaire de la correspondance 'apport d'eau – stade physiologique, qui dépend et de l'efficacité du génotype dans l'accumulation et la remobilisation des assimilats vers le grain.

Les autres paramètres liés à la photosynthèse après floraison, à la durée de vie des feuilles (L.A.D) et à la vitesse de remplissage du grain expliquent aussi cette différence dans le passage matière sèche – grain .

En terme de biomasse totale synthétisée, la variété locale O.Zenati donne un rendement de 62,39 qtx. contre 32.18 qtx en conditions pluviales. Mais en termes de rendement grain qui renseigne sur l'efficience de la matière sèche dans la translocation des assimilats et dont l'indice de récolte est un bon indicateur, cette variété est peu efficace.

Tableau 2 : Rendements en grain des variétés. (Quintaux./ha)

Variétés	traitement		
	sec	irrigué	Gain (%)
CH.'S'	5.41	23.96	343
BD 1/94	8.1	16.72	106
O.R 9	5.58	15.99	187
Kab.	6.28	20,66	229
Mb.B (t)	6.46	12.9	100
O.Z (t)	5.77	15.98	177

Une variabilité importante est à signaler pour cette composante finale. Les gains entre le traitement pluvial et irrigué présentent des accroissement de 100 à 300%. Cependant très peu de correspondances existent entre accroissement de M.S et accroissement du rendement en grain.

CHEN'S' qui présentait le plus bas gain en biomasse totale (11%) est passé 343% en production de grain, ce qui dénote son efficacité dans la remobilisation des glucides de réserve comparativement à la variété locale O.Zenati qui accuse 94 % d'accroissement de la masse végétale et 177% en grain.

L'efficience dans la traduction de la biomasse en grain est aussi rapportée par l'indice de récolte qui permet de bien classer CHEN'S'.

Tableau 3 : Variations de l'indice de récolte

		Variétés					
		CH.'S'	BD1/94	O.R 9	Kab.	Mb.B	O.Z (t)
Indice de récolte.	sec	11	19	14	13	21	18
	irrigué	42	28	36	37	33	26

- Efficience des apports d'eau.

L'efficience de l'eau transpirée, exprimée par le rapport du rendement biologique (matière sèche totale produite) à la quantité d'eau consommée durant le cycle végétatif, varie de 8 à 14 en condition pluviales (377 mm d'eau) et pratiquement dans les mêmes proportions avec un apport d'eau supplémentaire (+ 78 mm).

Les variétés CHEN'S, O.Rabii et Kabir sont mêmes moins efficaces en terme de valorisation de l'eau pour la production de M.S.

Tableau 4 : Apport d'eau et production de matière sèche .

Traitement Variétés	Traitement pluvial		Traitement irrigué	
		E ₁		E ₂
CH.'S'	51.37	14	56.85	12
BD 1/94	41.89	11	59.49	13
O.R 9	39.81	11	44.43	10
Kab.	49,04	13	55.67	12
Mb.B	30,09	8	39.65	9
O.Z (t)	32.18	9	62.39	14

E1= efficience des précipitations. E2 = Efficience des apports supplémentaires d'eau.

- Efficience (productivité) de l'eau d'irrigation.

L'efficience économique est par contre mieux valorisée par les variétés qui utilisent l'eau supplémentaire pour intensifier l'activité photosynthétique sans accroissement notable du couvert végétale (biomasse aérienne), soit pour être plus performante en matière translocation des assimilats vers le grain.

L'efficacité économique traduit un gain monétaire du à un apport supplémentaire d'eau.

$$Ee = Rb / Ci \text{ (rendement brute/consommations intermédiaires)}$$

Tableau 5 : Estimation de l'efficacité économique.

Variétés	Rend. grain		Gain agronomique (Qtz. /ha.)	Gain financier Brute (en D.A)
CHEN'S	5.41	23.96	18.55	36951.6
BD 1/94	8.1	16.72	8.62	17171.04
O.rabii	5.58	15.99	10.41	20736.72
Kabir	6.28	20.66	14.38	28644.96
M.B.B	6.46	12.9	6.44	12828.48
O.Zenati	5.77	15.98	10.21	20338.32

Le gain financier brut constitue la variable clef qui détermine les stratégies de l'agriculteur (BENSEDDIK B, 1983) et incite à la mise en valeur des sols. Cette variable est estimée à partir des prix à la production en vigueur.

CONCLUSION

La quantité d'eau apportée peut être considérée sous différents aspects :

La quantité totale à apporter dans le temps durant une période donnée, dépend exclusivement du climat, de la culture et du taux de couverture des besoins.

La quantité d'eau à apporter par irrigation ou à chaque irrigation, dépend quant à elle de la nature du sol ou du substrat, de la nature de la culture, particulièrement de son stade végétatif.

L'eau consommée par les plantes représente 500 à 1000 fois leur poids de matière sèche. A titre d'exemple, une culture de blé bien irrigué consomme 500 mm par an soit 5000 m³/ ha /an.

Les apports naturels (précipitations) peuvent concourir à raison de 50 à 75 % (250 à 350 mm), le reste doit être apporté sous forme d'irrigation quand cela est possible.

Dans les terres salées, pour les mêmes apports naturels, les apports supplémentaires sont augmentés de 1.5 à 2 fois selon le stade végétatif ou reproductif.

La stratégie ici consiste à choisir les cultivars pouvant valoriser au mieux l'eau. Des investigations et approches différentes contribuant à la définition des traits d'adaptation, de résistance ou tolérance, permettent la compréhension des mécanismes développés par cette céréale.

Cependant, il faut noter que la marge de progrès dus à la sélection en milieu salin a montré toutes ses limites du fait même de la complexité des phénomènes mis en jeu par la plante et leurs interactions.

Toutefois ce sont des approches lourdes à mettre en œuvre contrairement à l'approche préconisée qui est simple et permet de cibler les cultivars les mieux adaptés et les mieux valorisants des conditions de milieu.

BIBLIOGRAPHIE

- QUIZENBERRY J.E (1982) - Breeding for drought resistance and plant water use efficiency. In Breeding plants for less favourable environments. Eds. Wiley Intersci Publ. New York 383-399
- ACEVEDO E, CECCARELLI S. (1987) - Role of physiologist - Breeder in a breeding program for drought resistance conditions. In Baker FWG Eds Drought resistance in cereals. 117-139
- ERIC B., DOMINIQUE T., MONNEVEUX P. (1995) - L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. Cahiers Agricultures, 4 251-61
- BENSEDDIK B. (1983) - Intégration céréaliculture-élevage en zone substeppe : Cas de Saida. Thèse Doctorat 3^{ème} cycle Montpellier III, 330 p
- LE HOUEROU HN. (1989) - Classification écoclimatique des zones arides de l'Afrique du Nord *Ecologia Mediterranea*, 15 : 95-144
- BALDY CH. (1974) - Contributions à l'étude fréquentielle des conditions climatiques. Leurs influences sur la production des principales zones céréalières d'Algérie. Versailles I.N.R.A. Dep de bioclimatologie / Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, 152 p
- BALDY CH. (1993) - Effet du climat sur la croissance et le stress hydrique des blés en Méditerranée occidentale. In: Ben Salem M, Monneveux P. eds. Tolérance à la sécheresse des céréales en zone méditerranéenne. Paris. les colloques INRA n° 64, 83-100.
- BENSEDDIK B. (1997) - Utilité de l'analyse spatio-temporelle des pluies. Actes du colloque national sur le changement climatique. Oran, 24-25 décembre 1997 :34 -45.
- BARAKAT F., HANDOUFE A. (1998) - Approche agroclimatique de la sécheresse agricole au Maroc. *Sécheresse* 8 :9 : 201-8.
- BENSEDDIK B. (1996) - Variations climatiques et incidences sur l'agro-système céréalier. Actes du congrès international "Eco-Dev 96". Adrar, 13-16 novembre, 7-14.
- STERN R.D., DENNETT M.D., DALE I.C. (1982) - Analysing daily rainfall measurements to give agronomically usefull results II. A modelling approach *Experimental agriculture*, 18 : 237-153
- BRISSON N., DELECOLLER R. (1992) - Développement et modeles de simulation des cultures. *Agronomie*, 12 n°3 : 253-263

CONTRIBUTION A UNE MEILLEURE MAITRISE DES PERTES EN EAU D'IRRIGATION ET DE LA SALINISATION DES SOLS EN ZONES ARIDES

B. MOUHOUCHE¹ et M. BOULASSEI²

¹Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ENASA) ex (INA)

Département de Génie Rural - El-Harrach, 16200, Alger

²Institut National de la recherche Agronomique (INRAA) El-Harrach 16200 Alger

Résumé

Afin de quantifier le phénomène de salinisation des sols provoqué par la non maîtrise des quantités d'eau d'irrigation intégrale de la culture du blé, nous avons réalisé deux expérimentations en 1994 et 1995, respectivement dans les wilaya de Ghardaïa et Ouargla.

Nos expérimentations sont conduites sous système pivot afin de caractériser la conduite des irrigations sous ce type d'appareil.

Les résultats obtenus montrent une très mauvaise maîtrise des principes de base pour une bonne gestion des irrigations, provoquant ainsi une anarchie dans l'application des doses d'irrigation, qui varient de 150 à 425% des besoins ETM définis sur la base de deux sillons lysimétriques.

La comparaison des besoins en eau de la culture définis par la méthode dite directe (méthode lysimétrique), et la méthode informatique (logiciel CROPWAT) montre que le CROPWAT majore les besoins, sauf pour la période allant du 15 Avril à la maturation. Ainsi, le rapport des deux méthodes varie de 4 pour la 2ème décennie de Février à 1 pour la 2ème décennie d'avril, et 0,75 pour la 3ème décennie d'Avril.

La mesure de la salinité du percolat des lysimètres montre un taux de salinité extrêmement élevé, puisque la conductivité électrique (CE) a évolué de 10 mmhos/cm durant le mois de Février, à 20 mmhos/cm à la fin du cycle.

Concernant l'uniformité d'irrigation dans l'espace (sous le pivot), et dans le temps (durant le cycle), elle est considérée comme étant d'un niveau non satisfaisant.

Mots clés : irrigation, salinité des sols, pivot, pertes en eau, Sud Algérien

INTRODUCTION

Durant les dix dernières années, le sud Algérien a connu une activité agricole très intense. Cette activité est principalement orientée vers la production de céréales en général, et de blé, en particulier.

Les précipitations étant pratiquement inexistantes, les agriculteurs utilisent la méthode d'irrigation intégrale de leur cultures par le système pivot, qui demande une mobilisation de

quantités d'eau très importantes (50 à 70 l/s pour un pivot de 54 ha) provenant soit des nappes peu profondes, soit de l'Albien.

La méconnaissance des besoins en eau des cultures par les agriculteurs entraîne un gaspillage de quantités considérables d'eau, avec toutes les conséquences que cela entraîne (MOUHOUCHE et SIOUSSIOU, 1996):

- gaspillage d'eau;
- gaspillage d'énergie pour le pompage et le transport d'eau;
- dans certains cas, refroidissement de la température du sol, particulièrement en période hivernale;
- création d'une situation d'hydromorphie temporaire, avec toutes les conséquences sur la physiologie de la plante;
- perte de quantités importantes d'engrais solubles par percolation profonde;
- pollution des nappes superficielles;
- accélération du processus de salinisation du sol (le drainage des eaux salées provenant du lessivage des sels étant complètement méconnu).

Les zones arides et semi-arides se caractérisent par

- une évapotranspiration très élevée;
- une forte salinité de l'eau et du sol

Pour cela, dans notre étude, nous essayerons de mettre l'accent sur trois points particuliers qui sont en liaison directe avec le phénomène de non maîtrise des besoins en eau des cultures et sa conséquence sur le devenir du milieu écologique des zones arides et semi-arides (salinisation des sols)

- importance du phénomène de gaspillage d'eau et sa conséquence sur le risque de salinisation des sols;
- gestion des sols salés ou qui risquent de l'être;
- nécessité d'évacuation des eaux de lessivage.

MATERIEL ET METHODES

Afin de sensibiliser les agriculteurs utilisateur du système d'irrigation par pivot sur le risque de gaspillage de l'eau et de salinisation des sols, nous avons réalisé deux expérimentations en 1994 et 1995.

La première a été menée dans la wilaya de Ghardaïa, et la seconde dans la wilaya de Ouargla.

Les mesures effectuées sur le terrain sont:

- mesure de l'évapotranspiration maximale (ETM) de la culture par la méthode lysimétrique;
- mesure de pertes d'eau et des engrais par percolation profonde au moyen d'un lysimètre;
- mesure des niveaux de salinité de l'eau de drainage au niveau du percolat drainé par le lysimètre;
- mesure de la répartition spatiale de l'eau effectivement stockée dans la frange de sol prospectée par les racines selon la méthode de HART (1979);
- comparaison de l'effet de la mauvaise répartition de l'eau sur les composantes du rendement du blé.

CONTRIBUTION A UNE MEILLEURE MAITRISE DES PERTES EN EAU D'IRRIGATION ET DE LA SALINISATION DES SOLS EN ZONES ARIDES

B. MOUHOUCHE¹ et M. BOULASSEI²

¹ Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie (ENASA) ex (INA)

Département de Génie Rural - El-Harrach, 16200, Alger

² Institut National de la recherche Agronomique (INRAA) El-Harrach 16200, Alger

Résumé

Afin de quantifier le phénomène de salinisation des sols provoqué par la non maîtrise des quantités d'eau d'irrigation intégrale de la culture du blé, nous avons réalisé deux expérimentations en 1994 et 1995, respectivement dans les wilaya de Ghardaïa et Ouargla.

Nos expérimentations sont conduites sous système pivot afin de caractériser la conduite des irrigations sous ce type d'appareil.

Les résultats obtenus montrent une très mauvaise maîtrise des principes de base pour une bonne gestion des irrigations, provoquant ainsi une anarchie dans l'application des doses d'irrigation, qui varient de 150 à 425% des besoins ETM définis sur la base de deux sillons lysimétriques.

La comparaison des besoins en eau de la culture définis par la méthode dite directe (méthode lysimétrique), et la méthode informatique (logiciel CROPWAT) montre que le CROPWAT majore les besoins, sauf pour la période allant du 15 Avril à la maturation. Ainsi, le rapport des deux méthodes varie de 4 pour la 2ème décennie de Février à 1 pour la 2ème décennie d'avril, et 0,75 pour la 3ème décennie d'Avril.

La mesure de la salinité du percolat des lysimètres montre un taux de salinité extrêmement élevé, puisque la conductivité électrique (CE) a évolué de 10 mmhos/cm durant le mois de Février, à 20 mmhos/cm à la fin du cycle.

Concernant l'uniformité d'irrigation dans l'espace (sous le pivot), et dans le temps (durant le cycle), elle est considérée comme étant d'un niveau non satisfaisant.

Mots clés : irrigation, salinité des sols, pivot, pertes en eau, Sud Algérien

INTRODUCTION

Durant les dix dernières années, le sud Algérien a connu une activité agricole très intense. Cette activité est principalement orientée vers la production de céréales en général, et de blé, en particulier.

Les précipitations étant pratiquement inexistantes, les agriculteurs utilisent la méthode d'irrigation intégrale de leur cultures par le système pivot, qui demande une mobilisation de

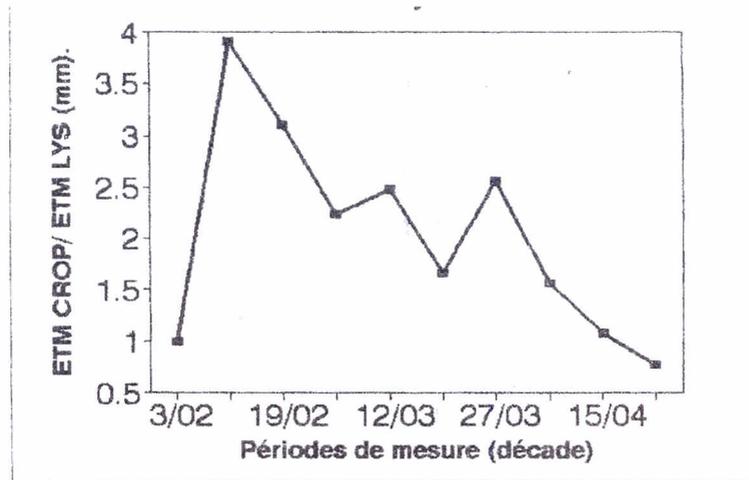


Figure 2 : Evolution du rapport ETM CROPWAT/ Lysimètre

Pertes d'eau par percolation profonde

Les mesures des quantités d'eau percolées au delà de la couche de sol prospectée par les racines durant la période du 3 Février au 15 Avril montre que les apports d'eau d'irrigation varient de 150 à 425% des besoins réels (ETM) de la culture, soit une moyenne de 250 à 300%. Durant la période de mesure, le volume d'eau gaspillé est de 8500 m³/ha, soit 425000 m³/pivot de 50 ha (fig 1, 2et 3).

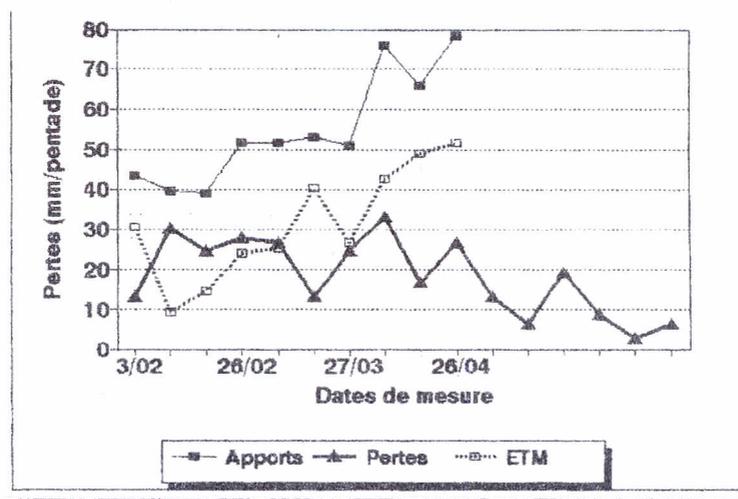


Figure 3 : Evolution des pertes d'eau durant le cycle (mm/pentade)

Le phénomène de salinisation des sols

La concentration en sel de l'eau d'irrigation varie de 3 à 6 g/l, les apports d'eau d'irrigation/ha et /an varie de 7 à 10000m³, soit 700 à 1000 l/m² /an.

Le déficit pluviométrique dans la région étant permanent, le drainage et le lessivage n'étant pas effectués, tout le sel apporté avec l'eau d'irrigation est sensé se déposer au niveau de la couche de sol humidifiée par irrigation.

En plus des mesures effectuées sur le terrain, nous avons procédé à un calcul des besoins en eau des cultures par la méthode informatique (logiciel CROPWAT), afin de comparer les besoins théoriques avec ceux obtenus sur le terrain par la méthode lysimétrique ou évapotranspirométrique

RESULTATS ET DISCUSSION

Afin de définir les quantités d'eau gaspillées, nous avons comparé les quantités effectivement utilisée pour l'irrigation avec les besoins théoriques qui doivent être apportées.

Besoins en eau de la culture

La figure (fig. 1) montre l'évolution des besoins en eau de la culture durant le cycle. Les variations de la consommation entre les phases est mise en relief, elle varie de 2 à 10 mm/j).

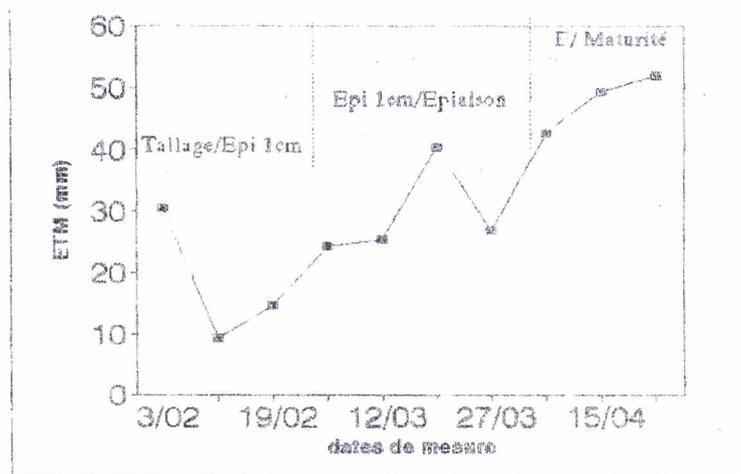


Figure 1 Evolution de l'évapotranspiration maximale pentadaire du blé (mm)

Etude comparée des besoins théoriques et de l'ETM

Selon MAATALLAH (1996) l'étude comparée de l'ETo (méthode informatique) et de l'ETM (méthode lysimétrique) montre une différence très importante, particulièrement durant la phase tallage/epi 1 cm, et faible durant la phase épiaison/maturité (fig. 2).

La figure ci dessus montre la grande discordance entre les besoins théoriques et ceux effectivement apportés. puisque le rapport $(ETM_{CROPWAT}/ETM_{lysime\grave{e}re})$ varie de 0.75 à 3.90, soit une moyenne de 2

Les besoins définis par lysimétrie durant la période de 3 mois (Février à Avril), étant de 310 mm, soit 3100 m³/ha, les besoins théoriques définis par (CROPWAT) étant doubles (6200m³/ha). La différence est de 3200 m³/ha, soit 154000 m³ pour un pivot de 50 ha.

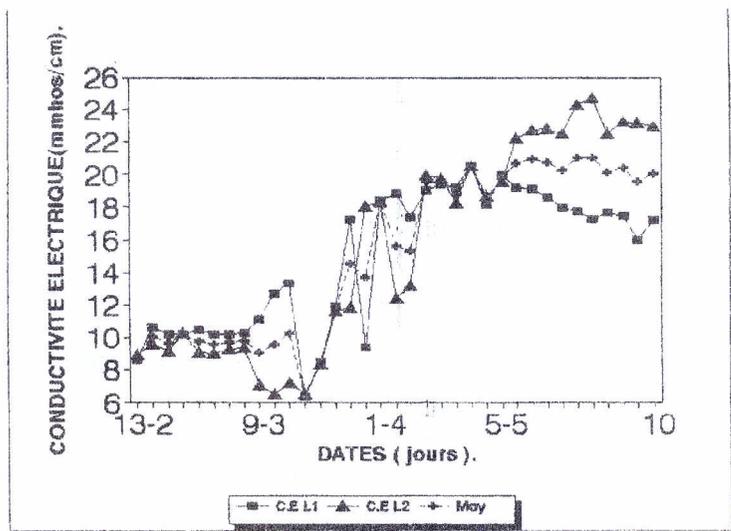


Figure 4 : Evolution de la conductivité électrique de l'Eau de drainage

Les trois mesures effectuées en 1995 montrent que la pluviométrie moyenne sous les différentes travées varie de 8 à 14 mm (fig. 5), avec un extrême pour la mesure du 2 Février 1995 qui varie de 3 à 21 mm (fig. 6).

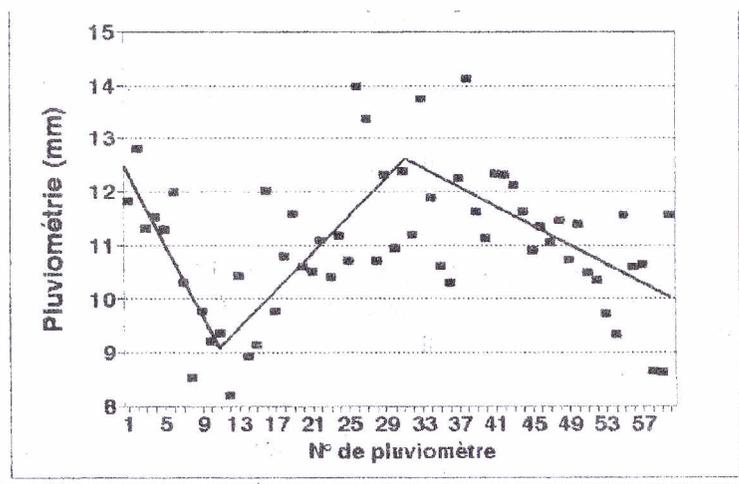


Figure 5 : Apport moyen par irrigation durant le cycle végétatif

En plus de la mauvaise répartition de la pluviométrie le long du pivot, on note que deux mesures sur trois un nombre plus important de pluviomètres enregistre une quantité d'eau supérieure à celle requise (demandée) (fig. 7), pour la mesure du 17 Avril 1995.

A titre d'exemple, en cas d'absence totale de lessivage et de drainage, et pour une eau à 3 g/l de sels totaux, soit 3000 g/m³ d'eau d'irrigation.

Pour une irrigation de 800 mm/an, soit 8000 m³/ha/an.

La quantité de sel totaux apportée par ha et par an est estimée à:

$8000 \times 3 = 24000 \text{ kg/an / ha}$, soit 2.4 kg/m²/an.

Après 10 années d'irrigation, la quantité de sel apportée est:

$24000 \times 10 = 240000 \text{ kg/ha}$, soit une concentration de sel de 24 kg/m².

L'accumulation de sel se fera sur toute la profondeur de sol humidifiée par irrigation.

Le taux de salinité du sol dépend du sens de déplacement de l'eau:

- un excès d'eau provoque une migration du sel en profondeur;
- un manque d'eau provoque une accumulation de sel dans les horizons de surface;
- la présence d'une couche de sol imperméable provoque une accélération du phénomène de salinité.

La vitesse de salinisation dépend de la profondeur de la couche imperméable, ainsi, un sol d'une profondeur de 50 cm se salinera 4 fois plus rapidement qu'un sol ayant une profondeur de 200 cm.

Un sol à texture lourde (sol argileux ou argilo-limonneux) est plus susceptible à la salinisation qu'un sol à texture léger (sol sableux).

De plus, l'opération de lessivage est plus rapide pour un sol léger que pour un sol lourd.

Le phénomène de lessivage des sels

Le contrôle de la salinité de l'eau drainée au niveau des lysimètres montre une grande différence de salinité entre l'eau d'irrigation (5 mmhos/cm) et l'eau de percolation (de 8 à 22 mmhos/cm), soit une moyenne de 15 mmhos/cm (fig 4). Ce ci montre la grande concentration de sel dans le sol.

La comparaison des seuils de tolérance des cultures au sel permet de classer le sol en question dans la catégorie des sols très salés, donc incultes pour la plupart des cultures, y compris les espèces halophytes.

L'uniformité d'irrigation

Les mesures effectuées au niveau des pluviomètres montrent une mauvaise répartition de la densité d'aspersion (pluviométrie horaire) le long du pivot (SIOUSSIOU, 1995; MOUHOUCHE et BOULASSEL 1994).

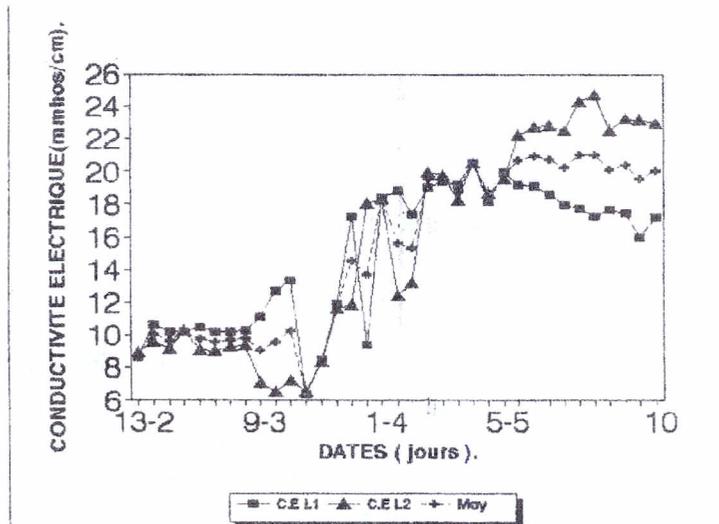


Figure 4 : Evolution de la conductivité électrique de l'Eau de drainage

Les trois mesures effectuées en 1995 montrent que la pluviométrie moyenne sous les différentes travées varie de 8 à 14 mm (fig. 5), avec un extrême pour la mesure du 2 Février 1995 qui varie de 3 à 21 mm (fig. 6).

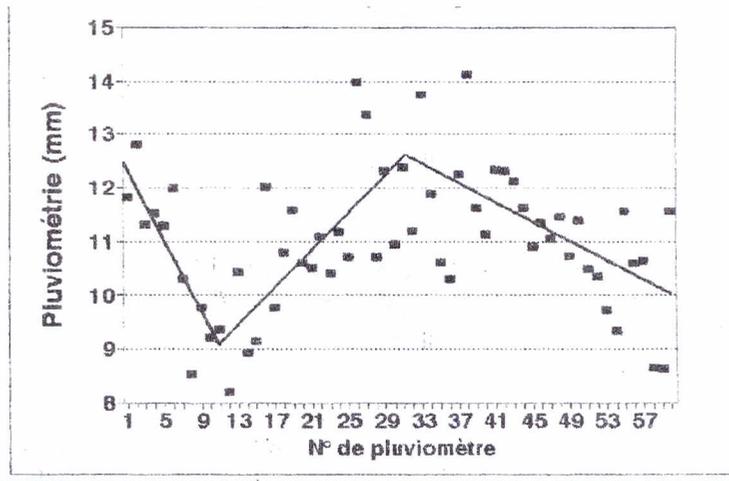


Figure 5 : Apport moyen par irrigation durant le cycle végétatif

En plus de la mauvaise répartition de la pluviométrie le long du pivot, on note que deux mesures sur trois un nombre plus important de pluviomètres enregistre une quantité d'eau supérieure à celle requise (demandée) (fig. 7), pour la mesure du 17 Avril 1995.

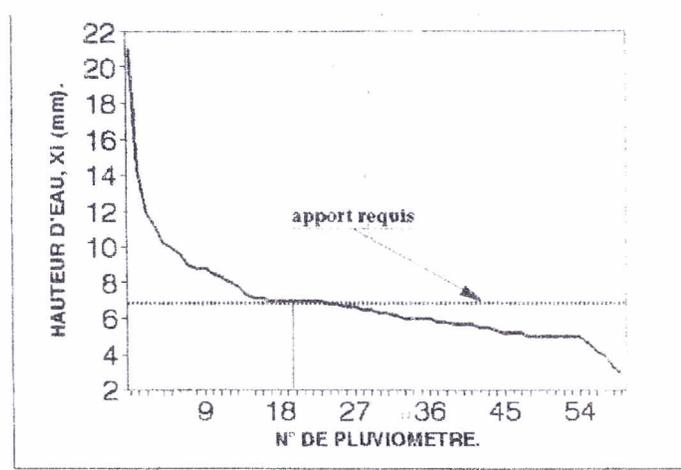


Figure 6 : Profil de distribution de l'eau en surface (09/02/95)

CONCLUSION

Les résultats obtenus montrent que la non maîtrise des principes de base régissant la détermination des besoins en eau des cultures provoque des effets dépressifs tels que:

- les pertes en eau par percolation profonde;
- en l'absence d'un réseau de drainage, et d'apport de doses de lessivage, les irrigations provoquent une salinisation progressive des couches de sol humidifiées par irrigation;
- une concentration excessive de sel dans le sol accompagnée de doses de lessivage excessives peut provoquer une salinisation des nappes superficielles;
- une percolation non contrôlée provoque un lessivage des engrais solubles (nitrates), entraînant ainsi une pollution des nappes superficielles;
- le principe d'une bonne irrigation se base essentiellement sur une bonne uniformité d'irrigation dans l'espace du pivot et durant le cycle de la culture. Le contrôle de l'uniformité d'irrigation peut se faire par simple mesure de la densité d'aspersion (pluviométrie horaire) le long des différentes travées du pivot

BIBLIOGRAPHIE

HART W. E., GIDEON P., AND GAYLORD V. (1979) - Irrigation performance: an evaluation. Journal of Irrigation and Drainage Vol. 105, n° IR3.

SIOUSSIOU R. (1995) - Caractérisation de l'irrigation sous pivot en zone aride: cas de Ghardaia. Mémoire d'ing. E.N.P. El-Harrach, 65p.

MATALLAH M. (1996) - Contribution à l'étude de la conduite des irrigations sous pivot: cas de Gaci-Touil. Mémoire d'ing. I.N.A. El-Harrach, 71p.

MOUHOUCHE B., BOULASSEL M. (1994) - Caractérisation de l'irrigation par aspersion pour une rationalisation de l'utilisation des eaux d'irrigation dans les zones arides et semi-arides. Séminaire international sur l'eau dans pays du Golf, Bahreïn 1994.

MOUHOUCHE B., SIOUSSIOU R. (1996) - Utilisation rationnelle de l'eau d'irrigation sous pivot: cas du sud Algérien. 1^{er} Séminaire Maghrébin sur l'eau, Tizi Ouzou, 1996.

L'IRRIGATION A L'EAU DE MER

ZELLA L.¹, BENAÏSSA R.², MOUHOUCHE B.³

¹Institut d'Agronomie Fax(03)433938

²Institut d'Aéronautique

Université de BLIDA

³Institut National Agronomique d'El-Harrach

Résumé

L'utilisation consciente ou inconsciente des eaux salées en irrigation est une pratique qui a longtemps intéressé les chercheurs. Dans certaines régions du globe où la seule ressource en eau disponible est l'eau salée, le développement de l'agriculture n'a été possible que par l'utilisation de cette ressource moyennant quelques restrictions et modifications.

Ces dernières, ont pour objectif soit, l'amélioration de la vulnérabilité du milieu récepteur(plante et sol) soit, l'amélioration de la qualité de l'eau pour la rendre moins nocive.

C'est dans cette perspective que nous avons mené une expérimentation afin de quantifier les conséquences limitatives de l'utilisation de l'eau de mer diluée à différentes doses d'eau douce.

L'expérience est menée sous serre sur la tomate et l'orge cultivés dans des containers remplis de sable.

Le gradient de salinité de l'eau d'irrigation allant de 1,11 à 13,5g/l a eu un impact sur les composantes du rendements provoquant une chute de plus de 50% relatif à une dilution de 15% pour la tomate. Le rendement de l'orge a régressé de 65 à 40 et 0,34 q/ha respectivement pour les traitements témoin, 15% et 50% de dilution.

Ces résultats permettent de projeter les risques engendrés par l'utilisation d'une gamme de salinité des eaux d'irrigation sur la culture, le sol et les eaux de drainage.

Mots clés : *Eau de mer, dilutions, irrigation, salinité, salinisation, tomate, orge.*

INTRODUCTION

Depuis longtemps l'utilisation de l'eau de mer en agriculture retient l'attention des chercheurs qui essaient de valoriser son potentiel dans les zones déficitaires en eau.

Sachant que l'eau de différentes salinités est utilisée en irrigation consciemment ou non, les chercheurs se sont attelés à maîtriser les effets de la salinité sur les cultures, sur le sol et leur fertilité.

Face à la situation de pénurie d'eau, les efforts ont été orientés tout azimut qui en exploitant le potentiel génétique des plantes résistantes à la salinité, qui en procédant à une distillation coûteuse de l'eau de mer ou qui en irriguant sciemment avec une certaine concentration en sels.

Notre essai expérimental s'inscrit dans cette dernière option qui pourrait être envisagée comme alternative dans des situations exceptionnelles de déficits pluviométriques.

En effet, l'eau de mer constitue un potentiel quantitatif énorme représentant 97,5% des ressources du globe néanmoins, elle se caractérise par une très large gamme de sels avec une concentration standard de 35g/l à dominance de chlorure de sodium(NaCl) qui constitue une sérieuse contrainte en irrigation. Mais l'eau de mer se distingue des eaux salées des lacs par sa richesse en microflore, en zooplancton et surtout sa saturation en oxygène à laquelle toute forme de vie est adaptée.

L'utilisation des eaux salées en irrigation est décrite dans la littérature depuis de longues dates. En Algérie, MINS(1903 in GRILLOT) avait réalisé des expériences en irriguant dans l'oasis de l'Oued righ des cultures de palmiers dattier, de luzerne, de tomate, de choux et de piment avec une eau titrant 8g/l de sels. D'autres essais ont été poursuivis par DURAND(1973) avec une concentration de 10g/l de sels. Par ailleurs, au Sud tunisien comme en Irak, l'irrigation avec une eau à 5g/l est pratiquée depuis des siècles.

Les expériences de BOYKO(1967) dans le désert du Negev ont permis de tester des concentrations allant jusqu'à 43g/l. L'impact sur les rendements agricoles, sur le sol et la contamination des nappes est spécifique à chaque cas.

C'est en s'inspirant de tous ces travaux que nous avons testé l'eau de mer diluée à diverses doses en irriguant la tomate et l'orge à la station expérimentale de l'INA. L'essai a permis aussi de quantifier les limites et les contraintes d'une telle utilisation sur les paramètres du rendement, sur le sol et sur les eaux de lessivage.

MATERIEL ET METHODES

Matériel végétal

Il s'agit de deux cultures relativement résistantes à la salinité : la tomate(*Lycopersicum esculentum*, variété *St-pierre*) et l'orge (*Hordeum sativum*, variété *Saida 183*).

Sol

Les analyses du sol ont permis de définir :

- Une texture sableuse avec 1,7% d'argile ; 1,6% de limon ; 91,9% de sable fin et 4,8% de sable grossier.
- Une densité apparente à l'état sec de 1,842 ; une humidité de rétention de 13,4% et une humidité au point de flétrissement de 5,86%.

Matière organique dans le sol

solution du sol

matière org. %	1,152	pH	8,16
C‰	6,7	C.E mmhos/cm	0,71
N‰	0,48		
C/N	13,95		

Complexe absorbant

Ca meq/100g	11
Mg „	1,35
Na „	traces
P2O5 total à P‰	22
P2O5 assim. ppm	18
K2O‰	0,85

Eau d'irrigation

Le prélèvement de l'eau de mer a été effectué au niveau de la côte de Tipaza ,cette eau présente les caractéristiques suivantes (tab. 1) :

Tableau 1 : Caractéristiques chimiques de l'eau de mer

Eléments	concentration(mg/l)	Eléments	
Ca	370	Balance des cations(méq/l)	542,5
Mg	544	Balance des anions (méq/l)	529,3
Na	11000	Somme des ions	31021
K	9	C.E (mmhos/cm à25°c)	44,6
Cl	18000	Minéralisation	27652
SO4	1000	Résidu sec à 110°c	30448
CO3H	98	pH	7,8

Dispositif expérimental

L'essai a été conduit selon un dispositif expérimental disposé en bloc aléatoire complet (BAC) fig.1 où les parcelles élémentaires sont représentées par des pots en p.v.c. de 22 cm de hauteur.

Le nombre d'objets = 6+1 témoin = 7 traitements.

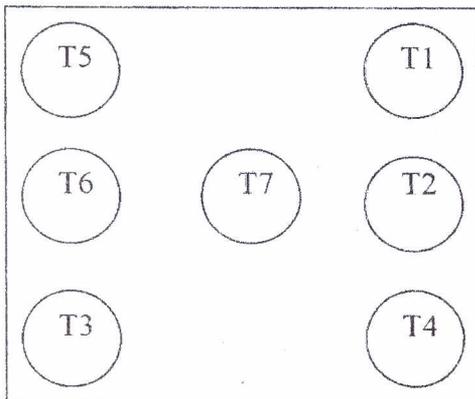
Le facteur étudié : la concentration en sel de l'eau d'irrigation.

L'unité expérimentale : 1 plant /pot pour la tomate, 4graines/pot pour l'orge.

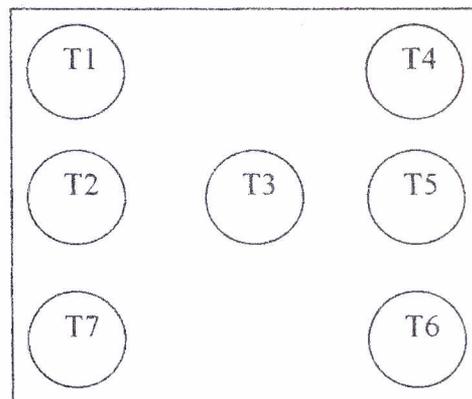
Le nombre de blocs : 4 avec 7pots/bloc soit 7traitements/bloc

Le nombre de répétition : 4

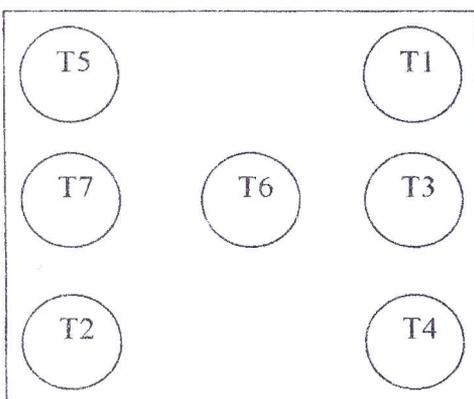
B1



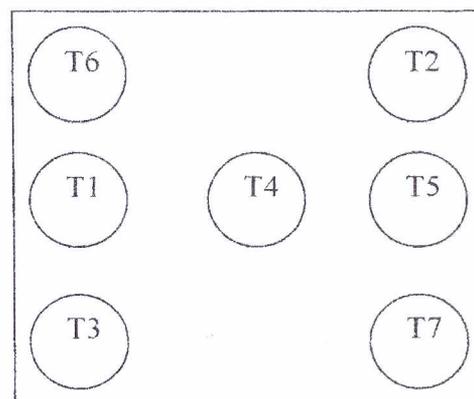
B2



B3



B4



B= Bloc
T= Traitement

Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental

RESULTATS ET DISCUSSION

Résultats

Besoin en eau de la tomate et de l'orge

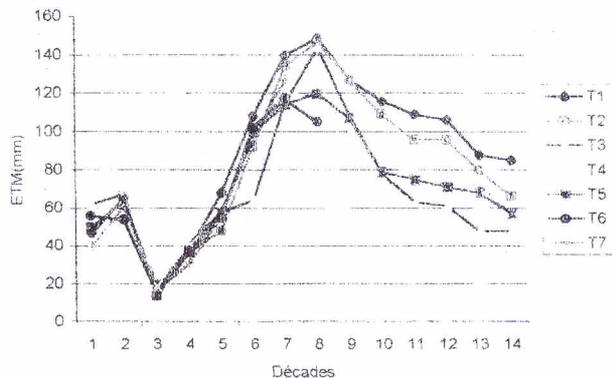


Figure 2 : ETM Tomate des différents traitements

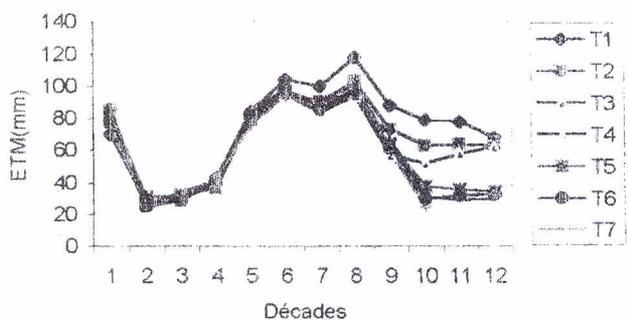


Figure 3 : ETM orge des différents traitements

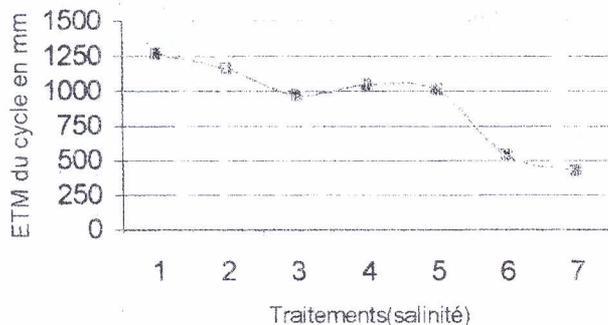


Figure 4 : Impact de la salinité sur l'ETM de la tomate

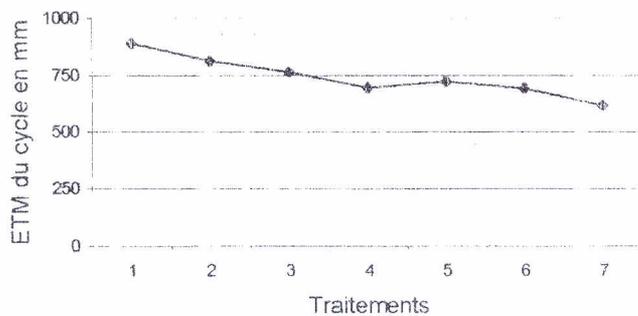


Figure 5 : Impact de la salinité sur l'ETM de l'orge

Effet sur le sol

-Sol cultivé de tomate

Traitements	SAR(méq/l)	ESP(%)	CE mmhos/cm	pH	Classification
T1	8,82	8,10	4,41	8,2	sol alcalin
T2	10,86	10,11	5,10	8,23	sol salin
T3	12,22	11,46	5,85	8,28	sol salin
T4	19,76	18,91	8,07	8,36	sol alcalin salin
T5	18,84	18,00	8,50	8,50	sol alcalin salin
T6	19,31	18,46	8,80	8,80	sol alcalin salin
T7	20,94	20,07	9,00	9,10	sol alcalin salin

-Sol cultivé d'orge

Traitements	SAR(méq/l)	ESP(%)	CE mmhos/cm	pH	Classification
T1	14,05	13,27	3,72	8,20	sol alcalin
T2	10,47	9,73	4,41	8,23	sol salin
T3	14,80	14,01	5,20	8,31	sol salin
T4	21,30	20,43	6,69	8,38	sol alcalin salin
T5	15,39	14,59	7,30	8,50	sol alcalin salin
T6	19,08	18,24	7,89	9,01	sol alcalin salin
T7	15,38	14,58	8,07	9,33	sol alcalin salin

Effet sur les plantes**Cas de la tomate**

-Effet sur le rendement , analyse de la variance

Sdv	dl	SCE	CM	F.obs.
Concentration en sels des eaux d'irrigation	4	204,336	51,084	30,922 ***
Blocs	3	1,171	0,39	
Interaction	12	18,833	1,652	
Total	19	225,34		

Sdv : source de variation
 dl : degré de liberté
 SCE : somme des carrés des écarts
 CM : carré moyen = SCE/dl
 Fobs. = CMa/CMr

conclusion : il existe des différences très hautement significatives entre les rendements des différents traitements.

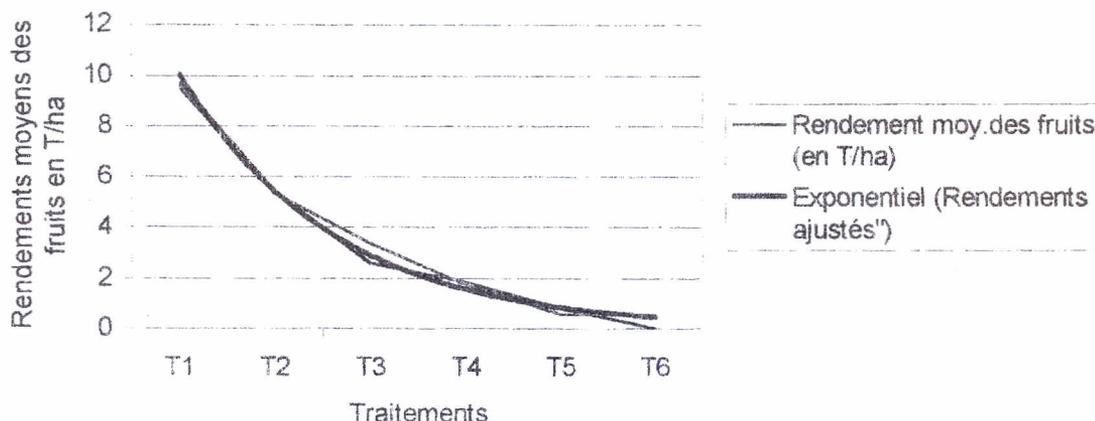


Figure 6 : Influence des différents traitements sur le rendement moyen des fruits

Pour établir ces relations, nous avons utilisé deux types de régression ; linéaire et quadratique, celle retenue doit satisfaire le coefficient d'ajustement R ou R² le plus élevé. Les rendements des fruits de tomate semblent s'ajuster selon une courbe parabolique d'équation $y = 12,92 - 3,26x + 0,21x^2$ avec R²=0,99

-Effet sur le nombre de fruit, analyse de la variance

Sdv	dl	SCE	CM	F.obs.
Concentration en sels des eaux d'irrigation	4	241,5	60,375	9,994 ***
Blocs	3	41,75	13,916	
Interaction	12	72,5	6,041	
Total	19			

conclusion : Les différences entre le nombre de fruits des traitements sont très hautement significatives

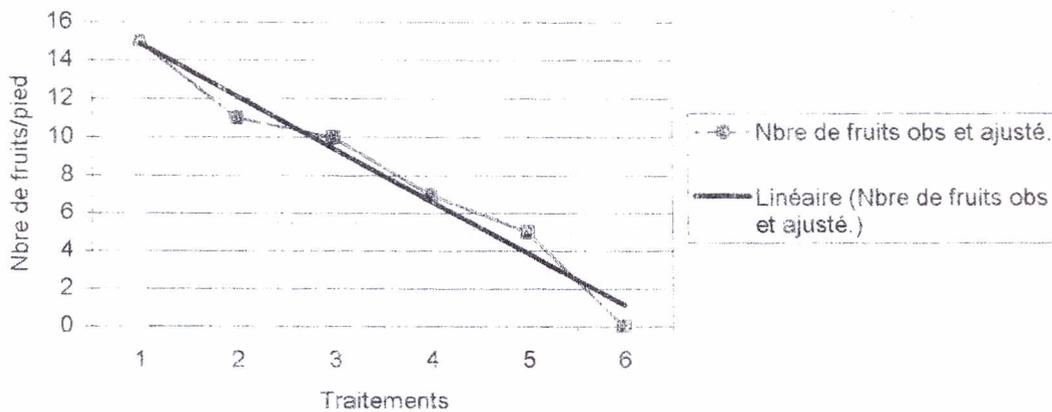


Figure 7 : Influence des différents traitements sur le nombre de fruit

$$y=16,916-1,876x, R=-0,996$$

- Effet sur le calibre des fruits, analyse statistique

Sdv	dl	SCE	CM	F.obs.
Concentration en sels des eaux d'irrigation	4	11,375	2,843	4,927 *
Blocs	3	1,45	0,483	
Interaction	12	6,925	0,577	
Total	19			

conclusion : les différences entre le calibre des fruits sont significatives.

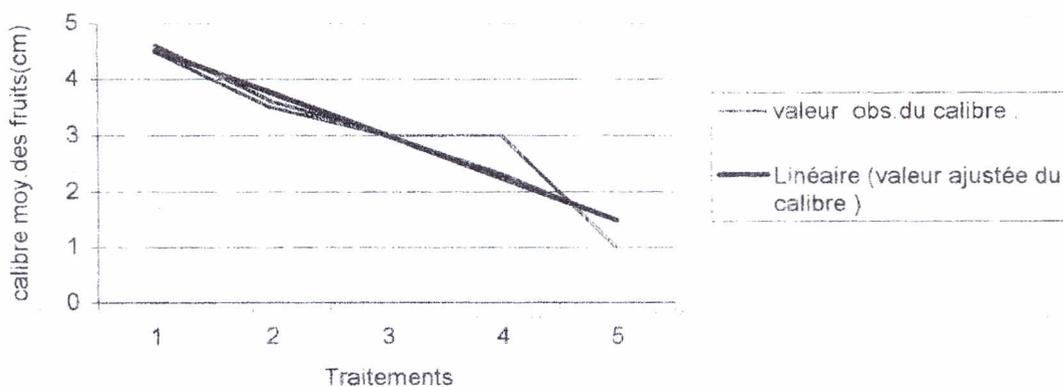


Figure 8 : Influence des différents traitements sur le calibre moyen des fruits
 $y = 5,256-0,577x, R=-0,944$

Cas de l'orge

Effet sur le rendement du grain , analyse de la variance

Sdv	dl	SCE	CM	F.obs.
Concentration en sels des eaux d'irrigation	5	7309	1461,976	38,178 ***
Blocs	3	115,986	38,662	
Interaction	15	574,463	38,297	
Total	23			

conclusion : les différences des rendements des traitements sont très hautement significatives.

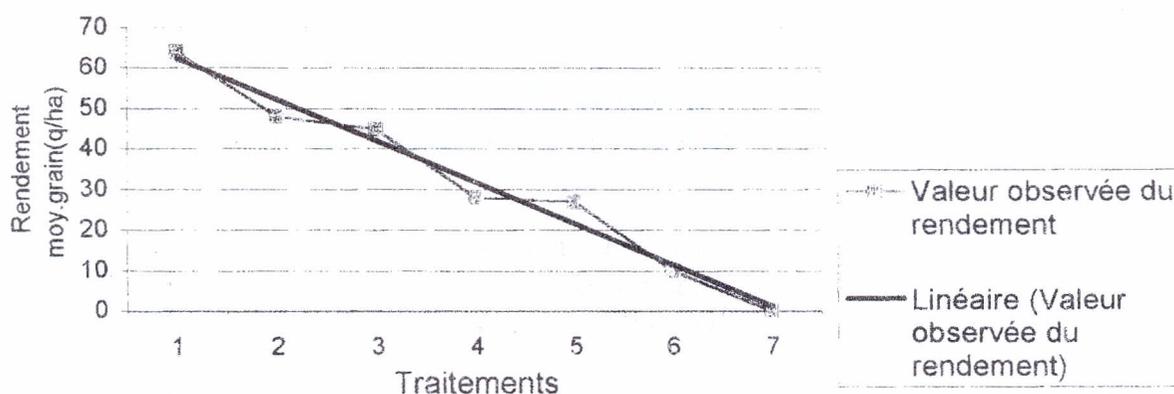


Figure 9 : Impact de la concentration en sels sur le rendement grain

$$y=63,03+5,02x, R=-0,964$$

-Impact sur le rendement de la paille, analyse de la variance

S d v	dl	SCE	CM	F.obs.
Concentration en sels des eaux d'irrigation	5	2956,438	5912,887	21,945 ***
Blocs	3	1322,426	440,808	
Interaction	15	4041,454	269,434	
Total	23			

Conclusion : les différences sont très hautement significatives entre les rendements en paille des différents traitements .

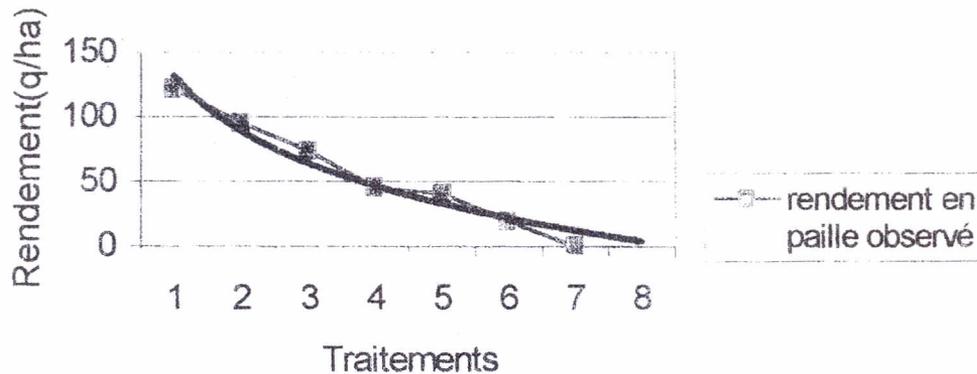


Figure 10 : Impact de la salinité de l'eau d'irrigation sur le rendement en paille

$$y=147,98-22,44x+0,86x^2, R^2=0,99.$$

Les besoins en eau des deux cultures ont été déterminés selon la méthode du bilan hydrique. L'irrigation est décidée en déterminant la teneur en eau du sol par voie gravimétrique avant chaque irrigation.

Dans les conditions de l'expérience, la tomate du témoin a consommé en évapotranspiration maximale (ETM) une hauteur d'eau de 1265mm cumulée sur tout le cycle végétatif (140j) avec un maximum durant la 8^e décade à hauteur de 149mm d'eau fig.2.

La même tendance s'observe sur la fig.3 pour la culture d'orge dont la consommation cumulée sur tout le cycle de 120jours est de 821mmd'eau pour le traitement témoin avec un maximum de 120mm à la 8^e décade.

L'examen de la fig.2 et 3 montre aussi l'évolution de la consommation d'eau pour les autres traitements et l'effet de la salinité sur l'E.T.M. Cet effet est mis en évidence par les graphiques fig. 4 et 5 permettant d'observer la régression de l'E.T.M. selon le gradient croissant de la salinité de l'eau d'irrigation qui s'accroît en fin de cycle. Les effets néfastes de la salinité apparaissent selon AYERS dès que la C.E. dépasse 2mmhos/cm pour la tomate et 5,3mmhos/cm pour l'orge accompagnée d'une chute de rendement de 10%. Dans notre cas la chute du rendement est de 50% respectivement au traitement T2 équivalant à une CE de 4,6mmhos/cm pour la tomate sachant que AYERS la fixe à 5mmhos/cm et au traitement T4 de 8,7mmhos/cm pour l'orge; fig 6,7,8 et 9.

L'évolution de la salinité du sol (effet sur le sol)provoque une succion qui entraîne un accroissement des dépenses énergétiques pour la plante lors de l'extraction de l'eau de la solution du sol. Le potentiel osmotique créé par la salinité du milieu développe une succion supplémentaire de 3,5 bars au traitement T7, ce qui explique la difficulté des plantes à s'alimenter normalement en eau d'où la chute de leur E.T.M. et aussi la diminution de l'évaporation de l'eau contenue dans le sol, sachant que l'eau salée nécessite plus d'énergie pour s'évaporer que l'eau sans sels.

Quand l'alimentation en eau se trouve ralentie, les symptômes de la sécheresses apparaissent tels, le rabougrissement, la nanisation, la défoliation et enfin le dépérissement.

Seules échappent à ce phénomène, les plantes halophytes par opposition aux glycophytes, car développant une faculté de succion très élevée pouvant dépasser 100bars alors qu'elle est au environ de 20 bars pour le commun des plantes.

Eu égard aux conditions expérimentales très spécifiques, les limites de tolérances des plantes et les effets de la salinité sont différents d'un essai à l'autre. L'essai réalisé sous serre par NOURI(1970) montre que la matière sèche augmente jusqu'à une C.E. de 12 mmhos/cm alors que HELLER(1977) trouve que la tomate supporte une concentration en NaCl de 10g/l.

Les tomates que nous avons irrigué à l'eau de mer avaient un goût salé, ce qui permet de dire que la plante a emmagasiné du sel dans ses cellules ayant cette faculté qu'en certaines plantes à développer une salinisation biologique du milieu.

CONCLUSION

L'irrigation de la tomate et de l'orge par des eaux dont la conductivité électrique varie de 1,8 à 21,7 mmhos/cm a eu un impact très significatif sur les composantes du rendement. Ainsi le rendement de la tomate a chuté de 9,5T/ha, pour le témoin, à 2,5T/ha pour le traitement T3 de 15% de dilution et 0T/ha pour le T7 de 50% de dilution. En considérant les mêmes traitements, le rendement de l'orge -grain est passé de 65 à 40 et seulement 0,34 q/ha.

Le sol sableux a maintenu sa salinité en fin d'irrigation entre 8 et 9mmhos/cm en devenant sol alcalin salin dont les pH dépassent largement la gamme normale 6,5 -8,5.

La concentration des eaux de drainage a doublé en fin de culture augmentant le risque de pollution des nappes en absence de réseau de drainage.

Cette expérience a permis de mesurer l'impact occasionné par un gradient croissant de salinité de l'eau d'irrigation. L'utilisation de l'eau de mer en irrigation présente certes des limites fatales notamment pour la culture et les nappes néanmoins, elle pourra constituer une alternative salubre dans des conditions d'extrême déficit hydrique moyennant des précautions idoines et un mode d'emploi bien spécifique.

BIBLIOGRAPHIE

- USDA - Diagnosis and improvement of saline and alkali soil, USSL, agriculture handbook , n°60 pp10-30.
- ZELLA L. (1983) - Essai expérimental d'irrigation à l'eau de mer à différentes dilutions sur la tomate et l'orge. Th. d'ing. INA El-Harrach Alger, 113P.
- AYERS R.S., WESTCOT D.W. (1976) - La qualité des eaux d'irrigation en agriculture, bull.d'irrig.drain., n°29, FAO, Rome, 81p.
- Grillot G. et al (1957) - Recherches sur les zones arides, utilisation des eaux salines UNESCO, 107p.
- Nouri et al (1970) - Influence of soil salinity on production of dry matter and uptake distribution of nutrients in barley and corn , agro.journ.n°1,vol.62., jan.feb., pp43-43.
- Boyko H., al (1967) - Principles and experiments regarding direct irrigation with highly saline and sea water with desalination.N.Y. acad.sci.Trans.(ser.2)26, pp1087-1102.
- Heller R. (1977) - Physiologie végétale,T1, éd. Masson, pp117-118.
- Durand J.H.(1973) - Utilisation des eaux salines en irrigation, bull. tech. d'irrig.n°276, pp40-57.

التوزيع الرطوبي و الملحي في المنطقة الجذرية لنبات الذرة الصفراء (Zeamayz L.) باستخدام طريقة الري بالتنقيط.

حمودي صاعد عبد الأمير

معيد الري ، المركز الجامعي حسيبة بن بوعلي - الشلف

م.ب. 258 ، الشلف 02000

ملخص

تمت الدراسة على نمط التوزيع الرطوبي و الملحي في المنطقة الجذرية لنبات الذرة لصفراء أفقيا و عموديا في مركز المنقطات و ذلك للوقوف على مدى للتأثير على إنتاجية المحصول المزروع حيث يلعب توزيع و عمق المجموعة الجذرية في البيئات الجافة و الشبه الجافة دورا مهما في كفاءة استعمال الماء للحصول على الإنتاج الاقتصادي للمحصول حيث يتأثر نمو الجذور بعوامل عديدة مثل صلاحية التربة و الظروف البيئية و إدارة التربة و الماء. و قد بينت النتائج بأن هنالك علاقة ارتباط معنوية بين المسافة المبثلة في موقع المنقطات و المنطقة الجذرية و إنتاجية المحصول. كما أن حركة و تجميع الأملاح يتعدان عن موقع المنقط كلما زادت كمية مياه الري المستخدمة.

في هذه الدراسة تم استخدام مصلحات التربة و ذلك للوقوف على مدى تأثيرها على التوزيع الرطوبي و الملحي في المنطقة الجذرية و لأعماق التربة المختلفة و حيث أن قوام التربة هو مزيجي رملي فإن استجابة هذه التربة للمصلحات يكون إيجابيا مما يعطي إنتاجية أفضل للمحصول المزروع و أن أفضل المصلحات المضافة هو خليط الطين و المادة العضوية حيث أعطت المعاملات التي استخدم بها هذا الخليط إنتاجا أعلى مقارنة باستخدام مصلحات الطين أو المادة العضوية كل على انفراد. كما استخدمت في الدراسة معاملات لتغطية سطح التربة حول النبات مما كان له تأثيرا معنويا على زيادة الإنتاجية من خلال السيطرة على فقدان الماء بواسطة التبخر و المحافظة على رطوبة التربة العالي

مفتاح الكلمات:

التوزيع الرطوبي و الملحي، منظومة الري بالتنقيط، محصول الذرة الصفراء.

المقدمة

تعتبر طريقة الري بالتنقيط من التقنيات الحديثة المستخدمة في الري في المناطق الجافة و شبه الجافة ذات المصادر المائية القليلة وفي المناطق ذات النوعيات الرديئة من مياه السقي ويتم السقي عن طريق المنقطات حيث يتحرك الماء أفقيا وعموديا من موقع المنقط مما يؤدي إلى ترطيب المنطقة الجذرية للنبات حيث يكون النمو المكثف للجذور في المنطقة الرطبة حول المنقط كما أشار إلى ذلك (Roth, R. L, 1974). كما لوحظ بأن استخدام مياه ذات تراكيز ملحية عالية له تأثير سيئ على إنتاجية المحصول حيث تتراكم الأملاح في التربة على هيئة طبقات غير منتظمة كما أشار إلى ذلك (Shani, S. 1975). حيث درس العديد من الباحثين تأثير صلابة التربة و التي تؤثر بدورها على الكثافة الظاهرية للتربة على قوة مقاومتها لتربة للإختراق كلما قلت رطوبة التربة مما يؤثر على نمو و امتداد الجذور و بالتالي الإنتاج حصول.

(Taylor, H. M. ; etal. 1966, Al-Azzawi, H. F. etal 1989, Daghistani, S.R. 1984,

Logsdon, S. D., 1987, Mirreh, H. F. etal, 1972)

و قد ذكر (Taylor, H. M. ; etal. 1966) بأن توزيع الرطوبة في التربة تم نظام الري بالتنقيط يكون ذا تأثير كبير على نمو الجذور حيث أدت زيادة التصريف إلى انتشار الجذور في مساحة أوسع و لاحظ (Goldberg, S. D., etal 1971) بأن إنتشار الجذور ، من بصورة رئيسية عند السطح أي ضمن عمق 15 سم من مقد التربة و كان هناك إختلاف في توزيع الجذور أفقيا حيث قلت كميتها أسفل المنقط و إزدادت عند منتصف المسافة بين المنقطات و مع هذا كان هناك إنخفاض في كمية الجذور مع العمق (Earl, K. D. ; etal 1977) لذا كان من الضروري دراسة حالة عدم التماثل في التوزيع الرطوبي و الملحي في الترب ذات النسجة الرملية مع دراسة تأثير تغطية التربة على نظام التوزيع و ذلك باستخدام مصلاحات التربة المختلفة حيث إن المصلحات لها تأثير إيجابي على الصفات الفيزيائية لهذه التربة و زيادة السعة التخزينية للماء في التربة (Unger, P. W. ; etal 1968), كما أدخلت معاملة تغطية التربة باستخدام مادة

(Polyethelene)، و ذلك لدراسة التأثير في التقليل من تبخر المياه و المحافظة على رطوبة التربة و بالتالي ترشيد استخدام المياه لضمان أفضل للإنتاج.

المواد وطرق العمل

أجريت هذه التجربة على تربة مزيجية رملية كانت مزروعة سابقا ببعض محاصيل الخضار و كانت المساحة المستخدمة تبلغ (4420 متر مربع) تم حراثة التربة و بصورة متعمدة. شملت منظومة الري بالتنقيط على خط رئيسي بقطر 50 مم ، وخطوط فرعية بأقطار 15 مم و بطول 40 مترا و كانت المسافة بين المنقطات على الخط الفرعي 40 سم و المسافة بين الخطوط الفرعية 150 سم. تم دراسة الصفات الفيزيائية و الكيماوية للتربة كما موضح بالجدول (1،2) و الجدول (3) يبين الصفات الكيماوية لمياه الري و تم استخدام المياه الجوفية لري المحصول و شات التجربة على استخدام معاملات مختلفة للرطوبة و بنسب (50 %، 75 %، 100 %) من قيم عدلات التبخر المقاسة بواسطة حوض التبخر (Class A pan) و باستخدام تصريف للمنقل مقدار 0.80 لتر في الساعة و في تحديد كميات مياه السقي و التي بلغت 896 ملم في موسم نمو الذرة الصفراء للدورة الخريفية مع إضافة كمية المياه لغرض الغسيل تبلغ 20 % من كميات مياه السقي، و قد تم استخدام معاملتين من حيث التغطية بمادة (Polyethelene) و ذلك لتوفرها في الأسواق و لرخص ثمنها. و في المعاملات التي استخدمت بها مصلحات التربة فقد تم استخدام للتربة الطينية (C) و المادة العضوية (O) و خليط التربة الطينية و المادة العضوية (C+O) إضافة إلى معاملة المقارنة (S) التي لم يتم استخدام أي مصلح لها. تم إضافة مصلحات التربة بمقدنر 30 م³ في الهكتار لكل منها و تم وضعها على خطوط الزراعة حسب مخطط التجربة و تم خلطها بالتربة الأصلية حتى العمق المحروث و تم تحديد المستوى الرطوبي للتربة على الأبعاد (0، 30، 60 سم) أفقيا و عموديا من مركز المنقط و بصورة مستمرة خلال كل فترة معتمدة لتحديد كمية مياه الري و ذلك باستخدام مكعبات الجبس المدفونة في المنطقة الجذرية باستخدام جهاز (Bouyoucos Moisture meter) موديل BN-2B.

زرعت بنور النرة الصفراء صنف Nelium في جور على طول خط التنقيط و كانت المسافة بين جورة و أخرى 40 سم، تم التسميد بـ 200 كغ (سوبر فوسفات الثلاثي/هكتار) على دفعة واحدة قبل الزراعة و سماد اليوريا N (46 %) بمقدار 200 كغ/الهكتار على دفعتين الأولى بعد الإنبات و الثانية قبل فترة التزهير و تم حساب وزن الجذور عموديا بعد الحصاد و ذلك بوضع اسطوانة بقطر 60 سم فوق التربة بحيث يكون النبات في مركزها و رفعت عينات التربة مع الجذور بشكل طبقات كل 15 سم و لغاية عمق 75 سم حيث كان حجم التربة لكل طبقة 0.0196 متر مكعب. و تم وضعها في كيس خاص و نقلها إلى المختبر لفصل الجذور عن التربة بطريقة التعويم Flotation method ثم يتم حساب الوزن الجاف للجذور (Al-hhafaf, etal 1977) و في نهاية فترة التجربة تم حفر 24 مقد التربة بصورة عمودية على الخطوط المزروعة لغرض تحديد المساحة المبتلة في مقد التربة بحيث شملت كافة المعاملات. كما أخذت عينات التربة النهائية من الأبعاد (0، 30، 60 سم) في المنقطات و بأعماق (0، 30، 60 سم) لغرض تحديد التوزيع الملحي وتراكم الأملاح.

النتائج و المناقشة

التوزيع الرطوبي:

يتضح من الشكل (1) أن رطوبة التربة غير متماثلة في مقد التربة عموديا وأفقيا في مصدر تجهيز ماء الري (المنقطات). و أن عدم التماثل هذا يعود إلى طبيعة التجهيز المائي في منظومة الري بالتنقيط نتيجة التباين في الكميات المائية للمعاملات المختلفة. حيث يلاحظ في معاملة الزراعة في التربة الرملية (معاملة المقارنة) بأن نسبة رطوبة التربة تزداد عند مضاعفة التجهيز المائي من (50 – 100%) و لهذا يكون حجم المنطقة المبتلة في التربة دليلا على كمية المياه المجهزة و هذا يتفق مع ما أوجده (Roth, R. L., 1974) و إن زيادة حجم المنطقة المبتلة يعود إلى زيادة الحركة الأفقية و العمودية لميله الري بزيادة كمية المياه المجهزة للمعاملة (S)، و أن توزيع الرطوبة عند أي نقطة يكون متدرجا من معاملة الري القليل (50%) إلى معاملة الري العالية (100%) و يلاحظ أيضا

بالتالي زيادة السعة المائية العظمى للتربة (El - Reweiny, F. M 1974 ;
(Miller, D. E., etal 1972

كما أن إضافة خليط التربة الطينية و المادة العضوية سوف يؤدي إلى تحسين الصفات
الفيزيائية للتربة الرملية و زيادة السعة المائية العظمى لها.

التوزيع الملحي:

يلاحظ من الشكل (2) أن ملوحة التربة قد ارتفعت على سطح التربة أو في طبقات
تحت السطحية إلا أن هناك تأثيرا كبيرا لكميات المياه المستعملة في مقدار هذا التجمع و
حركة الأملاح.

كما يلاحظ أن الملوحة قد تجمعت على سطح التربة لاسيما في نهاية المنطقة المبتلة
التي تعتبر مناطق تجمع حرجة للأملاح بحيث ارتفعت كمية الأملاح في قيمتها أكبر من
من ملوحة التربة السطحية سواء ما كان منها على السطح أم في ثنايا الطبقات.

إن السبب الرئيسي لتجمع الأملاح على سطح التربة و لاسيما حافظتها المبتلة يرجع إلى
كون هذه المنطقة في مناطق الشبه الجافة و ذات محتوى مائي قليل و الذي يكون سببا
لقلة حركة الماء نحو الأسفل. إن الأملاح تجمعت في التربة المعاملة بالكميات المائية
القليلة (50%) بصورة أكبر مما هي عليه في التربة المعاملة بالكميات المائية المرتفعة
(75%) و (100%) و هذا يؤكد على استخدام كميات مائية مناسبة عند استخدام مياه
مالحة ضمن منظومة الري بالتنقيط.

و في حالة تربة المقارنة يلاحظ بأن تجمع الأملاح باستخدام كميات المياه (100%)
ساهمت في حركة الأملاح و تجمعها بعيدا عن مصدر ماء الري (المنقطات) و أن
الأملاح سوف تقترب من مصدر ماء الري كلما إنخفض معدل التجهيز المائي.

(Miller, D-E. etal 1972 ; Roth , R-L., 1974). وفي معاملات التغطية، لوحظ أن
ملوحة التربة إنخفضت بوجود الغطاء و ازدادت حركة الأملاح و تجمعها في المنطقة
البعيدة عن الغطاء، و هذا يعزى إلى أن التغطية سوف تقلل من تبخر الماء في المنطقة
الناعمة النسجة بسبب زيادة في سعة حمل الماء في الطبقات السطحية للتربة الرملية و

المغطاة سواء كانت سطحية أو تحت سطحية و بالتالي تمنع حركة الأملاح و عودتها مرة ثانية للتجمع على سطح التربة، بواسطة الخاصية الشعرية و هذا يتفق مع ما ذكره (Hilman, M. D., et al 1969) أما في حالة إضافة المادة العضوية فيلاحظ بان ملوحة التربة قد ازدادت في المنطقة السطحية عند المعاملة 50 % و ازدادت بشكل واضح عند العمق 30 سم ، 60 سم في المعاملتين 75 %، 100 % . و هذا يرجع إلى أن المادة العضوية تكون غنية بالعناصر الغذائية التي تكون سببا مباشرا في ارتفاع ملوحة التربة. و إن إضافة كمية كبيرة تساهم في إذابة العناصر الغذائية في محلول التربة و بذلك ترتفع ملوحة التربة و يتفق مع ما أوجده (Pratt, P. P., et al 1977 ; Liebhardt, W. C., et al 1975) أما عند إضافة التربة الطينية ترتفع ملوحة التربة بشكل عام و لجميع الكميات المائية و خصوصا عند العمق 30 سم و ذلك بسبب أن التربة الطينية المضافة هي أساسا مرتفعة في ملوحاتها (9.0 مليموز/سم)، لهذا قد ساهمت في رفع نسبة الملوحة و عند إضافة خليط التربة الطينية و المادة العضوية فإن الملوحة ترتفع و خصوصا عند الطبقات تحت السطحية و هذا يرجع إلى تأثير كل من المادة العضوية و التربة الطينية و مساهمتها في رفع ملوحة التربة.

أما بالنسبة لتوزيع الجذور للمعاملات الأربعة مع العمق يتبين بان أعلى كثافة للجذور كانت في الطبقة 0 — 15 سم ثم أخذت هذه الكمية بالإنخفاض مع العمق و حسب التدرج التالي للمعاملات: معاملة إضافة الطين مع المادة العضوية < معاملة إضافة المادة العضوية < معاملة إضافة الطين < معاملة المقارنة. و هذا يتفق مع ما أشار إليه

(Goldberg, S.D., et al 1971 ; Daghistani, S.R., et al 1984 ; Sielorai, H. 1985) حول تركيز الجذور في الطبقة السطحية للتربة و انخفاضها مع العمق تحت نظام الري بالتنقيط كما موضح بالجدول (4) حيث يلاحظ أن كثافة الجذور تنخفض في معاملة خليط الطين و المادة العضوية و هذا يعود إلى انتشار الجذور في مساحة أوسع في الطبقة السطحية و ذلك سبب زيادة حجم المنطقة المبتلة و هذه ما لوحظ أيضا في المعاملة المغطاة مقارنة بالمكشوفة (Al-Bayty, M. T., 1988) بينما تزداد كثافة الجذور لمعاملة

المقارنة بسبب تركيز الجذور في منطقة ضيقة أسفل مصدر التقيط تبعا لحجم المنطقة المبتلة الذي كان أصغر بهذه المعاملة حيث بين (Earl, K. D., etal 1977 ; Shani, U., 1985) بأن زيادة الرطوبة تؤدي إلى انتشار الجذور في مساحة أوسع فيما تتركز الجذور في منطقة أضيق عند الرطوبة المنخفضة.

المادة العضوية %	الكثافة الظاهرية غ/سم	النسجة	الطين %	التربة %	الرمل %	نسبة الرطوبة %	العمق (سم)
0.19	1.44	مزيجية رملية	9.6	30.4	56	42.3	0 — 30 سم
0.15	1.46	مزيجية رملية	4	26	70	41.2	30 — 60 سم
0.13	1.50	مزيجية رملية	-	18.2	81.8	40.2	60 — 100 سم

جدول (1): الصفات الفيزيولوجية للتربة

الأيونات ميلي مكافئ/لتر								EC ملموز/سم	PH	العمق (سم)
SO ₄ ⁻²	Hco ⁻	Co ₃ ⁻²	Cl ⁻	Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁺	Na ⁺			
17.75	0.14	-	37.4	2.08	3.04	0.23	21.95	7.1	8.12	0 — 30 سم
9.04	0.05	0.8	3.5	2.56	0.48	0.84	2.17	1.3	8.66	30 — 60 سم
12.31	0.09	0.4	4.1	2.58	0.38	0.23	5.43	1.4	8.63	60 — 100 سم

جدول (2): الصفات الكيميائية للتربة

SO ₄ ⁻²	Hco ⁻	Cl ⁻	Mg ⁺²	Ca ⁺²	K ⁺	Na ⁺	الأيونات ميلي مكافئ/لتر
15.17	0.09	39.3	4.19	2.61	0.46	38.4	ميلي مكافئ/لتر

6.94 = pH *

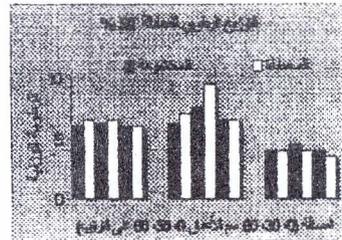
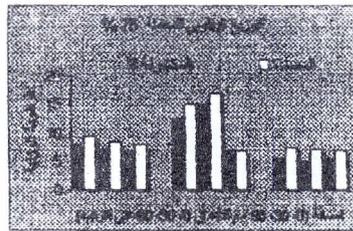
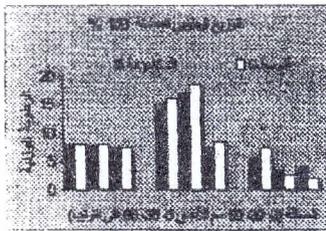
6.0 = Ec * ملموز/سم

جدول (3): الصفات الكيميائية لمياه الري

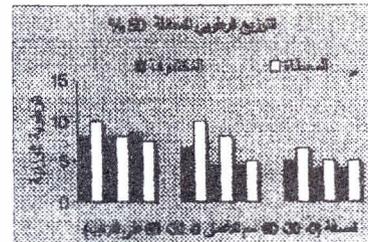
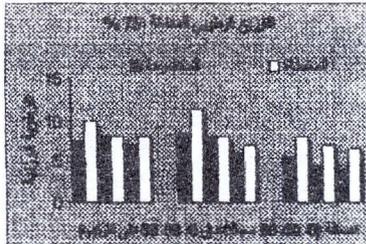
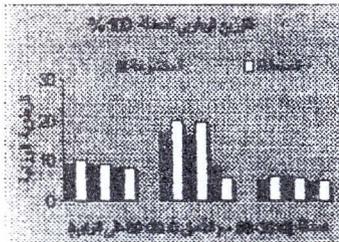
مكشوفة		مغطاة			
رطوبة التربة %	الوزن الجاف للحذور %	رطوبة التربة %	الوزن الجاف للحذور %	العمق (سم)	معاملات التربة
14.20	48.50	18.50	54.60	15 — 0	معاملة للقارنة S
18.60	26.50	18.80	24.40	30 — 15	
21.50	16.02	17.70	14.00	45 — 30	
18.50	4.40	17.50	4.42	60 — 45	
16.00	2.60	16.00	2.58	75 — 60	
17.20	51.05	21.20	58.05	15 — 0	معاملة إضافة الطين C
23.70	26.30	22.80	22.20	30 — 15	
22.90	14.50	20.80	12.48	45 — 30	
20.50	5.11	18.50	4.13	60 — 45	
17.50	3.12	17.50	3.14	75 — 60	
17.60	55.60	21.50	61.76	15 — 0	معاملة إضافة المادة العضوية O
23.60	26.20	22.70	22.04	30 — 15	
22.90	8.70	21.80	6.70	45 — 30	
21.50	5.40	20.50	5.22	60 — 45	
18.50	4.20	18.50	4.28	75 — 60	
19.70	59.90	22.80	66.98	15 — 0	معاملة إضافة خليط الطين و المادة العضوية
24.30	21.70	23.20	18.60	30 — 15	
23.20	20.50	22.20	8.61	45 — 30	
22.40	4.70	20.50	3.50	60 — 45	
17.70	3.20	17.060	2.31	75 — 60	

جدول (4): التأثيرات المختلفة للمعاملات: التربة و التغطية على النسبة المئوية للجذور

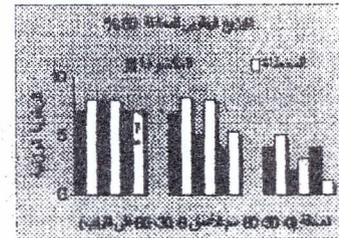
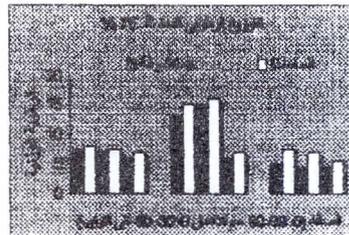
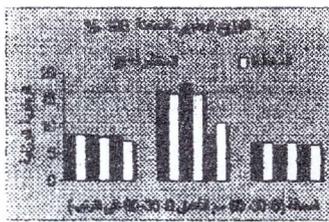
الجافة و رطوبة التربة لنبات الذرة الصفراء



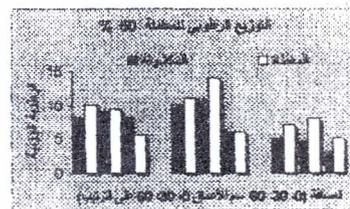
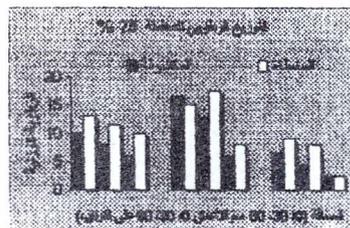
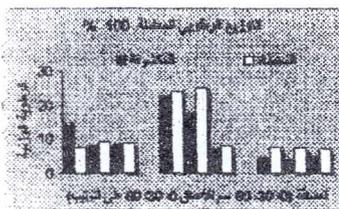
التوزيع الرطوبي للمعاملة S



التوزيع الرطوبي للمعاملة O

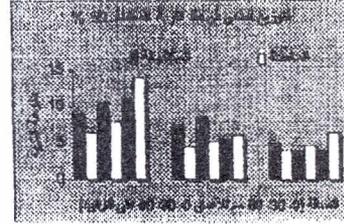
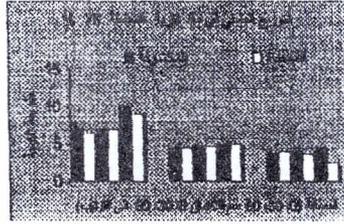
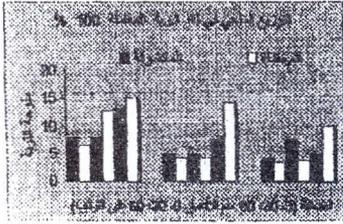


التوزيع الرطوبي للمعاملة C

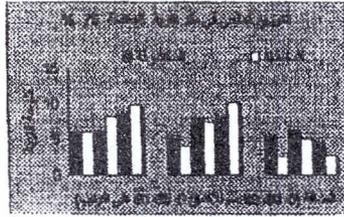
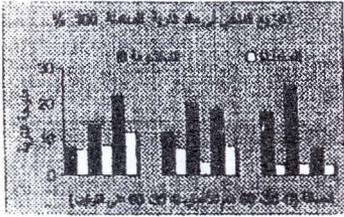


التوزيع الرطوبي للمعاملة C + O

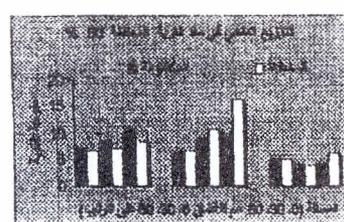
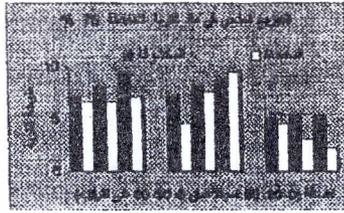
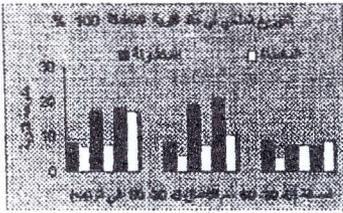
الشكل (1): التوزيع الرطوبي في مقد التربة تحت المعاملات (S, O, C, C+O) تحت تقنيتي التغطية و بدون تغطية باستخدام نظام الري بالتنقيط



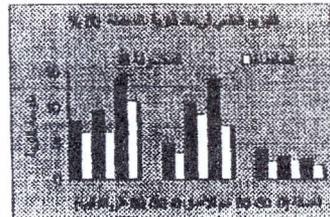
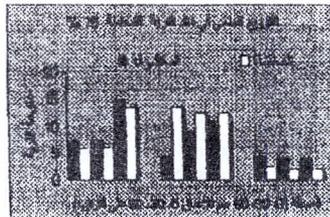
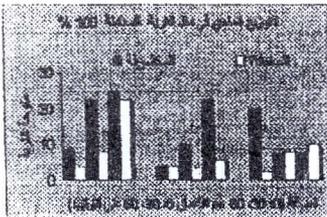
التوزيع الملحي للمعاملة S



التوزيع الملحي للمعاملة O



التوزيع الملحي للمعاملة C



التوزيع الملحي للمعاملة C + O

الشكل (2): التوزيع الملحي في مقد التربة تحت المعاملات (S, O, C, C+O) تحت تقنيتي التغطية و بدون تغطية باستخدام نظام الري بالتنقيط

المصادر

- Roth, R. L.** Soil moisture distribution and wetting pattern from a point source. Proc. Second Int. drif - irrigation congress, San Diego, California, PP. 246 - 251 (1974)
- Shani, S.** Trickle irrigation, Proc. Second int. drif - irrigation congress, San Diego, California, PP. 91 - 95 (1975)
- Karmeli, D. and J. Keller.** Trickle, irrigation Design, isted. Glendora, California, Rain Brid. Sprinkler manufacturing corporation (1975)
- Taylor, H. M. Roberson, G. M. and Parker, J. F.** Soil Strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. Soil Sci. 102 ; 18 - 22 (1966)
- Al - Azzawi, H. F., and Dougrameji, J. S.** Effect of fineness and irrigation methods on surface crusting of a silt loam soil . J. Agric- water Res. Vol. 8, 1-8 (1989).
- Doghstani, S. R. Al-Rawi, M. N, Salih, R. O., Hussain, Jack, F.** Salt and water regimes in a sitty clay soil irrigated by trickling, J. Agric. Water Reso. Res. 5 ; 61 - 74 ; (1984)
- Logsdon, S. D., Reneau, Jr., R. B. and Parcker Jr. Jc.** Corn seedling root growth as influenced by soil physical properties. Agron. J. 79., 221 - 224 (1987).
- Mirreh, H. F. and Ketcheson, J. W.** Influence of soil bulk density and matric pressure on soil resistance to penetration. Can. J. soil Sci. 52 ; 477 - 483, (1972)
- Goldberg. S. D. Gomat, B, Bar, Y.** The distribution of root, water and minerals as a result of trickle irrigation. J. Am. Soc. Hort. Sci ; 96 ; 645 - 648 (1971)
- Earl, K. D. and Jury. W. A.** Water movement in bare cropped soil under isolated trickle emitters ; II, analysis of cropped soil experiments. Soil Sci. Soc. Am. J. 41 ; 858 - 861 (1977)
- Unger, P. W. and J.J. Parker.** Residue placement effect on decomposition, evaporation and soil moisture distribution. Agron. J. 60 ; 469 - 472 (1968)
- Hanks, R.J. S.A. Bowers and L-D. Bark,** Influence of soil surface condition on net radiation, Soil temperature and evaporation. Soil Sci. 91, 233 - 238 (1961)

- Al-Khafaf, S., Wierenga, P. J., and Williams, B. C.** A flotation method for determining root mass in soil. *Agron. J.* 69 ; 1025 (1977)
- Jamison, V.C.** Changes in air-water relationships due to structural improvement of soils. *Soil Sci.* 143 – 151 (1953)
- Allison, F. E.** Soil organic matter and its role in crop production. Elsevier scientific Pub. Co. Ny, PP., 346 – 359 (1973)
- El-Reweiny, F.M. and M. K. Rushdi.** Effect of reclamation cropping on some physical and chemical properties of El-Gorieb Soil. *A ssiut. J. of Agric. Sci* 5(3), 183 – 192 (1974)
- Miller, D. E. and J. S. Aersted.** Effect of deep plowing on physical characteristics of Hezel Soil. *Washington Agric. Exp. Sta. Cir. PP.* ; 556 (1972)
- Hilman, M. D., G. L., Wieg and G. L. Gonzalez.** Sand and cotton bar mulches, Bermuda grass and bar soil effects on II-salt leaching. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 32 ; 260 – 283 (1969)
- Fruitt, P. F. and A. E. Luag.** Potassium accumulation and movement in an irrigated soil treated with animal manures. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41 ; 1130 – 1133 (1977)
- Liebhardt, W. C. and J. G. Shortall.** Potassium is responsible for salinity in soil amended with poultry manure. *Soil and fertilizers.* 38(6) ; 2115 (1975)
- Siciorai, H.** Moisture, salinity and root distribution of drip irrigated Grape fruit. *Proc. Of the Third inter. Drip/Trickle Irrig. Congr. No. 4 ;* 562 – 567 (1985)
- Al-Bayty, M. T. Kh.** Effect of emitters discharge on some properties of Al-Dour Gypsiferous soil. *M. Sc. Thesis. Soil. Sci. Dept Agriculture College, Baghdad Univ.* (1988)
- Shani, U.** Selecting dripper discharge and location to control root distribution. *Proc Of the third inter. Drip/trickele irrig. Congress No.4 ;* 718 – 723 Calif. USA (1985)

THEME III

SALINISATION DES EAUX - MISE EN VALEUR DES SOLS SALES

MISE EN EVIDENCE DU PROCESSUS DE SALINITE DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE DE TEBESSA, EXTREME EST ALGERIEN APPLICATION DE LA THERMODYNAMIQUE

L. DJABRI , A. HANI
11. Rue Asla Hocine. Annaba. 23000. Algérie.

Résumé

Pour mettre en évidence le phénomène de la salinité des eaux superficielles qui se pose dans la région du Nord - Est algérien, on a fait appel à deux méthodes, qui sont la thermodynamique et l'analyse en composantes principales.

La première a montré que les eaux de la région sont sous-saturées vis-à-vis du gypse, de la dolomie et de la calcite. La deuxième méthode est basée sur l'analyse en composantes principales et montre la répartition des sels minéraux dans la région de Tébessa, à savoir les sulfates, les bicarbonates et les chlorures. On note également une pollution des eaux par les nitrates.

Mots clés : *Tébessa, thermodynamique, salinité, ACP.*

INTRODUCTION

Les eaux de la région de Tébessa ont la particularité d'être très minéralisées. La répartition des concentrations a été étudiée à l'aide d'une cartographie. La minéralisation observée (la conductivité oscille entre 5000 $\mu\text{S/cm}$ et 15000 $\mu\text{S/cm}$) nous a conduite à chercher l'origine de la salinité des eaux. Cette dernière est due à plusieurs facteurs, tels que la géologie (trias gypsifère, calcaires, ...), les facteurs climatiques (forte évapotranspiration), la proximité du sol du niveau statique (remontée des eaux par capillarité).

Pour cerner les origines de la salinité, les parties suivantes ont été développées :

- réalisation et interprétation de la cartographie des éléments majeurs,
- utilisation de la thermodynamique.

Situation géographique

Ville frontalière avec la Tunisie, elle est située à l'extrême Est Algérien, aux portes du désert, à environ 230 km au Sud de Annaba ; elle est entourée, au Sud et à l'Est par les monts de Tébessa et à l'Ouest par le Djebel Doukkane.

Cadre géologique

L'observation de la carte géologique a montré l'affleurement de différentes formations. Sur les bordures affleurent les calcaires turoniens et maestrichiens fissurés qui jouent un rôle important dans la recharge de la nappe. Au niveau de la plaine, on remarque la présence de

formations hétérogènes qui influencent la composition chimique de l'eau au cours de son écoulement ; parmi ces formations on cite :

- Des alluvions actuelles et récentes : Formations peu importantes, constituées de cailloutis calcaires riches en Ca, Mg et HCO₃.
- Des limons récentes : On est en présence d'un réseau d'altération et de lessivage des marnes environnantes (riches en Ca, Na, Cl et SO₄).
- La croûte calcaire : Il s'agit d'une formation calcaire blanchâtre, parfois rosée, souvent d'aspect concrétionné cimentant des éléments calcaires bréchiques (riches en Ca, Mg et HCO₃).
- Des brèches et cailloutis d'épandage ancien : Brèches encroûtées qui sont en général des formations de pentes ; les éléments calcaires sont anguleux (riches en Ca, Mg et HCO₃).
- Le plio-quatenaire : Les éléments de ces formations ont un bord arrondi, une mauvaise sphéricité et sont cimentés par des argiles (riches en Ca, Na, Cl et SO₄).
- Le pliocène : Constitué d'argiles rouges et de conglomerats sableux riches en Ca, Na, Cl et SO₄.
- Le Trias : Apparaît au niveau du Djebel Djebissa, riches en Ca et SO₄.

Climatologie

Tébessa est caractérisée par un climat semi-aride. Les précipitations annuelles sont de l'ordre de 400 mm/an. L'E.T.R calculée atteint 350 mm/an. La RFU est égale à 25 mm (confirmée par J.C. FONTES, en utilisant les isotopes dans la région de Béni Abbés, pour une nappe de sept (07) mètres de profondeur et par une pluie de trente millimètres par an (30 mm/an), la RFU est d'environ deux millimètres (2 mm)).

Piézométrie

Les cartes établies ont montré un écoulement général dirigé d'Est en Ouest, avec un drainage très important et très localisé de la nappe par l'Oued Kébir. Notons également un affleurement de la nappe, particulièrement dans le secteur de Bekkaria.

Cartographique hydrochimique

Les analyses réalisés nous ont permis de dresser les cartes des éléments chimiques.

On va essayer de mettre en évidence le dynamisme des eaux. Chaque interprétation se fait dans l'ordre chronologique suivant : hautes eaux 1974, basses eaux 1974 et période d'Octobre 1993.

Cartes d'évolution des chlorures

L'observation de la carte de la période de hautes eaux (1974) fait ressortir l'existence de deux zones (fig. 1a), la première concerne les fortes valeurs des concentrations ; elle se situe au Nord de Bekkaria, à l'Est et au Nord d'Ain Chabro ; les valeurs de la concentration sont de l'ordre de 200 mg/l. On pense que c'est le résultat du lessivage des marnes et des calcaires dolomitiques de la bordure Nord. Les arrivées d'eau douce constatées à Bekkaria partie sud-est et Ain Chabro partie sud-ouest, ne sont pas très importantes pour entraîner, seules, un changement de faciès chimiques lors de cette période. En effet, la deuxième carte (fig. 1b) qui touche la période de basses eaux (1974), fait ressortir le rôle prépondérant joué par les écoulements dans la nappe et les alimentations de bordures (formations sablo-

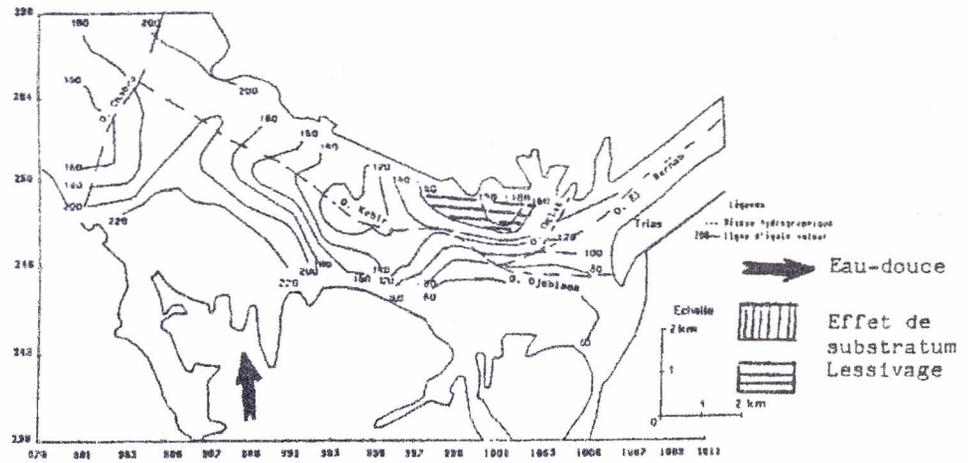


Figure 1a : Cartes d'évolution des chlorures (mg/l) Période de hautes eaux 1974.

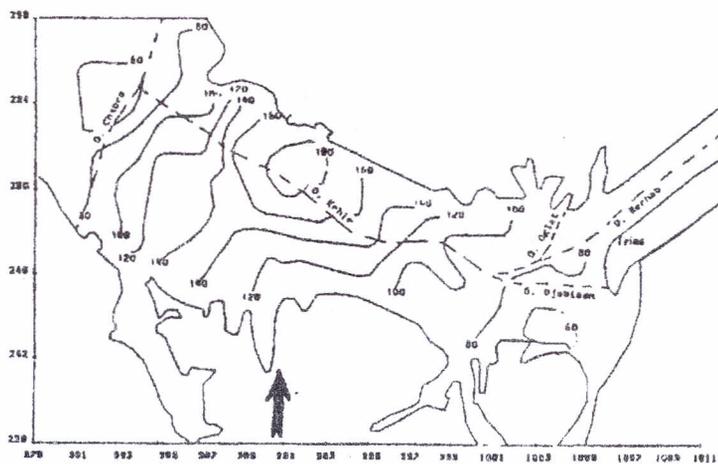


Figure 1b : Période de basses eaux 1974.

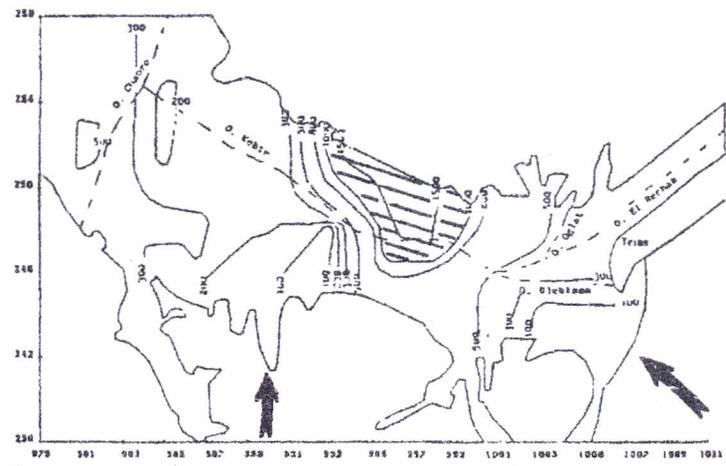


Figure 1c : Période d'October 1993

gréseuses et calcaires) qui ont entraîné la baisse des concentrations des chlorures que nous avons en période de hautes eaux. La carte concernant l'année 1993 (période de sécheresse) ressemble à la première carte (période de hautes eaux); en effet, on note une très forte concentration de chlorures au Nord de Tébessa (dans les terrains salifères). On pense que c'est le produit du lessivage des argiles rouges du pliocène (fig. 1c).

Cartes d'évolution du sodium

Les trois cartes sont analogues à celles observées précédemment, c'est à dire en période de hautes eaux (fig. 2a), le lessivage des argiles, des formations plio-quadernaires et du pliocène apparaît au Nord et à l'Est d' Ain Chabro, ainsi qu'au Nord de Bekkaria. La carte de la période de basses eaux (fig. 2b) met en évidence le changement du chimisme dû au déplacement d'amont en aval des eaux souterraines auxquelles s'ajoutent les eaux provenant des bordures Sud (calcaires et formations sablo-gréseuses). Sur la carte de 1993 (fig. 2c), comme le lessivage persiste, on peut en déduire que l'alimentation par les formations de bordures est réduite (sécheresse).

Cartes d'évolution du sulfate

On note une modification par rapport aux cartes précédentes. Les fortes valeurs se localisent à l'Est et au Nord d' Ain Chabro (fig. 3a); c'est le résultat du lessivage des argiles (plio-quadernaire et pliocène).

Lors de la période de basses eaux (fig. 3b), le déplacement des eaux souterraines (dynamique de la nappe) entraîne une baisse des concentrations. Néanmoins, on constate l'apparition d'un effet de substratum dû aux marnes (formation du Turonien inférieur, Cénomaniien moyen et supérieur), qui jouent le rôle d'une barrière hydraulique dans le secteur central.

La carte concernant la période de 1993 est analogue à la précédente, à la différence que l'arrivée d'eau douce se fait par les bordures et non par la nappe (fig. 3c).

Cartes d'évolution de calcium

En ce qui concerne la période de hautes eaux, l'arrivée d'eau douce en quantité par la partie amont a déplacé les fortes concentrations vers l'aval (Est et Nord de Ain Chabro) qui s'ajoutent aux apports d'eaux du massif calcaire de bordure (fig. 4a).

L'effet de substratum apparaît en période de basses eaux (fig. 4b), mais il est de moindre envergure, ce qui laisse présager un échange d'ions entre les marnes et les eaux douces.

La carte de la période 1993 (fig. 4c)est entièrement analogue à celle des sulfates (importance de l'effet du substratum).

Cartes d'évolution de magnésium

La carte de la période de hautes eaux (fig. 5a) fait apparaître un lessivage provoqué par les calcaires dolomitiques (formation du Turonien moyen); celui-ci est dû à l'alimentation par les bordures. En période de basses eaux, le déplacement des eaux

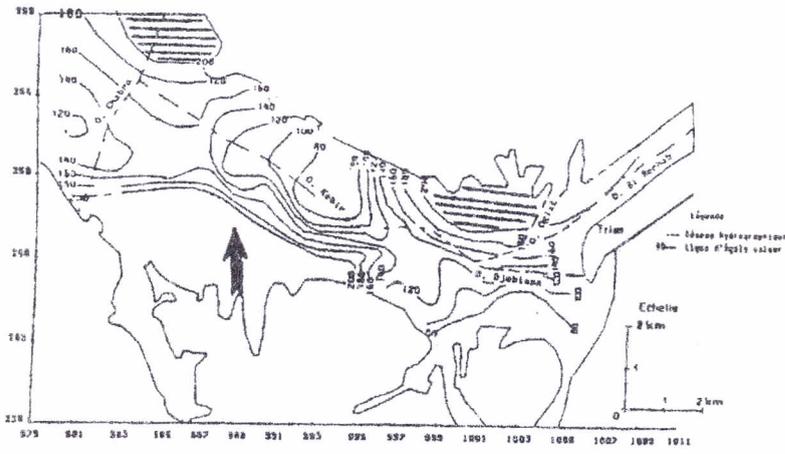


Figure 2a : Cartes d'évolution des chlorures (mg/l)-Période de hautes eaux 1974.

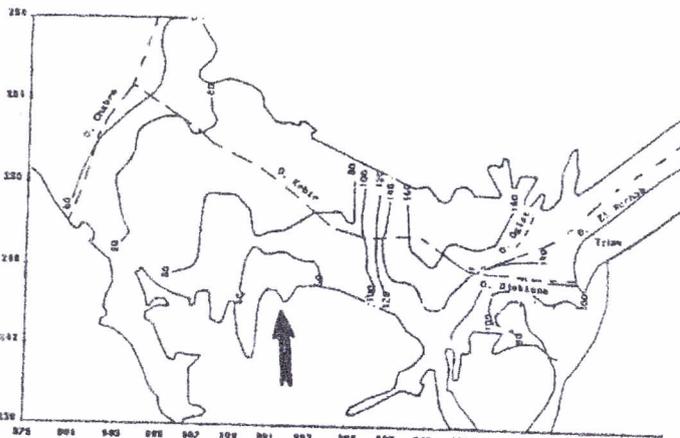


Figure 2b: Période des basses eaux 1974

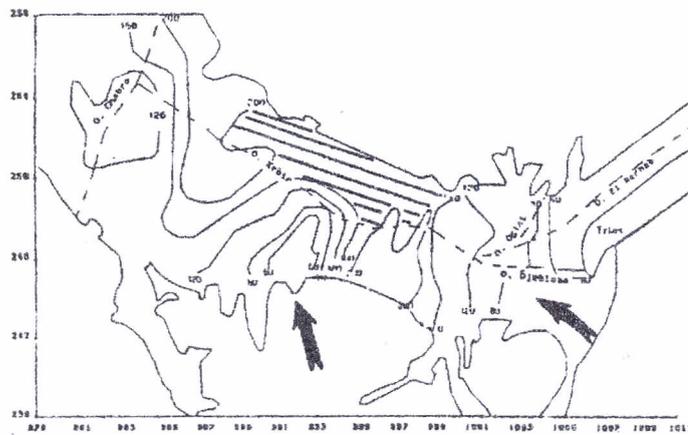


Figure 2c : Période d'Octobre

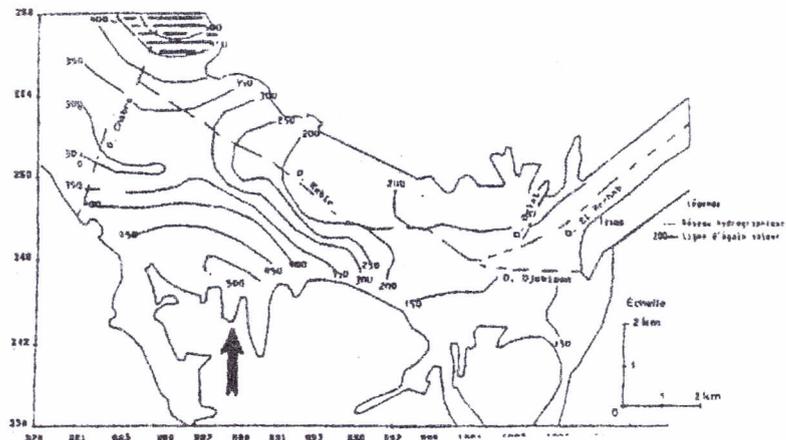


Figure 3a : Cartes d'évolution du surface (mg/l)-Période de hautes eaux 1974

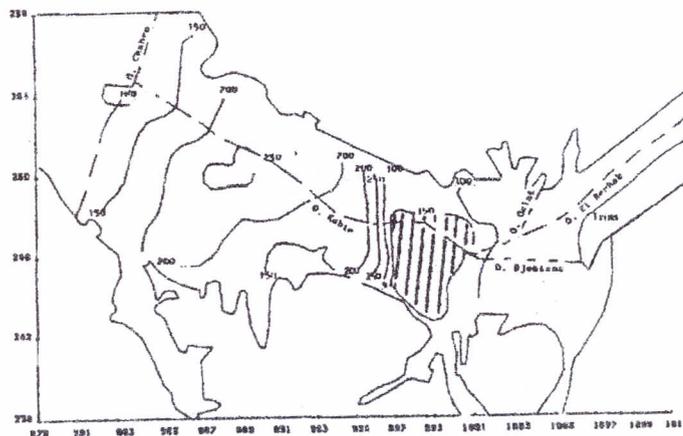


Figure 3b : Période de basses eaux 1974

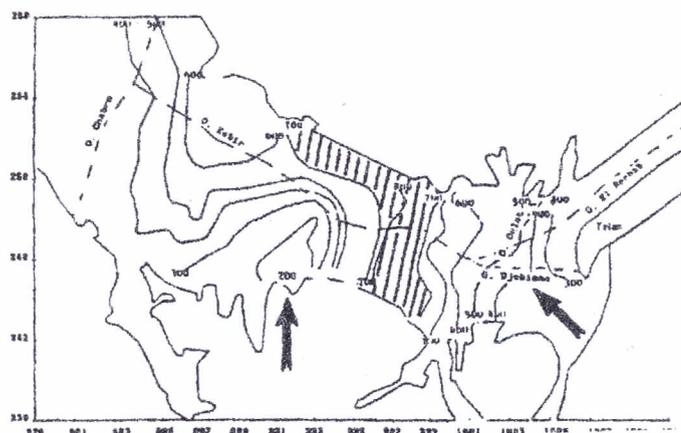


Figure 3b : Période d'Octobre 1993

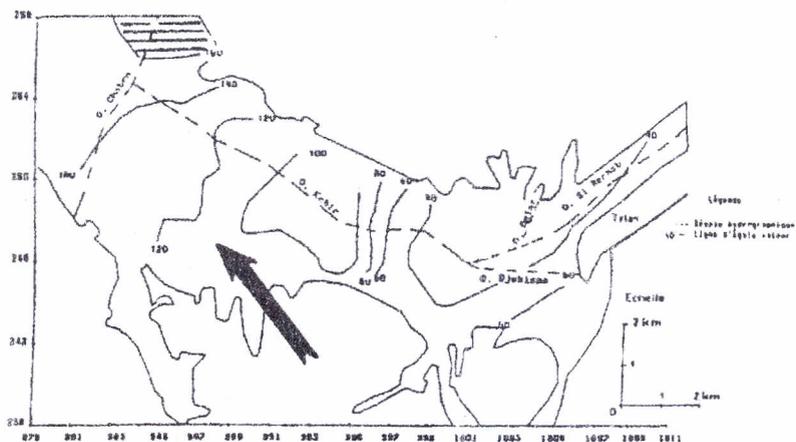


Figure 4a : Cartes d'évolution du calcium (mg/l)- Période de hautes eaux 1974

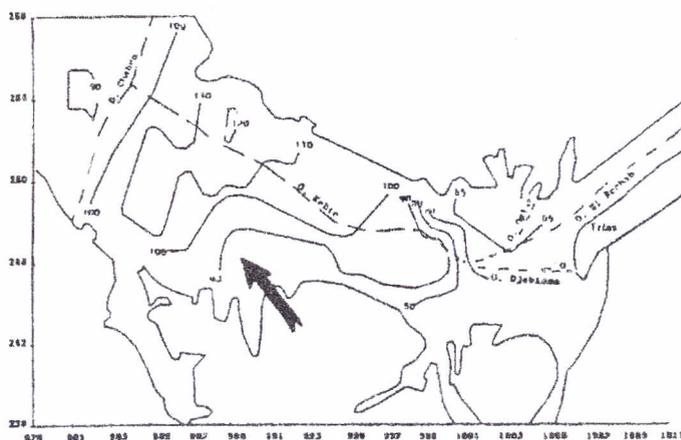


Figure 4b : Période de basses eaux 1974

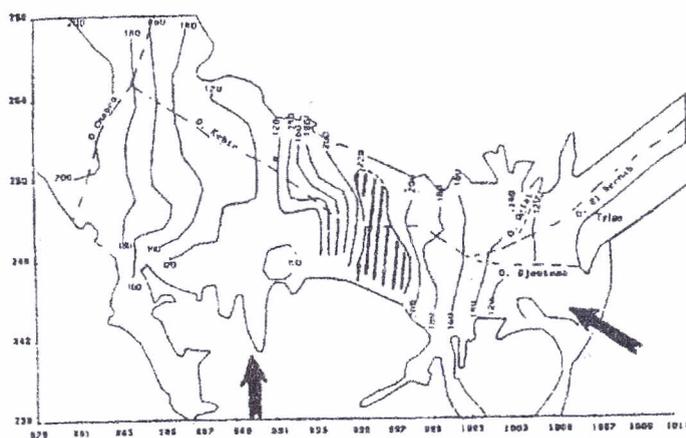


Figure 4c : Période d'Octobre 1993

souterraines fait disparaître le lessivage provoqué en période de hautes eaux (fig. 5b). Cependant, on note la réapparition de l'effet du substratum. La carte de la période de 1993 est semblable aux deux précédentes (fig. 5c).

Nous allons récapituler les résultats obtenus dans un tableau que nous commenterons.

Tableau 1 – récapitulatif des résultats obtenus.

Eléments chimiques	Période de 1993			Période de hautes eaux 1974			Période de basses eaux 1974		
	Bekkaria	Tébessa	Ain Chabro	Bekkaria	Tébessa	Ain Chabro	Bekkaria	Tébessa	Ain Chabro
Ca	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Mg	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible
Na	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Faible	Faible
Cl	Forte	Forte	Forte	Faible	Moyenne	Moyenne	Faible	Faible	Faible
SO₄	T. Forte	Forte	Moyenne	Moyenne	Forte	Forte	Forte	Moyenne	Moyenne
HCO₃	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Forte	Forte

Légende :

de 0 à 100 mg/l	→	faible,
de 100 à 300 mg/l	→	moyenne,
de 300 à 500 mg/l	→	forte,
plus de 500 mg/l	→	très forte.

En premier lieu, on note une augmentation des éléments chimiques suivants : Ca, Na, Cl, SO₄, et une baisse des bicarbonates ; le magnésium n'évolue pas, ce qui provoque la précipitation des sels rencontrés sur le terrain, à savoir, NaCl, NaSO₄ en raison des phénomènes de capillarité.

Thermodynamique

Le dépouillement des analyses effectuées a permis de connaître la composition chimique des eaux. Les éléments dominants ont été déterminés selon divers critères : activités ioniques, constantes d'équilibre, indices de saturation.

Relation activité-concentration

Si une solution de deux espèces A et B a des propriétés telles que l'énergie d'interaction entre deux molécules A est identique à l'énergie d'interaction entre une molécule A et une molécule B, la solution sera idéale. Les activités des deux espèces d'une solution idéale vont être égales à leur concentration. En solutions réelles, notamment pour les solutions des espèces ioniques dans l'eau, on n'arrive pas à ces conditions. Il existe des interactions électrostatiques entre les ions chargés et les ions sont généralement entourés par des régions dans lesquelles la molécule d'eau est arrangée selon une structure différente de celle de l'eau pure (In Awomeso, 1990).

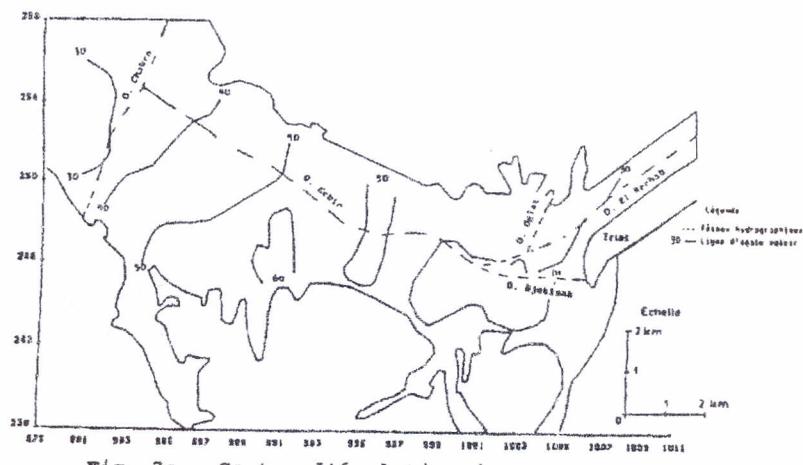


Figure 5a : Cartes d'évolution du magnésium (mg/l) – Période de hautes eaux 1974

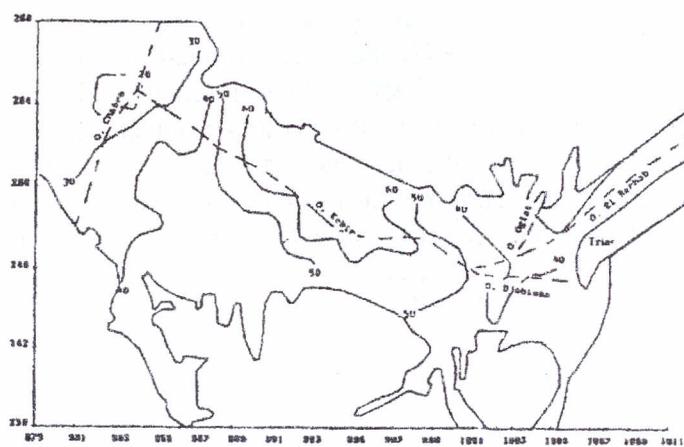


Figure 5b : Période de basses eaux 1974

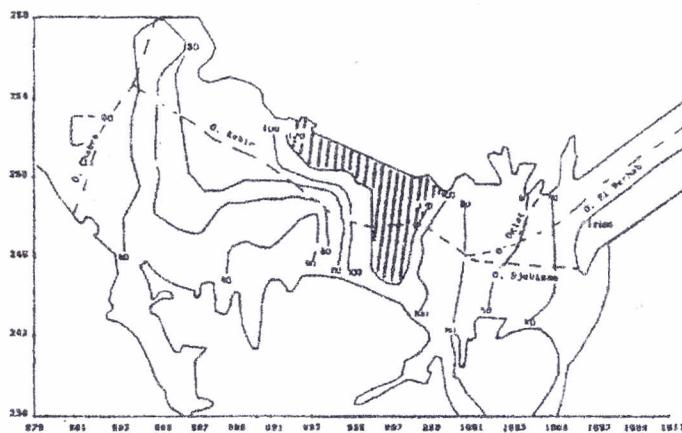


Figure 5c : Période d'Octobre 1993

Les interactions ioniques de l'eau dans une solution réelle sont la cause d'une énergie libre différente de celle de l'eau idéale et donc de la relation entre l'énergie libre et l'activité ionique. L'activité de l'ensemble du soluté et du solvant sera différente de leurs concentrations.

Le rapport de l'activité d'une espèce chimique à sa concentration est appelé le coefficient d'activité. Les coefficients d'activité des espèces non chargés peuvent être représentés approximativement par l'équation (Plummer et Mackenzie, 1974) suivante (In Awomeso, 1990) :

$$\tau = 10^{0.1I}$$

où I représente la force ionique de la solution.

Activités des espèces ioniques

La manière thermodynamiquement correcte de traiter les coefficients d'activité des espèces ioniques n'est pas posée en termes de composantes ioniques (Na, K, Cl, SO₄... etc.).

On fait appel à la théorie de Debye-Hückel et un modèle qui permet le calcul des coefficients d'activité pour un seul ion et l'effet d'une interaction ionique agissant sur l'énergie libre. Dans une solution ionique, des ions positifs vont attirer et avoir un nuage d'ions négatifs autour d'eux et les ions négatifs un nuage d'ions positifs. Les interactions sont entièrement électrostatiques et les ions autour d'un ion particulier vont suivre la distribution de Boltzmann. Il est possible de dériver l'équation du coefficient d'activité soit :

$$\text{Log } i = -AZ_i^2 \sqrt{I} \dots\dots\dots(1)$$

Où A = constante (fonction de la température T et de la pression P)

Z_i = la force d'un ion particulier i.

La force ionique (m_i = concentration molaire)

Cette équation est valable jusqu'à I = 10⁻²³

Pour I > 10⁻²³

$$\text{Log } i = -AZ_i^2 \sqrt{I} / I + Ba_0 \sqrt{I} \dots\dots\dots(2)$$

B = constante (fonction de T) et a₀ le rayon hydraté d'un ion particulier.

Pour une force ionique encore plus grande, l'équation (2) devient :

$$\text{Log } i = (-AZ_i^2 \sqrt{I} / I + Ba_0 \sqrt{I}) + C \dots\dots\dots(3)$$

Où C est une autre constante (Davies, 1962).

Application aux eaux de la nappe alluviale de Tébessa

En utilisant les calculs thermodynamiques précédents à la température de 12°C, on peut déterminer les différents facteurs pouvant influencer la composition chimique des eaux. Les calculs ont été effectués en utilisant le programme WateqB dérivé de « Water Equilibrium Formulation » (Plummer et al., 1984).

Les résultats obtenus indiquent la présence de plusieurs éléments, avec des concentrations variables, qui peuvent être importantes ou presque négligeable. Parmi ces éléments on peut noter : l'anhydrite, la calcite, la dolomite et le gypse.

L'activité ionique

Pour comprendre l'importance de cette dernière, on a essayé d'estimer la gamme de variation de l'activité des eaux. Le tableau suivant donne un aperçu sur la variation des valeurs de l'activité ionique.

Tableau 2 – Variation des valeurs de l'activité (moles/l)

Constituants	Activité ionique (Nappe)		Log activité ionique		Coefficient D'activité
	Valeur Inférieure	Valeur Ionique pe	Valeur Inférieure	Valeur Supérieure	
Anhydrite	$7,6 \times 10^{-7}$	$1,9 \times 10^{-5}$	-6,14	-4,7	-4,6
Dolomite	$2,05 \times 10^{-20}$	$1,02 \times 10^{-5}$	-19,06	-13,9	-16,7
Gypse	$7,66 \times 10^{-7}$	$1,98 \times 10^{-5}$	-6,11	-4,07	-4,6
Calcite	$1,85 \times 10^{-10}$	$1,8 \times 10^{-7}$	-9,3	-6,7	-8,01

Les valeurs d'activité ionique restent faibles de l'ordre de 10^{-4} en moyenne (log activité de l'ordre de -19,6, ce qui nous amène à dire que la concentration n'est pas directement liée à l'activité mais plutôt qu'elle résulte de la valeur de γ suivant la formule :

$$\gamma = a_i / c_i \dots\dots\dots(4)$$

avec a_i l'activité ionique et c_i = concentration de l'élément chimique.

Les valeurs du coefficient d'activité gamma ne varient pas beaucoup, elles restent presque constantes de l'ordre de -1 à 1, ce qui donne une autre origine au sel et serait liée aux sédiments. Ceci nous amène à dire que le lessivage est important dans la région et qu'il influence directement la composition chimique de l'eau.

Indice de saturation

D'après la loi d'action de masse, quand une solution aqueuse est en équilibre avec un minéral, le produit d'activité ionique pour le minéral va être égal à la constante d'équilibre thermodynamique. Le degré de saturation d'une eau peut être représenté par un indice de saturation (SI) qui est le logarithme du quotient du produit d'activité ionique IAP divisé par la constante d'équilibre (K) :

$$SI = \text{Log} (IAP/K)$$

L'indice de saturation atteint une valeur zéro quand la saturation est en équilibre avec une phase solide. Un indice de saturation positif indique une sursaturation et un indice négatif une sous-saturation vis-à-vis des minéraux.

Le tableau 3 récapitule les valeurs de l'indice de saturation

Tableau 3 – Valeurs de l'indice de saturation.

Nom de code	IAnhydrite	ICalcite	IDolomite	IGypse
J ₂₋₃	-1,12	0,97	1,64	-0,74
Laissaoui	-1,56	-1,31	-2,91	-1,19
Khelif	-0,46	1,04	2,02	-0,08
Z ₁	-1,75	0,91	1,40	-1,37
Khammage	-0,99	1,21	2,46	-0,62
T ₁	-1,87	1,06	2,06	-1,50
Station T	-1,53	0,99	1,48	-1,16
Bouakaz	-1,07	1,22	2,03	-0,70
Q ₅₋₆	-1,48	1,18	2,05	-1,11
Azizi	-1,53	1,16	2,18	-1,15
W ₂	-1,47	0,88	1,57	-1,10
Comité de Gestion	-1,28	1,24	2,44	-0,91
Bouakaz 2	-1,17	1,23	2,78	-0,80
Negrichi	-1,05	1,33	2,57	-0,68
Bestandji	-1,59	1,07	2,20	-0,22
Source Ain Chabro	-1,47	1,10	1,61	-1,09
Bouzidi	-1,50	1,08	2,26	-1,12
Mouici B	-1,21	1,29	2,61	-0,83
Zorgane	-1,22	1,35	2,78	-0,85
M ₂₋₃	-1,26	1,19	2,10	-0,89
Bouakaz 3	-1,39	1,26	2,50	-1,02
TU	-1,69	1,23	2,24	-1,32
Ain Sidi Med Chérif	-1,66	1,64	2,24	-1,28
Slim	-1,52	1,12	2,08	-1,14
Ain El Gaid	-1,36	1,22	2,28	-0,99
A 87	-1,55	0,97	1,40	-1,17
Mouici Ali	-1,06	1,46	2,89	-0,69
Ain Kissa	-1,61	1,03	1,46	-1,24
El Khanga	-1,71	0,46	0,39	-1,34
Rahmoune	-1,30	1,21	2,71	-0,93
Douib	-1,30	1,68	2,95	-0,93
Z ₁ bis	-1,69	1,16	2,16	-1,32

Application

Les quatre minéraux suivants : calcite, dolomite, anhydrite et gypse influencent la composition chimique des eaux, mais à des degrés variables.

La calcite : Seule une analyse présente un indice de saturation négatif, le reste des analyses indique une sursaturation en calcite. Ce qui laisse présager une dissolution de calcite, d'où enrichissement possible des eaux en bicarbonate de calcium.

La dolomite : Seule une analyse présente un indice de saturation négatif, le reste montre une sursaturation vis-à-vis de la dolomite expliquant ainsi l'apparition des bicarbonates de magnésium dans les eaux par dissolution des roches.

Le gypse : Toutes les analyses présentent un indice de saturation négatif, cette sous-saturation est à l'origine d'une dissolution qui enrichit les eaux en CaSO_4 .

L'anhydrite : Toutes les analyses présentent un indice de saturation négatif, ce qui indique une sous-saturation qui est liée à la dissolution enrichissant les eaux en CaSO_4 .

L'interprétation thermodynamique a permis la détermination de l'influence de quelques éléments (MgSO_4 aq, CaSO_4 aq ...) dans la composition chimique des eaux. Ces éléments qui sont en réalité des sels qui confèrent aux eaux de la région leur salinité. L'indice de saturation montre que les eaux de la région sont sursaturées vis-à-vis de la calcite, la dolomite et une sous-saturation vis-à-vis du gypse et de l'anhydrite, provoquant une dissolution continue entraînant un enrichissement des eaux par les dérivés de ces minéraux de l'amont vers l'aval de la nappe alluviale.

Pour illustrer la salinité des eaux, on a fait appel à l'analyse en composantes principales. Elle a permis de définir les associations qui semblent exister.

Analyse en composantes principales :

Pour effectuer ce traitement statistique, nous disposons des données chimiques qui sont au nombre de 32. Les analyses ont été faites sur les eaux des puits de la région de Tébessa.

La matrice des données comporte 14 variables et 32 individus. Pour le traitement, nous avons choisi cinq axes qui expriment 94,5% d'informations. Le tableau 4 exprime les valeurs propres et leurs pourcentages respectifs.

Tableau 4 : Valeurs propres et contributions

Axes	F1	F2	F3	F4	F5
Valeurs propres	5,4	3,4	1,1	0,6	0,5
Contribution	45,5%	28,8%	9,7%	5,7%	4,8%

Matrice de corrélationTableau 5 – Matrice de corrélation Plaine de Tébessa
Période du mois d'Octobre 1993.

	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	Ca	Mg	Na	K	IAN	ICAL	IDO	IGY
Cl	1											
SO ₄	0.50	1										
HCO ₃	0.11	0.19	1									
NO ₃	-0.03	-0.03	-0.43	1								
Ca	0.61	0.74	0.009	0.01	1							
Mg	0.70	0.85	0.36	-0.07	0.79	1						
Na	0.65	0.76	0.10	-0.08	0.66	0.79	1					
K	0.28	-0.02	-0.27	0.10	0.53	0.24	0.08	1				
IAN	0.49	0.87	0.31	-0.04	0.73	0.78	0.60	-0.003	1			
ICAL	-0.16	0.11	0.52	-0.16	-0.33	-0.07	-0.01	-0.88	0.19	1		
IDO	-0.07	0.22	0.64	-0.23	-0.27	0.09	0.06	-0.84	0.30	0.96	1	
IGY	0.49	0.87	0.30	-0.04	0.73	0.78	0.58	-0.005	1.00	0.19	0.30	1

Le tableau 5 présente les différentes corrélations entre les variables prises deux à deux. La signification du coefficient de corrélation est fonction du nombre d'individus traités (32), $r=0,6$, ce qui permet de dégager les associations suivantes (tab. 6) :

Tableau 6 : Associations entre les éléments chimiques

Cl - -Ca=>r=0.61	Cl - -Mg=>r=0.7	Cl - -Na=>r=0.65	SO ₄ - -Ca=>r=0.74
SO ₄ - -Mg=>r=0.85	SO ₄ - -Na=>r=0.76	SO ₄ - -IAN=>r=0.87	SO ₄ - -IGY=>r=0.87
HCO ₃ - -IDO=>r=0.64	Ca - -Mg=>r=0.79	Ca - -Na=>r=0.66	Ca - -IAN=>r=0.73
Ca - -IGY=>r=0.73	Mg - -Na=>r=0.79	Mg - -IAN=>r=0.78	Mg - -IGY=>r=0.78
Na - -IAN=>r=0.60	K - -ICAL=>r=0.79	K - -IDO=>r=0.84	IAN - -IGY=>r=1
ICAL - -IDO=>r=0.96			

L'observation du tableau montre deux formes de corrélations :

- Corrélation normale ($r > 0$), englobant la majorité des couples
- Corrélation inverse suffisante ($r < 0$), concernant deux couples (K- -ICAL, K- -IDO).

Analyses des cercles ACP

Nous allons limiter notre interprétation au cercle formé par les axes F1 et F2, car il fournit le maximum d'informations (74,3%).

Le facteur F1 (Fig. 6a) horizontal exprime 45,5% de l'information et oppose les eaux fortement minéralisées aux eaux polluées par les nitrates. On constate que la minéralisation observée est engendrée par la dissolution des minéraux présents dans les formations géologiques. Suivant l'axe vertical F2, on constate une opposition entre les eaux bicarbonatées et les eaux chlorurées. La présence des bicarbonates est liée à la dissolution de la dolomite et de la calcite. Par contre, les chlorures s'accompagnent soit de calcium, ou de sodium. La dissolution du gypse ou de l'anhydrite enrichit les eaux en sulfates. On remarque que les nitrates accompagnent le potassium, ce qui amène à dire que c'est le résultat de

l'utilisation des engrais potassiques. A noter que les autres cercles confirment les tendances observées.

Etude des individus

Le graphe des individus (Fig. 6b) met en évidence trois familles. Suivant l'axe horizontal, on note une opposition entre la famille des eaux polluées par les nitrates (cas des échantillons 4, 6, 7, 9, 16, 17, ...). Selon l'axe vertical F2, il ya opposition entre la famille des eaux bicarbonatées ou sulfatées et les eaux chlorurées.

L'analyse en composantes principales a mis en évidence les différentes compétitions qui semblent exister entre les éléments chimiques. Les indices de saturation expliquent l'origine minérale des eaux. L'analyse thermodynamique met en évidence la dilution et le lessivage présents dans la région.

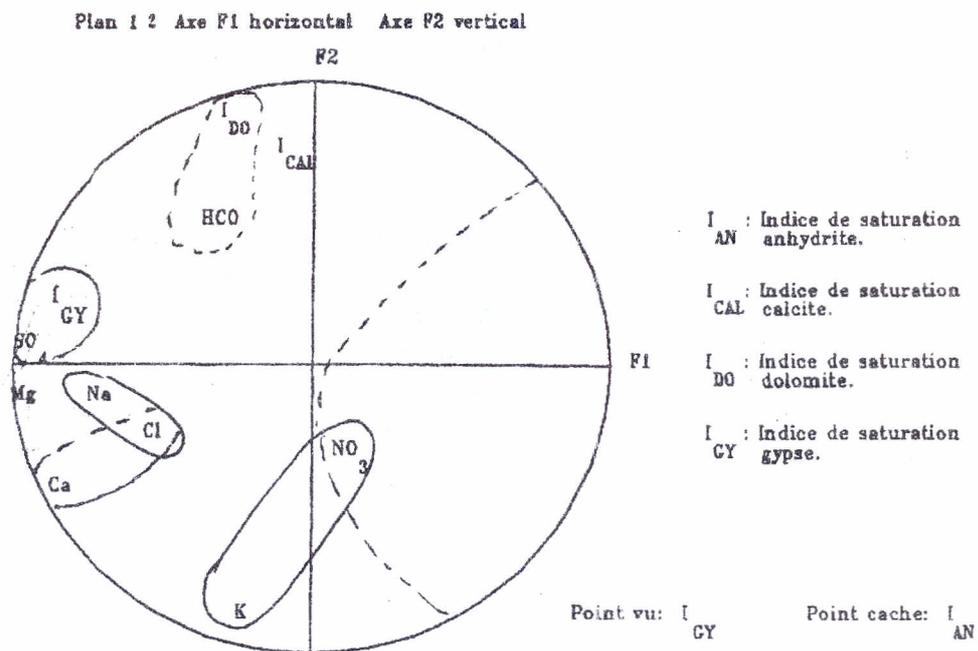


Figure 6a : Cercle ACP

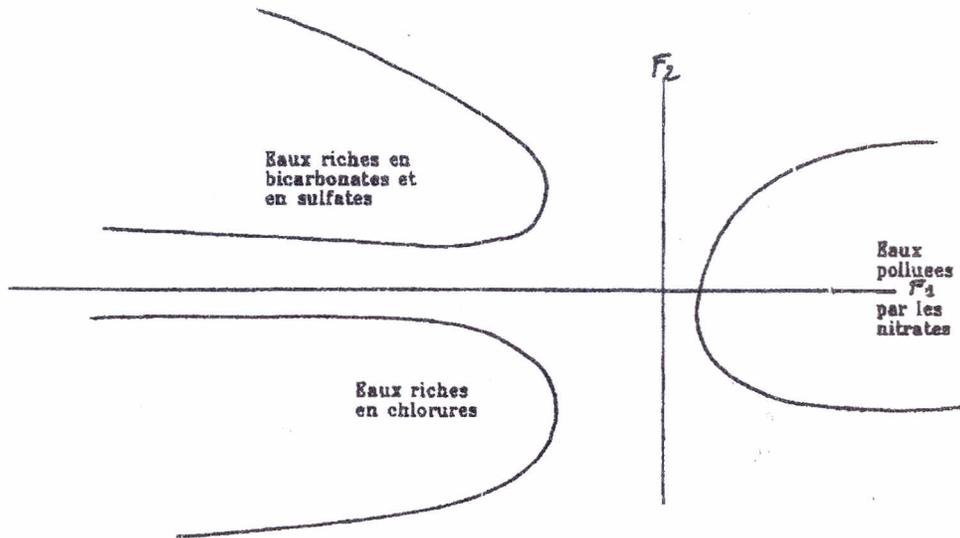


Figure 6b : Graphe des individus

CONCLUSION

L'étude est réalisée dans une région où affleurent des formations hétérogènes, qui par le processus de lessivage ou de dilution entraînent une augmentation de la salinité. Cette dernière a été mise en évidence par la cartographie qui a montré de très fortes concentrations, dépassant les normes admises, particulièrement au centre de la plaine. L'application de la thermodynamique a montré l'influence de quelques minéraux (gypse, dolomite, anhydrite), qui influencent la composition chimique de l'eau par dissolution. L'analyse en composantes principales a mis en évidence l'influence des minéraux sur les concentrations. A titre indicatif, on remarque que la dolomite enrichit les eaux en bicarbonates.

BIBLIOGRAPHIE

- AWOMESO A (1990) - Qualité des eaux souterraines et maladies hydriques au Nigeria – Thèse de Doctorat de l'Université de Besançon – Mention Science de la terre – 111 pages.
- DAVIES C. W. (1962) - Ion association, Ed. Butterworths Washington, 190 p.

VARIABILITE SPATIALE DE LA QUALITE DES EAUX DE LA NAPPE DE LA PLAINE DU CHELLIF

Mr BENFARES A.B.*, M^{lle} BENABDERRAHMANE Z.*, M^{lle} BETTAHAR N.

(*) : Agence Nationale. des Barrages- KOUBA

(+) : ENS. Centre Universitaire - CHLEF.

Résumé

Les écoulements possèdent d'une manière générale les caractéristiques physico-chimiques des roches et des sols rencontrés tout au long de leur chemin de parcours. Le processus de purification des eaux souterraines est fonction de la profondeur du toit de la nappe. Toutefois les concentrations en sels dissous sont parfois importantes malgré la profondeur du toit et la faible porosité du sol : c'est le propre des surfaces irriguées, des zones industrielles etc.... Ces sources de pollution deviennent des préoccupations sérieuses vu leur développement rapide et croissant. Pour cela, il est indispensable de comprendre l'évolution dans le temps et dans l'espace des processus physico-chimiques impliqués dans la variation de la qualité de l'eau des nappes souterraines, qui restent l'une des sources économiques d'alimentation en eau potable. Les techniques d'analyse statistique multidimensionnelle sont un outil puissant pour étudier la variabilité spatiale des phénomènes naturels. Nous avons utilisé l'analyse en composantes principales (A.C.P) pour régionaliser les paramètres ioniques influençant la qualité des eaux de la nappe du Haut et Moyen CHELLIF localisée entre EL- KHEMIS et BOUKADIR. Les zones obtenues seront validées par l'analyse factorielle discriminante (A.F.D).

Mots clés : *Salinité, ACP, AFD*

INTRODUCTION

Les écoulements possèdent d'une manière générale les caractéristiques physico-chimiques des roches et des sols rencontrés tout au long de leur chemin de parcours. L'aspect qualitatif des nappes souterraines est donc affecté par les mouvements verticaux de l'eau dans les zones de recharge et latéraux dans les aquifères. Le processus de purification est par conséquent fonction de la profondeur du toit de la nappe. Quand ce toit est peu profond et que le sol est poreux les éléments chimiques tels que nitrates, sulfates et sels dissous sont introduits dans le système hydrogéologique. Toutefois les concentrations en sels dissous sont parfois importantes malgré la profondeur du toit et la faible porosité du sol : c'est le propre des surfaces irriguées, des zones industrielles etc.... Ces sources de pollution deviennent des préoccupations sérieuses vu leur développement rapide et croissant. Pour cela, il est indispensable de comprendre l'évolution dans le temps et dans l'espace des processus physico-chimiques impliqués dans la variation de la qualité de l'eau des systèmes hydrologiques souterrains. Ces derniers en effet, restent l'une des sources économiques d'alimentation en eau potable. Les techniques d'analyse statistique multidimensionnelle sont un outil puissant pour étudier la variabilité spatiale des phénomènes naturels. Nous avons utilisé dans ce travail l'analyse en composantes principales (A.C.P) pour régionaliser les paramètres ioniques influençant la qualité des eaux de la nappe du Haut et Moyen CHELLIF localisée entre EL- KHEMIS et BOUKADIR. Les zones obtenues seront validées par l'A.F.D.

MATERIEL ET METHODES

Les données utilisées ont été collectées auprès de l'A.N.R.H. et concernent les mesures de concentration de 8 paramètres chimiques recueillis au niveau de 92 points (forages et puits) comme le montre la figure N°1.

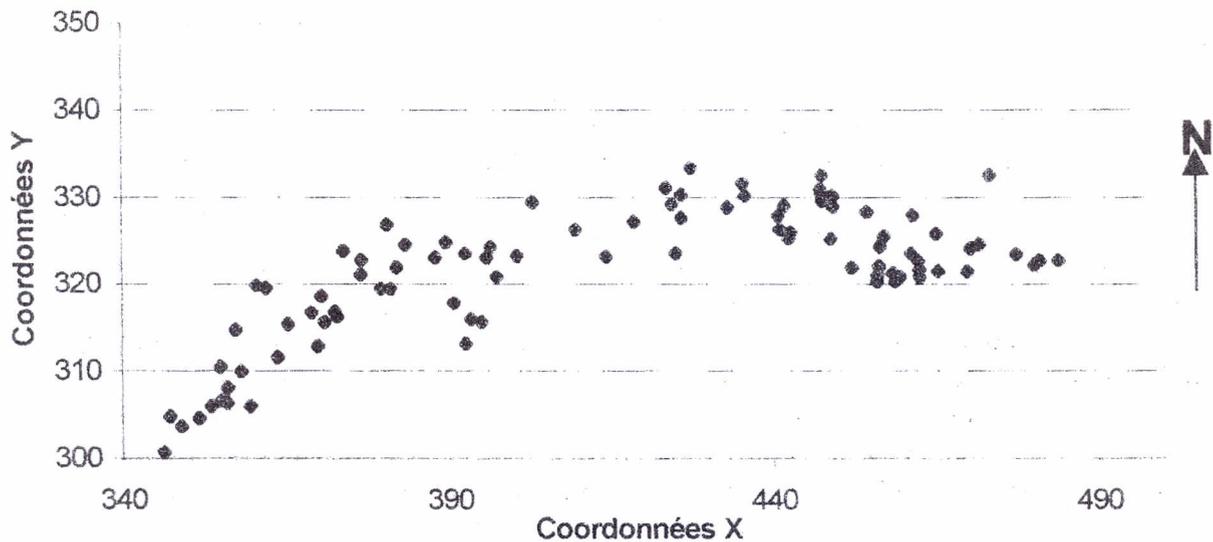


Figure 1 : Position des points de mesure

Analyse en composantes principales

L'A.C.P est une technique de représentation des données sous certains critères algébriques et géométriques. Son objectif est d'extraire l'essentiel de l'information contenue dans des tableaux de données et d'en fournir une représentation souvent graphique, simple et facile à interpréter compte tenu des corrélations entre les données.

La matrice des observations $C(92,11)$ est constituée des coordonnées géographiques X , Y et Z ainsi que des 08 paramètres chimiques(ions)suivants : $CO_3H, Ca, Na, SO_4, Cl, NO_3, K, Mg$ en colonnes et des numéros de points de mesures en lignes ; l'élément $C(i,j)$ correspond donc à la concentration du paramètre j pour le point de mesure i .

Analyse factorielle discriminante

L'A.F.D. est l'une des méthodes d'analyse des données utilisées à des fins de classification et de classement. Nous en présentons brièvement le principe ci-après.

Si un certain nombre de groupes mesurés sur plusieurs variables présentent une différence significative au sens statistique du terme quant à leur centroides, l'A.F.D. tente de déterminer par ordre d'importance les variables responsables de cette distinction des groupes.

Pour atteindre cet objectif, elle considère de nouvelles variables, combinaisons linéaires des précédentes. Géométriquement ces nouvelles variables sont représentées par des axes sur lesquels, on projette les divers points des groupes.

Ces axes sont appelés axes des fonctions discriminantes, et on désire que la projection des points donne lieu au minimum de superposition des divers groupes.

RESULTATS ET DISCUSSION

Analyse préliminaire

En analyse en composantes principales, il est indispensable d'examiner en premier lieu les données de départ à l'aide de statistiques élémentaires, qui permettent parfois de déceler des phénomènes spécifiques aux données. Nous procédons donc à l'analyse des moyennes, des dispersions et des dépendances des variables

- Statistiques élémentaires

Les moyennes et les coefficients de variation (C_v) des différentes variables sont reproduits dans le tableau N°1.

Tableau 1 : Statistiques élémentaires des différentes variables

Variabes	X	Y	Z	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	CO ₃ H	NO ₃
Moyennes	415,3	321,5	208,2	182,3	91,8	266,6	11,1	588,7	388,3	251,7	64,3
Coéf. Var.	0,10	0,02	0,46	0,60	0,67	0,78	4,24	0,74	0,87	0,37	0,65

On remarque que la plus forte concentration moyenne est celle de Cl, la plus faible correspond à l'élément K. Les valeurs des paramètres chimiques présentent d'une manière générale une variabilité relativement importante ($C_v > 0,60$), mais le potassium possède de loin la plus forte dispersion et les carbonates la plus faible. Les valeurs de ces paramètres varient donc fortement d'un point de mesure à l'autre.

- Analyses des corrélations

Le plus fort coefficient de corrélation est celui caractérisant les dépendances entre Cl et Na, ainsi que Cl et Ca ($r=0,86$). On relèvera aussi la liaison étroite entre SO₄ et Na ($r=0,81$). Il est aussi intéressant de noter que l'élément le plus corrélé avec les autres est le SO₄ et que le NO₃ n'est lié à aucun d'entre eux.

Analyse des valeurs propres

Le rapport entre chaque valeur propre et la somme des valeurs représente la part d'information initiale contenue dans chaque axe. Dans le tableau N°2 ci-après, sont reproduites les variances des trois (03), premières composantes.

Tableau 2 : Variance des trois premières composantes

Composante	% de variance expliquée	% Cumulé
1	39,3	39,3
2	20,5	59,8
3	12	71,8

On remarque que ces composantes expliquent presque 72 % de la variance initiale. On se limitera à l'étude des variables et des individus sur ces trois(03) composantes.

Analyse des variables

Dans le tableau N°3 ci-dessous sont reportées les valeurs des corrélations au carrée de chaque variable avec les différents axes factoriels :

Tableau 3 : Contributions des variables aux axes principaux :

Axe	Variables										
	X	Y	Z	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	CO ₃ H	NO ₃
1	0,230	0,108	0,265	0,641	0,697	0,804	0,009	0,821	0,716	0,027	0,009
2	0,670	0,602	0,561	0,196	0,062	0,006	0,005	0,050	0,034	0,070	0,002
3	0,035	0,002	0,009	0,008	0,104	0,008	0,733	0	0,001	0,421	0,001

Les variables les mieux expliquées par l'axe 1 sont respectivement **Na**, **Cl**, **SO₄**, **Mg**, et **Ca**. On relèvera la neutralité des éléments **K**, **NO₃** et **CO₃H**. En effet, leurs coordonnées sur l'axe sont pratiquement nulles. Cet axe oppose des variables caractérisant la position géographique du point de mesure aux paramètres chimiques ayant les concentrations les plus fortes, et peut être considéré comme un indice caractérisant la dureté de l'eau.

Les variables les mieux représentées sur l'axe 2 sont les coordonnées **X**, **Y** et **Z**, on relèvera aussi la valeur faiblement négative de l'élément **K**. On peut le considérer comme un indice d'utilisation agricole des terres.

En ce qui concerne l'axe 3, **K** et à un degré moindre **CO₃H**, sont les mieux expliqués, ils s'opposent aussi. On rappelle que **CO₃H** dépend de la présence de calcaire dans la région. On peut dire que cet axe représente la pollution (artificielle ou naturelle) de l'eau.

Analyse des individus

Les oppositions et les contributions sur l'axe 1 figurent dans le tableau N° 4 ci-dessous :

Tableau 4 : Analyse des contributions et des oppositions sur l'axe 1

	N°	Contribution / coordonnée	X	Y	Z	Ca	Mg	Na	Cl	SO ₄
Contributions	73	+0,6504	441,65	326,35	274,1	81	25	76	108	60
	37	-0,5235	310,11	311,53	78,1	6,2	248	1000	2,15	1300
Oppositions	37	+4,3782	310,11	311,53	80,1	6,8	235	1230	3,75	2150
	92	+1,4840	480,94	322,9	515,0	68	18	35	73	25

Ce tableau montre que les points de mesure situés au sud-ouest de la région d'étude présentent de faibles altitudes et des concentrations importantes pour les éléments **Ca**, **Mg**, **SO₄**, **Na** et **Cl**. Leur eau doit par conséquent posséder une dureté excessive.

Les points ayant une forte contribution, ainsi que les oppositions sur l'axe 2 figurent dans le tableau N°5 ci-dessous :

Tableau 5 : Analyse des contributions et des oppositions sur l'axe 2

	N°	Contributions / coordonnées	X	Z	CO ₃ H
Contributions	90	0,8392	480,	475,24	124
Oppositions	92	5,0135	480,95	514,99	146
	51	-0,2054	473,25	239,93	632

On remarque que pour les fortes altitudes, la concentration en **CO₃H** est faible, et pour les altitudes modérées, elle est plus élevée. Ce qui peut être révélateur de la présence de calcaire dans les couches assez profondes.

En ce qui concerne l'axe 3, les données sont représentées sur le tableau N° 6. Les individus ayant une coordonnée positive sur cet axe ont une concentration en **CO₃H** forte et une concentration en **K** faible. Ceci peut indiquer une pollution naturelle importante et une faible utilisation d'engrais chimiques.

Tableau 6: Analyse des contributions et des oppositions sur l'axe 3

	N°	Contributions / coordonnées	X	Y	Z	K	CO ₃ H
Contributions	52	-0,8971	456,45	324,4	160	455	45
	1	0,3325	381,65	321,95	112,49	2	441
Oppositions	51	2,0560	473,25	332,65	239,93	1	632
	52	-0,2737	456,45	324,4	160	455	45

Régionalisation par ACP

Nous avons utilisé la dispersion des points de mesure sur le plan factoriel 1,2 pour essayer de dégager des zones homogènes par rapport aux paramètres chimiques considérés. L'analyse du plan principal a permis de dégager 5 régions qui vont nous servir de groupes de départ pour une régionalisation plus rigoureuse en utilisant l'A.F.D.

Régionalisation par AFD

La discrimination s'est effectuée sur les 11 variables déjà utilisées dans le cadre de l'analyse en composantes principales. L'analyse de la variance par variable a donné les résultats figurant dans le tableau N°7:

Tableau 7 : Analyse de la variance par variable

Variable	X	Y	Z	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	CO ₃ H	NO ₃
F	5,88	2,22	10,79	28,25	33,10	69,02	0,32	57,36	52,50	1,60	1,03

Il ressort que la variable la plus significative est **Na**, de même **Cl** et **SO₄** présentent elles aussi un F important. Pour justifier l'utilisation de l'analyse factorielle discriminante nous avons calculé les pseudo-F des variables discriminantes. Nous reportons dans le tableau N° 8 les valeurs pour les trois premières variables.

Tableau 8 : Pseudo-F des trois premières variables discriminantes

Variabes discriminantes	1	2	3
Pseudo-F	201,8	19,89	3,68
Variance expliquée (%)	88,5	8,7	1,6

Le pseudo-F de la première variable discriminante est largement plus grand que le plus grand F du tableau précédent, une A.F.D. est donc justifiée. D'autre part, on peut voir qu'elle explique **88,5 %** de la variance totale.

La qualité de la représentation des variables sur les 3 premiers axes discriminants est donnée dans le tableau N° 9 :

Tableau 9 : Qualité de la représentation des variables sur les trois premiers axes discriminants

Axe	Variables										
	X	Y	Z	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	CO ₃ H	NO ₃
1	0,794	0,713	0,559	0,973	0,986	0,981	0,105	0,994	0,997	0,349	0,232
2	0,124	0,002	0,416	0,002	0,001	0,002	0,001	0,003	0,002	0,428	0,087
3	0,019	0,052	0,004	0	0,007	0,007	0,707	0,002	0,004	0,161	0,003

A partir du tableau ci-dessus, on peut voir que comme pour l'A.C.P. les paramètres les mieux représentés sur l'axe 1 sont **SO₄**, **Cl**, **Mg** et **Ca**, on relèvera par contre que les coordonnées **X** et **Y** sont eux aussi assez bien représentés ; ce qui peut signifier que les paramètres chimiques sont probablement liés aux coordonnées géographiques.

En ce qui concerne l'axe 2, l'élément **CO₃H** et l'altitude **Z** sont les mieux représentés, ceci confirme l'interprétation de la 3^{ème} composante principale.

L'axe 3 quant à lui, explique bien le paramètre **K**, qui est comme on l'a déjà signalé lié à l'utilisation agricole des terres.

En conclusion, les résultats de l'A.F.D. confirment dans l'ensemble ceux obtenus par l'A.C.P. La régionalisation a consolidé comme on peut le voir sur le tableau N° 10, l'existence de 5 groupes :

Tableau 10 : tableau d'appartenance.

Groupes affectation	Groupes appartenance				
	1	2	3	4	5
1	2	0	0	0	0
2	0	42	10	1	0
3	0	3	21	3	0
4	0	0	1	7	0
5	0	0	0	0	2

Le pourcentage de bien classés est en effet de **80,4%**. Les principaux déplacements d'individus se sont produit entre les groupes 2 et 3 qui présentent de nombreuses similitudes, comme on peut le voir sur le tableau suivant ,qui donne les distances de **MAHALANOBIS** entre les groupes.

Tableau 11 : Distance MAHALANOBIS (D²)

Groupe	1	2	3	4	5
1	0,00				
2	4,73	0,00			
3	5,01		0,00		
4	5,32	2,43	1,72	0,00	
5	7,12	5,26	4,57	3,82	0,00

Les caractéristiques moyennes des 5 groupes figurent dans le tableau N°12.

Tableau 12 : Caractéristiques des différents groupes

Groupe	X	Y	Z	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	CO ₃ H	NO ₃
1	450,53	322,58	495,12	62	24	46,5	1	109	35	135	68,5
2	434,25	324,44	243,32	150	64,1	162,7	13,7	367,2	224,4	231	71,8
3	389,32	317,7	150,8	156,7	94,8	321,7	7,8	569	437,5	269,3	44,4
4	411,15	321,8	201,3	337,6	174	408	6,45	975,4	744,8	306,4	86,9
5	357,7	315,2	77,9	585	291,5	1170	41,5	2350	1725	251,5	85

La zone 5 présente les plus grandes concentrations en **Ca, Mg, Na, Cl** et **SO₄**, ces paramètres indique que la dureté de l'eau est importante. Pour certains paramètres, les concentrations sont supérieures à **2000 mg/l**. D'autre part, selon **Venardski** les eaux de ce groupe se classent dans la catégorie des eaux faiblement salées, mais sa minéralisation se rapproche de la limite supérieure de cette catégorie (10g/l). Ceci risque de compromettre toute utilisation des eaux de cette zone même pour l'irrigation. On notera que cette zone possède la plus petite altitude et occupe une très faible étendue au Sud Ouest de la région d'étude (voir figure N°2).

La zone 4 possède aussi de fortes concentrations en **Ca, Mg, Na, Cl** et **SO₄**, bien que son altitude moyenne soit assez importante. Ceci pourrait s'expliquer par la forte dispersion spatiale des points qui la constituent (probablement exposée à différentes conditions géologiques et d'exploitation des sols). On relèvera que pour **CO₃H** elle a la concentration la

plus élevée de la région. Ses fortes concentrations en sels minéraux la classent elle aussi dans la catégorie faiblement salée.

Les zones 2 et 3 se distinguent des deux déjà citées précédemment par des concentrations moins fortes et plus nettement l'une de l'autre par les concentrations en Na et SO₄ qui vont du simple au double. Par contre, les concentrations en Ca et CO₃ H sont presque identiques. Leurs minéralisations se situent à la limite inférieure de la catégorie sus-citée.

Enfin, la zone 1 se distingue de l'ensemble par des concentrations plus faibles pour tous les éléments, cela pourrait s'expliquer par sa très forte altitude. A l'opposé des autres zones elle entre largement dans la catégorie des eaux douces du fait de sa faible minéralisation. On relèvera aussi la superficie très réduite qu'elle occupe à l'Est de la région.

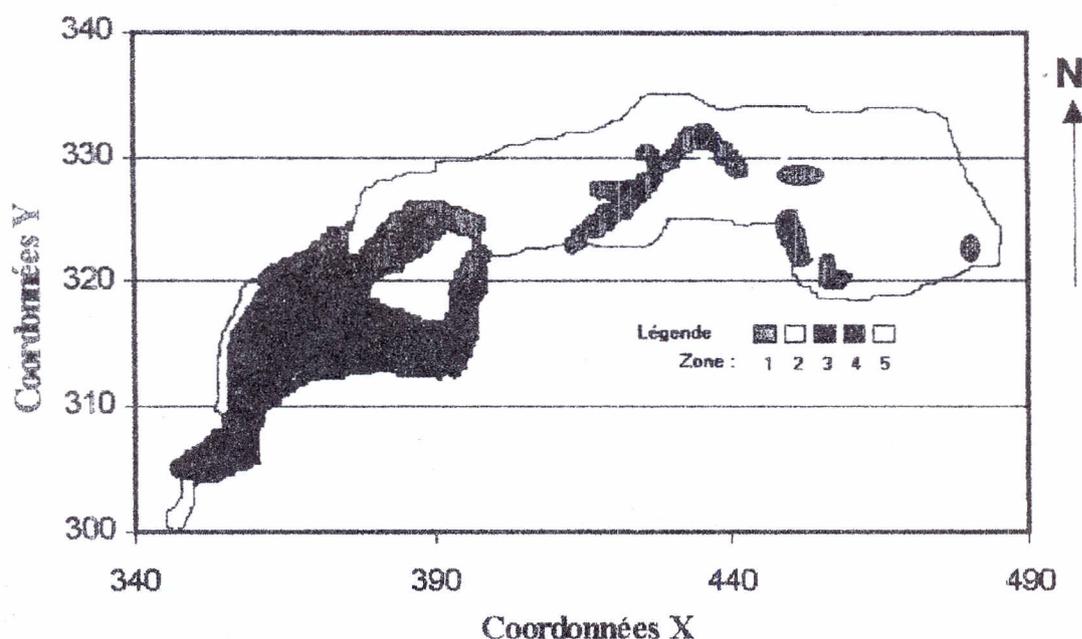


Figure 2 : Régionalisation de la qualité des eaux par l'AFD

En examinant la figure N° 2 on remarque, que la région d'étude semble assez homogène, puisque constituée dans sa quasi-totalité par les zones 2 et 3 (plus particulièrement par le groupe 2) qui sont comme l'a mis en évidence la distance de MAHALANOBIS, les plus proches l'une de l'autre.

A partir de ce fait, on peut donner de manière plus objective les caractéristiques moyennes de la nappe, en considérant uniquement les valeurs pondérées des deux zones.

Ces moyennes seraient les suivantes :

Tableau 13 : Concentrations moyennes de la nappe

Paramètres	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	CO ₃ H	NO ₃
Moyennes	127,5	63,8	189,1	9,1	202,7	258,7	205,7	50,7

A partir du tableau ci-dessus on constate que la minéralisation de la nappe est assez élevée, ce qui peut poser de sérieux problèmes pour son utilisation à des fins domestiques et agricoles.

CONCLUSION

La préservation d'une eau de qualité est capitale pour des régions telles que le Haut et le Moyen Cheliff essentiellement à vocation agricole.

Les sels dissous en grande quantité réduisent l'activité osmotique des plantes et ont un effet indirect sur leur métabolisme. Ils peuvent aussi réduire la perméabilité du sol et empêcher par voie de conséquence un drainage et une aération adéquats. La concentration critique pour l'eau d'irrigation dépend de plusieurs facteurs, on admet toutefois que des concentrations supérieures à **700 mg/l** sont préjudiciables pour certaines plantes, celles supérieures à **2000 mg/l** sont fatales pour la majorité d'entre elles.

L'**A.C.P.** et l'**A.F.D.** ont mis en évidence 5 zones distinctes pour la région d'études. Deux d'entre elles présentent des concentrations pour certains ions bien supérieures à **2000 mg/l** et une minéralisation élevée. Ces zones occupent à l'heure actuelle des étendues réduites, mais elles risquent à long terme de contaminer le reste de la nappe si des mesures préventives ne sont pas prises.

Parmi ces mesures, on peut citer l'identification de la source d'émission polluante, qui peut être naturelle ou artificielle (dissolution des calcaires, utilisation d'engrais, petites industries etc....) et le traitement par recharge artificielle de la nappe aux endroits les plus affectés.

Toutefois et avant toute chose, une étude plus détaillée concernant la géologie, l'hydrogéologie, l'agro-pédologie etc.... doit être menée afin d'élaborer les informations essentielles pour une interprétation objective et efficace des résultats obtenus par les méthodes statistiques d'analyses spatiale et temporelle.

BIBLIOGRAPHIE

- BENFARES A.B., BENABDERRAHMANE Z. (1994) - Contribution à la régionalisation de la pluviométrie annuelle de la région Constantinoise ; Journées de statistiques appliquées, Alger Avril 1994
- BENFARES A.B., BENABDERRAHMANE Z. (1999) - Etude de la variabilité extrême de la pluie annuelle du bassin de la macta (cas de l'année 1982-1983) ; Atelier sur les étiages et les crues, Tunis Février 1999
- DAZY F., LE BARZIC J. F. L'analyse des données évolutives ; Technip.
- FOUCART T. (1982) - Analyse factorielle ; Masson
- JOHNSON R.A., WICHERN D.W. (1988) - Applied multivariate statistical analysis ; Prentice hall.
- LINSLEY R. K., FRANZINI J.B. (1972) - Water resources engineering ; Mc GRAW HILL.
- MILNITCHOUK V., ARABADJI M. (1983) - Géologie générale ; Mir -Moscou.
- PHILIPPEAU G. (1986) - Comment interpréter une analyse en composantes principales ; STAT- ITCF.
- VIESSMAN W. (1985) - Water management : technology and institutions ; HARPER and ROW.
- KETTAB A. (1992) - Traitement des eaux : Les eaux potables ; O.P.U.

BIBLIOGRAPHIE

- BENFARES A.B., BENABDERRAHMANE Z. (1994) - Contribution à la régionalisation de la pluviométrie annuelle de la région Constantinoise ; Journées de statistiques appliquées, Alger Avril 1994
- BENFARES A.B., BENABDERRAHMANE Z. (1999) - Etude de la variabilité extrême de la pluie annuelle du bassin de la macta (cas de l'année 1982-1983) ; Atelier sur les étiages et les crues, Tunis Février 1999
- DAZY F., LE BARZIC J. F. L'analyse des données évolutives ; Technip.
- FOUCART T. (1982) - Analyse factorielle ; Masson
- JOHNSON R.A., WICHERN D.W. (1988) - Applied multivariate statistical analysis ; Prentice hall.
- LINSLEY R. K., FRANZINI J.B. (1972) - Water resources engineering ; Mc GRAW HILL.
- MILNITCHOUK V., ARABADJI M. (1983) - Géologie générale ; Mir -Moscou.
- PHILIPPEAU G. (1986) - Comment interpréter une analyse en composantes principales ; STAT- ITCF.
- VIESSMAN W. (1985) - Water management : technology and institutions ; HARPER and ROW.
- KETTAB A. (1992) - Traitement des eaux : Les eaux potables ; O.P.U.

A partir du tableau ci-dessus on constate que la minéralisation de la nappe est assez élevée, ce qui peut poser de sérieux problèmes pour son utilisation à des fins domestiques et agricoles.

CONCLUSION

La préservation d'une eau de qualité est capitale pour des régions telles que le Haut et le Moyen Cheliff essentiellement à vocation agricole.

Les sels dissous en grande quantité réduisent l'activité osmotique des plantes et ont un effet indirect sur leur métabolisme. Ils peuvent aussi réduire la perméabilité du sol et empêcher par voie de conséquence un drainage et une aération adéquats. La concentration critique pour l'eau d'irrigation dépend de plusieurs facteurs, on admet toutefois que des concentrations supérieures à **700 mg/l** sont préjudiciables pour certaines plantes, celles supérieures à **2000 mg/l** sont fatales pour la majorité d'entre elles.

L'**A.C.P.** et l'**A.F.D.** ont mis en évidence 5 zones distinctes pour la région d'études. Deux d'entre elles présentent des concentrations pour certains ions bien supérieures à **2000 mg/l** et une minéralisation élevée. Ces zones occupent à l'heure actuelle des étendues réduites, mais elles risquent à long terme de contaminer le reste de la nappe si des mesures préventives ne sont pas prises.

Parmi ces mesures, on peut citer l'identification de la source d'émission polluante, qui peut être naturelle ou artificielle (dissolution des calcaires, utilisation d'engrais, petites industries etc...) et le traitement par recharge artificielle de la nappe aux endroits les plus affectés.

Toutefois et avant toute chose, une étude plus détaillée concernant la géologie, l'hydrogéologie, l'agro-pédologie etc... doit être menée afin d'élaborer les informations essentielles pour une interprétation objective et efficace des résultats obtenus par les méthodes statistiques d'analyses spatiale et temporelle.

LES CAUSES SOCIO-ECONOMIQUES DE LA SALINITE DES SOLS DU BAS CHELIFF

BEHLOULI A.

Directeur régional du laboratoire Ouest de l'INSID (Relizane)

Résumé

Les sols des plaines du plus grand bassin versant d'Algérie du nord qu'est le Cheliff sont menacés par la dégradation. Les sols du Bas Cheliff comptant parmi ces plaines se trouvent les plus touchés par cette salinisation.

Des explications d'ordre morpho-pédologiques, hydrologiques, hydrogéologiques et climatiques peuvent renseigner sur les causes et effets de cette salinisation. Cependant, la cause socio-économique, non moins importante que les autres, a son poids et son effet sur cette dégradation des sols.

En effet, l'historique de ce périmètre montre qu'avec l'avènement du colonisateur, les terres du Bas Cheliff ont été, en partie, bonifiées et orientées vers une exploitation intensive en arboriculture (principalement agrumiculture et oléiculture) ; le reste de la plaine, la partie la plus basse dont les terres sont plus lourdes, a été utilisé pour la production du riz à titre expérimental dans un premier temps puis à plus ou moins grande échelle dans un second temps. Les terres les plus salées, à cette époque, se trouvant sur l'embouchure de l'oued Mina et celle de l'oued Cheliff, ont été utilisées pour la production du coton.

Au lendemain de l'indépendance, la structure de l'exploitation a gardé, à peu près les mêmes caractéristiques et continué à fonctionner comme par le passé ; mais avec les différentes restructuration de l'agriculture algérienne en générale et de la plaine en question en particulier, marquée par les principales dates : 1973, 1982, 1987 et 1992, conjuguée à la vétusté des réseaux d'irrigation et de drainage ainsi qu'à la sécheresse qui a sévit cette dernière décennie, la plaine du Bas Cheliff se retrouve dans un état de grave dégradation

Mots clés : *socio-economie – plaine du Bas Cheliff – salinité – dégradation des sols*

INTRODUCTION

La salinité des sols des périmètres irrigués devrait être une des premières préoccupations des décideurs du secteur de l'agriculture. Cette salinité des sols qui se traduit par une baisse de rendement et de la qualité des cultures ainsi que par la réduction de la gamme des variétés et des espèces cultivées conduit à une dégradation progressive et irréversible des sols cultivables.

Cette salinisation dont la cause est souvent expliquée par l'origine primaire (salinisation climatique, géologique,...) dans un premier temps, secondaire (irrigation par des eaux minéralisées conjuguée à l'absence du réseau de drainage) dans un second temps se trouve rarement expliquée par sa cause socio-économique.

Dans le cadre du projet intitulé «caractérisation de l'état actuel de la salinité du Bas Cheliff» réalisée par l'INSID, une enquête socio-économique, portant beaucoup plus sur l'utilisation des terres et les façons culturales pratiquées, a été réalisée. Les résultats de cette étude montrent que les causes socio-économiques ont contribué dans une large mesure à la dégradation de ces sols.

La politique agricole nationale de l'autonomie de gestion à l'exploitation agricole collective et individuelle en passant par les domaines socialistes autogérés s'est heurté à différents problèmes relatifs à la gestion, la mécanisation et l'exploitation. Les périmètres irrigués ont été les plus touchés par ces restructuration dans un laps de temps relativement court (1965 – 1973, 1973 – 1982, 1982 – 1987, 1987 – 1997) soit respectivement des périodes de (8ans, 10 ans et 10 ans)

Les exploitants du périmètre du Bas Cheliff, comptant une superficie classée de plus de 28000 hectares dont 13000 hectares équipés (plus de 50 % du réseau actuellement détruit) ne souscrivent à l'irrigation que 2546 hectares. Cette diminution de la superficie irriguée est le résultat de la conjugaison de plusieurs facteurs. Le premier se trouve être la vétusté du réseau d'irrigation, le second réside dans l'absence d'un drainage efficient, le troisième facteur, l'objet de cette communication, se trouve être l'utilisation des sols et les cultures pratiquées.

En effet, l'enquête de terrain révèle que la culture dite tolérante (artichaut) à la salinité est la plus présente au niveau du périmètre irrigué du Bas Cheliff, avec une superficie de 1530 hectares.

La cause socio-économique réside dans l'utilisation des sols de cette plaine. En réalité le problème de la salinité des sols a fait son apparition après l'abandon de certaines parcelles, au profit du pâturage extensif, devenues impossible à travailler par manque de matériel et autres ressources financières pour assurer le fonctionnement normal des exploitations.

Ainsi, l'installation de la tente du berger nomade, chassé des steppes intérieures par la sécheresse, à la place de l'étable et des vergers agrumicoles et oléicoles au cœur même du périmètre équipé donne une image réelle du chamboulement de la vocation de cette plaine. Le Bas Cheliff aujourd'hui c'est un périmètre qui s'étale sur le territoire de sept communes toutes appartenant à la Wilaya de Relizane. Le périmètre est exploité par 1658 exploitations sur une superficie de 11157.13 hectares. La population totale se trouvant sur le périmètre et ses extensions est approximativement de 25000 personnes. A la tendance à la concentration des exploitations au bord de l'oued Cheliff favorisée par les axes routiers (ouled sidi Mihoub – Djdiouia, oued Rhiou – Ouarizane, ouled Ahmed – sidi Mihoub) puisant directement l'eau d'irrigation de l'oued et de la nappe phréatique (profondeur des puits variant entre 20 et 100 m) et par un drainage naturel, a succédé une phase d'abandon du périmètre au profit de la jachère et des nomades, qui – mutatis mutandis – n'est pas sans rappeler les problèmes auxquels sont confrontés la plupart des périmètres de notre pays y compris, comme nous le verrons par la suite, l'avancement du béton sur les terres du périmètre équipé.

Enfin, Le Bas Cheliff dont le réseau devrait être rénové – presque entièrement – le système de distribution de l'eau devrait être revu en fonction des nouvelles attributions et configurations géométriques des parcelles et des exploitations en fonction de la nouvelle donne juridique.

PRESENTATION DU PERIMETRE DU BAS CHELIFF

Le foncier

Le périmètre du Bas Cheliff est localisé au niveau de la partie la plus basse du bassin du Cheliff, il constitue l'un des principales plaines de l'ouest du pays.

Le périmètre tel qu'il se présente aujourd'hui est composé comme indiqué au tableau 1

Tableau 1 : Situation foncière du périmètre du Bas Cheliff

Propriétaire	Nombre d'exploitants	Superficie en ha	Taille moyenne exploitation
Privé	1188	3452.58	2.91
Exploitation Agricole Collective	394	7030.70	17.84
Exploitation Agricole Individuelle	74	176.85	2.38
Ferme Pilote	01	433.00	433.00
Station expérimentale de l'INRAA	01	64.0	64.0
Total	1658	11157.13	6.73

Source : OPIC Oued Rhiou, 1997

Les données ci-avant, en réalité représentent les statistiques administratives sur la base desquels le gestionnaire du périmètre reçoit la demande de l'eau et sur lesquels il établit sa distribution ; mais la composition des exploitations sur terrain est, dans la plupart des cas, différente.

A l'exception des privés, de la ferme pilote et de la station expérimentale de l'INRAA, les autres exploitations se retrouvant redistribuées «à l'amiable» entre les bénéficiaires sont plus morcelées qu'auparavant. De ce fait la déperdition des terres, parfois par abandon (location aux éleveurs) et par exploitation partielle à des fins spéculatives (cultures de saison à forte valeur ajoutée), ces exploitations sont donc devenues plus vulnérables et sujettes à la dégradation.

La part du béton dans le rétrécissement du périmètre

L'enquête de terrain menée par l'OPIC de Oued Rhiou a montré que sur les 13000 hectares recensés lors du projet de SOGREAH, il ne reste que 11157.13 hectares.

Les terres perdues pour l'agriculture en général et pour l'agriculture irriguée en particulier se résume dans l'extension des PDAU (plan de développement urbain communal), construction etc. ...

Ainsi, la répartition estimée par commune est comme suit :

Tableau 2 : Répartition des superficies estimées par commune

Commune	Superficie perdue
Oued R'hiou	395
Ouarizane	305
Djdiouia	260
H'madna	240
Ouled Sidi Mihoub	435
Hamri	100
Merdja Sidi Abed	1124
Total	2859 hectares

Source : OPIC Oued R'hiou

Les 11157.13 hectares recensés il faut diminuer les terres où le réseau a été complètement détérioré. Les terres comprises sur le territoire de la commune de Ouled Sidi Mihoub, une partie des terres de la commune de Djdiouia et une grande partie des terres de la commune de H'madna et de Ouarizane ne bénéficient plus des eaux du réseau d'irrigation. Tout simplement des tronçons entiers reliant le réseau principal aux réseaux secondaires et tertiaires sont détruits.

Le déficit et le retard dans la distribution de l'eau du réseau, a poussé les agriculteurs vers la réalisation de forages dans la nappe au cœur même du périmètre pour plus d'autonomie et d'assurance de la production

En effet, la vétusté du réseau d'irrigation cause principale des cassures des canaux à ciel ouvert du réseau d'irrigation, le pompage illicite à partir du réseau fait que le souscripteur à l'irrigation ne reçoit pas sa dose d'irrigation au moment voulu et, même s'il la reçoit, elle arrive rarement en temps voulu. De ce fait, l'exploitant est alors contraint, pour sauver sa production, de creuser un forage traditionnel ou semi-traditionnel (foreuse rotary traditionnelle). Au cours de la campagne 1996 /1997 l'on a compté plus de 100 forages au sein même du périmètre équipé.

A titre d'exemple le taux de desserte par le réseau des différentes demandes et par type de culture se résume comme suit :

Tableau 3 : taux de réalisation par type de culture

Cultures	Superficies ha			Taux %
	prévues	souscrites	Irriguées	
Agrumes	417.85	280.33	280.33	67
Pommier	77.7	2.0	2.0	26
Grenadiers		0.25	0.25	
Abricotier		18.25	18.25	
Oliviers	820.00	660.05	660.0005	80
Poivrons	30.0	26.35	26.35	89
Piment	15.25	19.10	19.10	
Tomates cons	45.0	12.21	12.21	27
Patate douce	70.0	58.10	58.10	83
Oignon	25.0	25.75	25.75	
Courgette	12.50	10.50	10.50	84
Concombre	18.00	12.46	12.46	69
Fève		7.95	7.95	
P de terre	50.0	64.81	64.81	
Melon	30.0	90.85	90.85	
Pastèques	10.0			
Sorgho	5.0	2.25	2.25	45
Artichaut	1387.25	1248.01	1248.01	90
Luzerne		1.5	1.5	
Blé tendre		6.25	6.25	
Total	3013.55			

Source : OPIC Oued R'hiou & DSA Relizane

L'analyse de la campagne révèle que la demande n'a pas été satisfaite par le réseau. Elle n'a guère dépassé les 90 % de satisfaction. De ce fait les agriculteurs se tournent vers plus d'assurance même si les coûts du forage et de l'énergie sont élevés.

Le plan de culture pour l'année 1997 pour l'ensemble du périmètre renseigne aussi sur la part des cultures tolérantes à la salinité (artichaut = 13.7 %), la « médiocrité » de l'utilisation des sols et l'occupation des sols d'un périmètre irrigué où l'on retrouve une grande partie de ses terres en jachère (24.5 %) et une aussi grande partie utilisée pour les céréales en sec (37.25 %) (Cf. figure 1).

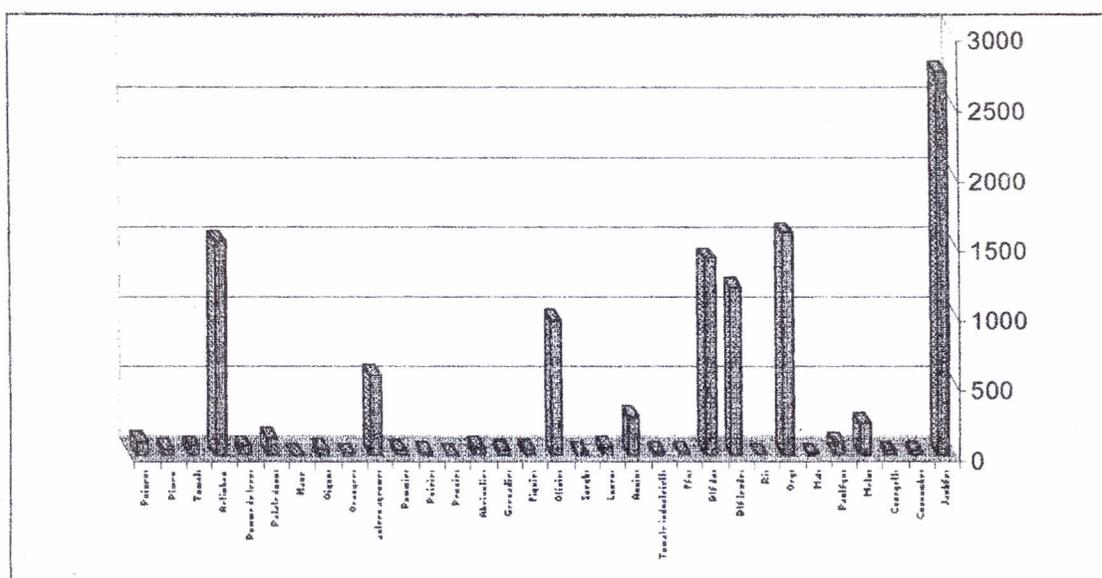
De ce fait, 61.75 % de la superficie du périmètre (soit près de 7000 hectares sans compter les superficies destinées aux fourrages) sont prédisposées à la location pour les éleveurs nomades.

Ainsi, sur les 11157 hectares du périmètre pas plus de 2546.97 hectares sont annuellement irrigués (soit 22.3 %) pourtant les capacités en eau destinées au périmètre sont deux à trois fois plus importantes (Cf. tableau 4).

Tableau 4 : Evaluation des ressources du périmètre

ressources	Volumes Hm3	Réellement lâchés
Merdja Sidi Abed	3	0.851
B Sly	40	22.602
B Sidi Yagoub	22.602	17.011
SP Forage II	1.591	1.591
Total	67.193	42.055

Donc 62.52 % de la réserve est effectivement utilisée sans compter les pertes lesquelles s'évaluent à plus de la moitié du volume lâché.



Source : DSA et OPIC Oued R'hiou

Figure 1 : plan de culture du périmètre du bas Cheliff

Au vu de cet histogramme, il apparaît la superficie insignifiante des cultures dites sensibles à la salinité (agrumes, arboriculture ...), par contre les cultures dites tolérantes à la salinité (artichaut, orge...) occupent des places importantes.

Il faut néanmoins noter que les céréales (principalement le blé dur et tendre) sont généralement cultivées sur les parties les plus hautes de la plaine ; c'est à dire de part et d'autre de la route nationale reliant Oued R'hiou à H'madena où les terres sont moins salées.

L'évolution des superficies souscrites et des volumes attribués renseigne aussi sur la précarité du système d'adduction et sur la pérennité de l'assurance du débit demandé. En effet, la fluctuation des conditions climatiques influe directement sur les capacités mobilisées au niveau des réservoirs ; par conséquent sur le volume devant être distribué. Le tableau 5 montre comment ces fluctuations peuvent influencer sur la diminution de la superficie irriguée.

Tableau 5 : Evolution des surfaces et des volumes depuis 1987 (Hm3)

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Sup prévues	3053	4520	2672	1728	2159	2527	1800	2000	3030	3239	3013
Sup souscrite	4677	4588	1473	1306	2199	2576	1750	1099	2167	2658	2546
Sup irriguée	4677	4588	1473	1306	2199	2576	1759	1099	2167	2658	2546
Vol H ₂ O allou	50	50	27	11	27	20	20	15	28	40	43
Vol H ₂ O lach	40	43	15.8	12	21	33.6	8.8	3.6	21.	24	25
Vol d'H ₂ O rec	40	43	15.8	12	21	32	8.2	3.0	18.2	22.9	19
Vol d'H ₂ O dist	38.5	34.8	12.8	9.42	19.6	28.6	5.6	2.49	12.9	18.2	15.8

Source : OPIC Oued R'hiou.

L'EFFET DE LA RESTRUCTURATION SUR LA MECANISATION ET LE TRAVAIL DU SOL

L'absence et le manque des outils pour le travail du sol

L'enquête menée sur terrain par l'équipe de l'INSID a montré que l'absence des charrues balance, des sous soleuses, des charrues à socs et autre outils nécessaires pour le travail des sols lourds a contribué, à notre avis, la formation des semelles de labours du fait de l'utilisation «abusive» des charrues à disques.

Ainsi sur les 297 exploitations enquêtes une seule charrue répondant aux normes requises pour le travail des sols lourds et salés alors que la majeure partie des exploitants se contentent de la charrue à disques pour le travail du sol.

Les cultures pratiquées : une tendance vers celles plus tolérantes

La comparaison entre le plan de culture actuel et celui de l'année 1978 (rapport SOGREAH) et celui de l'année 1992 (rapport MAC DONALD ET BNEDER) montre que la superficie des agrumes est passée de 1700 hectares en 1978 à 987 hectares en 1992 et enfin 417 hectares aujourd'hui. Par contre l'artichaut et les céréales prennent place d'avantage. Les céréales autrefois utilisées juste sur la butte entourant la sebkha de Benziane et sur les piémonts de l'Ouarsenis et du Dahra sont actuellement cultivées au sein même du périmètre irrigué.

La taille de l'exploitation : un handicap pour la mécanisation

La taille actuelle de l'exploitation (2.5 hectares par ménage) ne fait pas manger son homme. L'héritage du domaine socialiste autogéré a été amorti plusieurs fois (dans le cas où il n'a pas été vendu) l'éclosion des grandes superficies tenues par les EAC, officiellement, n'arrivent pas à mécaniser leurs exploitations compte tenu du prix des machines et des intrants agricoles.

Les petites exploitations versent d'avantage dans les spéculations à forte valeurs ajoutée (pastèques, melon...) celle-ci sont irriguées soit à partir du réseau soit à partir de forages. La méthode d'irrigation utilisée permet le maintien de l'eau continuellement dans les billons de façon à ce que les sels n'influent pas sur le rendement de la production et permettent par la même d'assurer un revenu conséquent.

L'absence de l'élevage bovin : une carence en matière organique pour les sols

Le faible effectif des bovins (limité à l'autoconsommation) voire l'absence d'une stratégie de l'élevage du bovin laitier ou du bovin d'engraissement, véritable pourvoyeur en matière organique des sols peut être perçu à travers la faible superficie réservée aux fourrages. En effet, le périmètre du Bas Cheliff dont la création initiale était orientée vers la production laitière devant fournir l'usine de Sidi Saada de Relizane en lait et la correction des sols salés par la matière organique dégagée a été détournée de sa vocation pour devenir une simple steppe où la flore halophyle s'y propage avec une célérité incroyable.

CONCLUSION

Par cette approche socio-économique, il est sous-entendu beaucoup plus une approche technique pour la compréhension des mécanismes qui ont accentué la salinisation des terres du Bas Cheliff.

Il est certain que les conditions de la salinisation de ces terres sont d'abord d'ordre climatique, géologique ... (salinisation primaire) ensuite d'ordre (secondaire) drainage déficient ... ; cependant, l'utilisation et la gestion de ces sols ont accentué leur dégradation et ont précipité leur salinisation.

La réhabilitation du périmètre et sa bonification passe obligatoirement par la réhabilitation des mentalités des agriculteurs et aussi par la mise en place d'une politique agricole cohérente et efficace pour l'ensemble des périmètres irrigués en générale et pour ce présent en particulier.

Une exploitation de 2.5 hectares dans un périmètre irrigué attribué à un exploitant ne disposant même pas de la croûte de ses enfants ne peut être travaillée dans les règles de l'art. La mise en place de coopératives de prestation de services au profit des exploitations de petites superficies peut résoudre en partie le problème. La régularisation juridique des exploitations et la mise en œuvre de traditions basées sur la confiance entre le banquier et l'agriculteur, ce dernier et le gestionnaire du réseau d'irrigation peut résoudre l'autre partie du problème.

BIBLIOGRAPHIE

BOULAINÉ J. (1956) - Carte des sols des plaines du Chélf au 1/50000. Inspection générale de l'Agriculture du Gouvernement Général de l'Algérie.

DAOUD Y. (1993) - Contribution à l'étude des sols des plaines du Chélf. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doct d'état, INA Alger, 233p.

ENERGOPROJEKT BEOGRAD (1967) - Etude de l'irrigation des grands périmètres algériens, périmètre du Bas Chélf, Rapport.

I.N.S.I.D. (1998) - Projet pilote de la caractérisation de l'état actuel de la salinité du Bas Chélf, Rapports 1,2 et 3.

Mc DONALD ; BNEDER (1990) - Etude de l'avant projet détaillé des extensions de Guerouaou et de Sebkat Benziane et du réaménagement du Bas Chélf.

SOGREAH- SOGETA (1985) - Eudes, Rapports et Cartes.

أساليب الإدارة المتكاملة
لإستصلاح الأراضي الملحية
في الوطن العربي

1- مقدمة :

ركزت السياسات الزراعية العربية بصفة أساسية على زيادة الإنتاج والإنتاجية بالتوسع الأفقي والرأسي من خلال التقنيات الزراعية التي أتاحتها المستوى المعرفي والتقني والمادي السائد. وقد صادف ذلك الكثير من النجاحات المتحققة مواكبة للطلب المتنامي على الإنتاج المرتبط بالزيادة المضطربة في معدلات السكان وإرتفاع مستوياتهم الإقتصادية والإجتماعية. وفي خضم هذا الإهتمام بالإنتاج وزيادة الإنتاجية لم تلق الموارد الطبيعية الزراعية المتاحة، وخاصة الموارد الأرضية الإهتمام الكافي بصيانتها وتجديدها لإستمرار عطائها المستدام، وإتسمت الجهود العربية المبذولة في هذا الجانب بالقلّة النسبية مقارنة بحاجة هذه الموارد الطبيعية للصيانة والحماية والتجديد ومن ثم ظهرت مشاكل وظواهر متنوعة كالتصحر وتعرض التربة للتعرية والتملح وتناقص الغطاء النباتي الطبيعي.

وقد بذلت المنظمة العربية للتنمية الزراعية جهوداً كبيرة في هذا المجال حيث قامت بإعداد وإنجاز العديد من الأنشطة البحثية والدراسية الرامية لرفع الوعي والإهتمام بالموارد الطبيعية والحفاظ عليها وديمومتها، وعقدت ندوات وحلقات عمل تناقش الجدى الفنية والإقتصادية لإستصلاح الأراضي والمحافظة على هذا المورد من فقدان خواصه الطبيعية والكيميائية بزيادة الملوحة نتيجة للإستغلال غير المرشد لهذه الأراضي.

وقد تضمنت خطة المنظمة العربية للتنمية الزراعية لعام 1999 عدداً من المشاريع في مجال الحماية البيئية للموارد الأرضية وتحسين أساليب حماية وصيانة الموارد المائية السطحية والجوفية وتدعيم البحوث المشتركة في مجال تطوير كفاءة إستخدام الموارد المائية في البلاد العربية وتقويم إستخدامات تقانات الري وترشيد وحماية تنمية المياه في الزراعة العربية، وتعزيز دور منظمات مستخدمي المياه وذلك بهدف الخروج بصفة علمية لمعالجة مشكلة إستصلاح الأراضي الملحية والقلوية وإستزراعها وصيانتها من التدهور ورفع الإنتاجية.

وتهدف هذه الورقة الى إستعراض أساليب الإدارة المتكاملة لإستصلاح الأراضي الملحية في الوطن العربي والأدلاء ببعض التوصيات التي قد تساعد في وضع إستراتيجيات إستصلاح الأراضي المالحة في الوطن العربي.

1-1 إستصلاح وإستغلال الأراضي المالحة في الوطن العربي :

1-2 تعريف الملوحة والصودية :

تعرف التربة الملحية (Saline Soil) بإرتفاع كمية الأملاح الذائبة فيها، وتقدر كمية الأملاح عن طريق التوصيل الكهربائي (Electrical conductivity (Ec) بواحدات مللموز/سم أو عن طريق تجفيف وزن الأملاح الذائبة في كمية معينة من التربة ونسبتها الى وزن التربة وتعد التربة ملحية إذا بلغ التوصيل الكهربائي لها 4 مللموز/سم أو أكثر أو بلغت كمية الأملاح الذائبة فيها 2٪ أو أكثر.

كما تعرف التربة بالصودية (Sodic Soil) لإرتفاع كمية الصوديوم المتبادل لبقية الكاتيونات المتبادلة في التربة (Exchangeable Sodium percentage (ESP). وتعتبر التربة صودية إذا بلغت الصوديوم المتبادل بها 15٪ أو أكثر، كما تعتبر ملحية - صودية إذا ضمت الخاصتين معاً.

والتعرف المعمول به عالمياً للملوحة والصودية هو الوارد في النظام الأمريكي (Richards 1954) كما هو موضح في الجدول رقم (1) وقد قام كيفي (Van den Kevie 1976) بتصنيف أو تدرج معدلات الملوحة والصودية في التربة حسب أعماق التربة وطول جذور النبات ونوعية الأملاح، جدول رقم (2) وجدول رقم (3) للصودية. الجدول رقم (2) يمثل تدرج الملوحة من (1) (غير ملحية) كأحسن درجة الى (4) (شديدة الملوحة) وتطبق على المحاصيل قصيرة الجذور (Fibrous crops)، أما في حالة المحاصيل الوتدية Tap/ rooted crops فيتغير العمق الأول ليكون من 0-120 سم بدلاً من 0-30 سم ويلغي العمود الثاني.

في الجدول رقم (3) يمكن إستعمال نسبة إمتصاص الصوديوم (SAR) في غياب نسبة الصوديوم المتبادل، أما إذا زادت الملوحة أكثر من 16 مللموز/سم في الثلاثين سم العليا من التربة فتصير غير صالحة لنمو معظم النباتات إلا إذا إستصلحت.

1-3 مصادر الأملاح :

تنتج الأملاح من تجوية الصخور النارية والصخور الثانوية الغنية بالأملاح، كما أن البحار والبحيرات المالحة مصدر هام لها ومن هذين المصدرين تنقل الأملاح إلى مواقع تتجمع فيها عند ما تكون الظروف ملائمة لهذا التجمع من الناحية المناخية أو الجيومورفولوجية أو الهيدروجيولوجية أو الهيدرواوجية.

1-4 آثار الملوحة والصودية على القربة والنبات :

إزدیاد الملوحة حول جذور النبات يؤدي إلى رفع الضغط الإسموزي (Osmotic pressure) مما يؤدي إلى تعطيل أو إبطاء قدرة النبات على إمتصاص الماء وبالتالي يؤدي إلى إبطاء سرعة النمو والذبول وإلى فقدان جزء من المحصول، فزيادة ملوحة التربة من 6-9 Ec أو أكثر لاتصلح لزراعة كثير من المحاصيل إلا بعد إجراءات الإستصلاح لها.

أما الصودية فمن أهم مضارها تدهور خصائص التربة الطبيعية أو الفيزيائية من ضعف في معامل التوصيل الهيدروليكي في التربة الطبيعية ثقيلة القوام ونقص التهوية نتيجة لتفكك حبيبات التربة تحت تأثير الصوديوم مما يؤدي إلى تعفن الجذور.

2 : اساليب الإدارة المتكاملة لإستصلاح الأراضي الملحية :

ويقصد به الحفاظ على بقاء التربة على خصوبتها بدرجة تتناسب مع طريقة إستغلالها، وكذلك المحددات التي تحد من قدرتها على العطاء من مسببات تتعلق بفيزياء التربة (إنخفاض نفاذية التربة والتصلب (Compaction) وأخرى بكيمياء التربة (إرتفاع نسبة الصوديوم المتبادل، إرتفاع الرقم الهيدروجيني، إرتفاع نسبة كربونات الصوديوم، بالإضافة إلى محددات تتعلق بالمكون الحيوي للتربة (قلة المادة العضوية وإنعدام النشاط الميكروبي).

1-2 : طرق إستصلاح الأراضي :

عند إختيار طريقة معينة لإجراء عملية الإستصلاح يجب مراعاة الآتي :

- إقتصاديات العمليات المتبعة.

- كيفية إستمرار الحفاظ على قدرة الأراضي على الإنتاج بعد عملية الإستصلاح.

الجدول رقم (1) معدلات الملوحة والصودية

نوع التربة	التوصيل الكهربائي ملموز/ سم	نسبة الصوديوم المتبادل (%)
ملحية	> 4	< 15
صودية	< 4	> 15
ملحية - صودية	> 4	> 15

المصدر : Richards 1954

الجدول رقم (2) درجات الملوحة في السودان *

تدرج الملوحة	التوصيل الكهربائي ملموز/ سم عمق (30-120) سم		التوصيل الكهربائي ملموز/ سم عمق (0-30) سم		درجة الملوحة في التربة
	Na ₂ SO ₄	Na Cl	Na ₂ SO ₄	Na Cl	
1	<8	< 6	<5	< 4	غير ملحية
2	15-8	12-6	10-5	8-4	خفيفة الملوحة
3	24-15	24-12	16-10	16-8	متوسطة الملوحة
4	>24	> 24	>16	> 16	شديدة الملوحة

المصدر : Van der Kevie, 1976

* الجدول رقم (2) يمثل تدرج الملوحة من 1 (غير ملحية) كأحسن درجة الى 4 (شديدة الملوحة) أسوأ درجة وتطبق على المحاصيل قصيرة الجذور. أما في حالة تطبيق الجدول على المحاصيل عميقة الجذور فيغير العمق في العمود الأول ليكون 120-0 سم بدلاً عن 30-0 سم ويلغى العمود الثاني

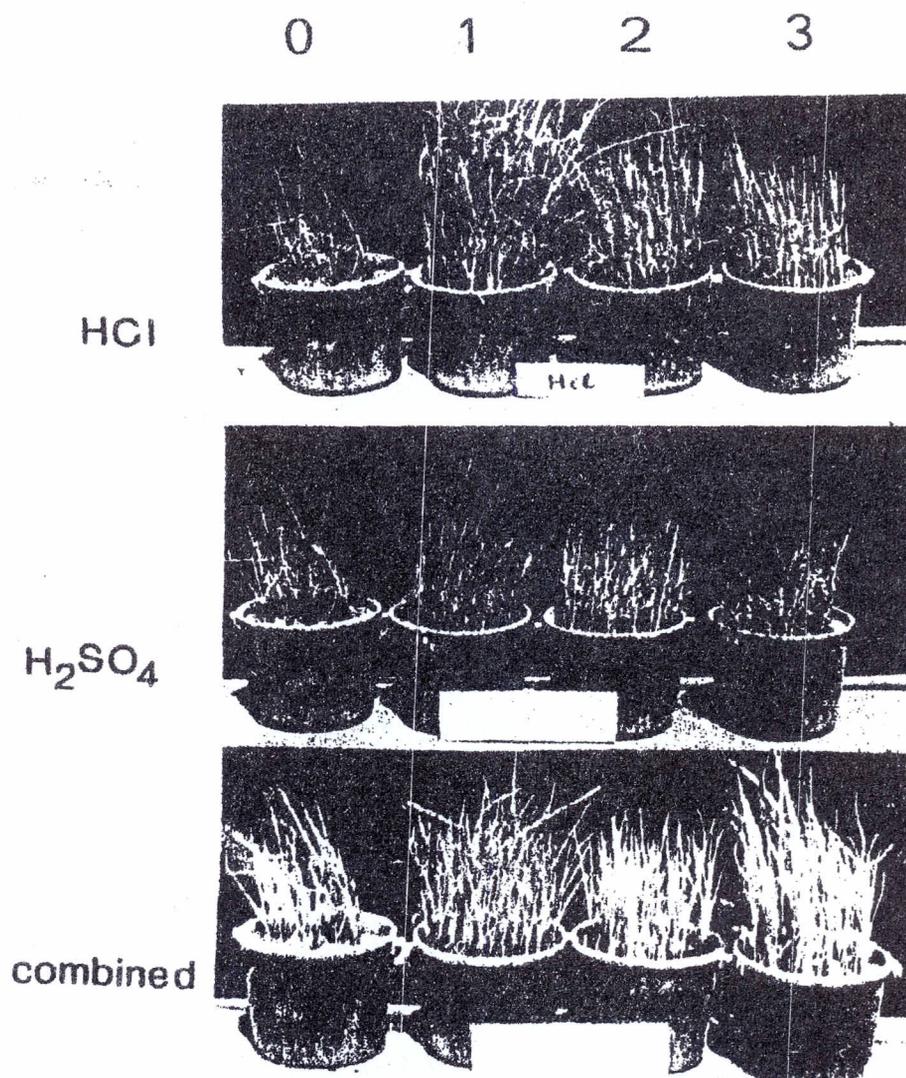
الجدول رقم (2) درجات الملوحة في السودان *

تدرج الصودية	نسبة إمتصاص الصوديوم (SAR)		نسبة الصوديوم المتبادل (ESP)		درجة صودية التربة
	30-90 سم	30-0 سم	30-90 سم	30-0 سم	
1	< 18	< 8	< 20	< 10	غير صودية
2	35-18	18-8	35-20	20-10	خفيفة الصودية
3	68-35	38-18	50-35	35-20	متوسطة الصودية
4	> 68	> 38	> 50	> 35	شديدة الصودية

المصدر : Van der Kevie, 1976

* في الجدول رقم (3) يمكن إستعمال نسبة إمتصاص الصوديوم في غياب نسبة الصوديوم المتبادل

PHOTO (2) : ACIDULATION POT TRIALS WITH AIBU-70



جدول رقم (4)

إنتاج الذرة الشامية بالطن المتري / الفدان

كبريتات الأمونيوم		اليوريا		المعاملة
(+) س ف	(-) س ف	(+) س ف	(-) س ف	
1.4	2.1	2.0	2.4	المرجعية (غير معاملة)
4.4	2.3	6.1	3.2	روث دجاج
1.5	0.6	3.3	1.7	كمبوست
1.1	0.8	2.2	0.6	إضافة رمل
5.3	4.4	5.1	0.4	المركبة

س ف = سوپر فوسفات

ملحوظة : إضافة السيوبر فوسفات أظهر تأثيراً إيجابياً مع سماد النتروجين والمصلح العضوي (روث دجاج أو كمبوست)

جدول رقم (5)

النتائج البيولوجية لأبوسبعين الكلايتوريا بالجم / القصرية

كلايتوريا			أبوسبعين			النتائج البيولوجية
صفر			صفر			
40	21	لا يوجد نمو	62	68	17	الوزن الطازج
-	-	-	264	300	100	% الزيادة
19.6	19.3	لا يوجد نمو	19.9	19.8	5	الوزن الجاف
-	-	-	398	396	100	% الزيادة

العضوية منها والتي زادت من غسل الأملاح وكان أثرها أوضح من مناوبات الري أما من ناحية الإنتاجية فإن سماد زرق الدواجن مع الجبس أو لوحده أعطى محصولاً أعلى من بقية المعاملات ولسماد زرق الدواجن البياض ميزة نسبية لا تتوفر في مصادر السماد الأخرى، حيث أنه يمكن رفع قدرة النبات على تحمل الملوحة (Salinity) بدرجة قد تصل الى 300 مللجرام لكل لتر ماء أو كيلوجرام تربة، وهذا يفسر نجاح تجربة استخدامه في الزراعة في ظروف الأراضي أو مصادر المياه ذات الملوحة العالية على سبيل المثال في منطقة الإسماعيلية بمصر وبالمناطق الشرقية بالمملكة العربية السعودية، حيث يحصل المزارعون في هذه المناطق على إنتاجية عالية من الخضار رغم وجود محددات ملوحة المياه والتربة.

يوضح الشكل رقم (1) الدور الذي يمكن أن تلعبه الأسمدة الحيوية العضوية في إحتواء محددات الأراضي الملحية المتدنية الإنتاجية على النحو الآتي :

- تحليل الأسمدة العضوية الى أحماض عضوية يساعد على تنظيم درجة أيون الهادروجين (pH) الى درجة تميل الى الملوحة مما يساعد في تحسين نوبان العناصر مثل الفوسفور والعناصر الأخرى وهذا يرفع من كفاءة إمتصاص النبات للعناصر الغذائية.

- إضافة الأسمدة العضوية للتربة يزيد من كفاءة النشاط الحيوي (الميكروبي) بإمدادها ببعض العناصر الأساسية لها.

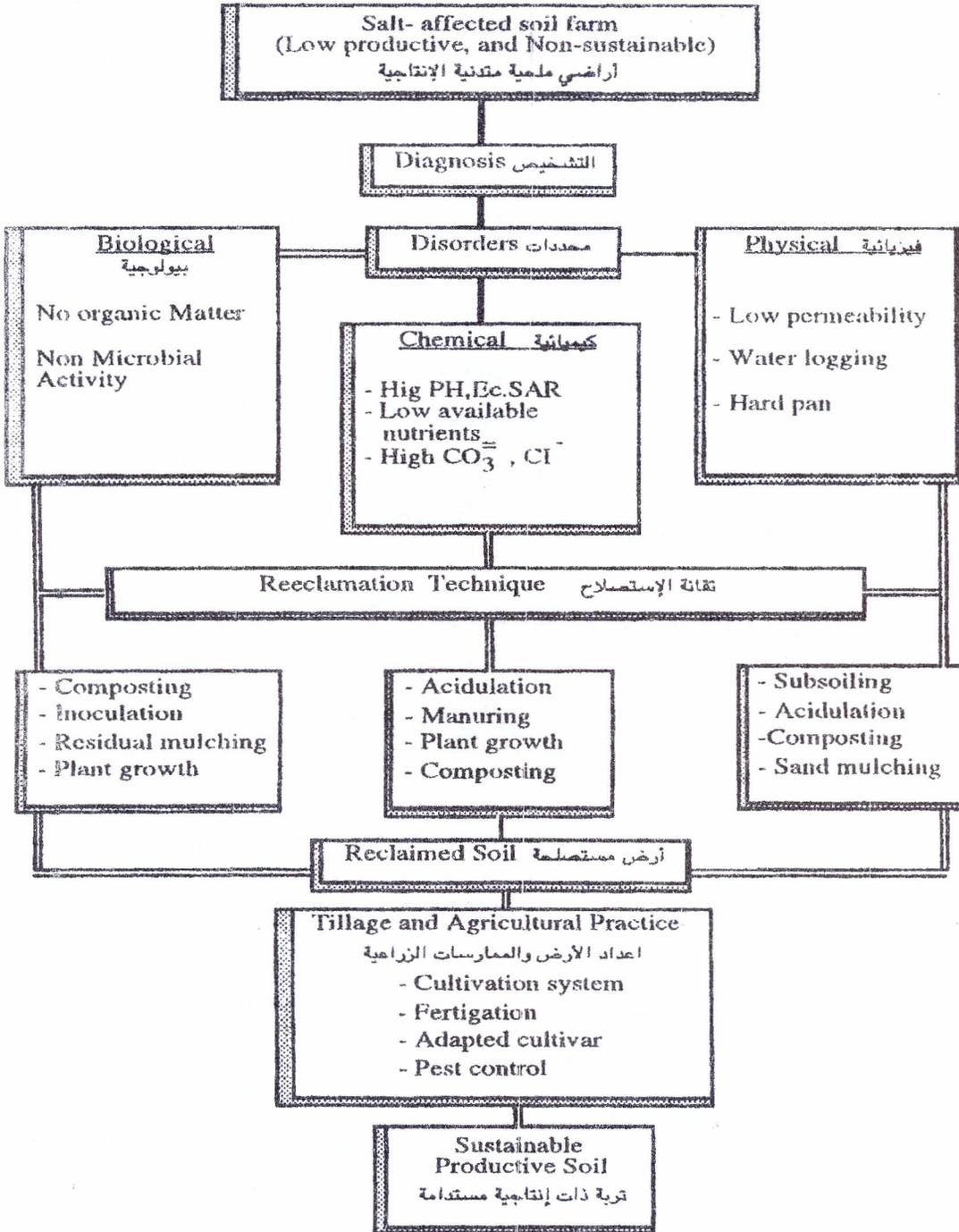
-- تساعد إضافة الأسمدة العضوية في المحافظة على نفاذية (تهوية) التربة عند استخدام الحرث التحتي وبالتالي المحافظة على بناء التربة مما يقلل تكرار ممرات الري.

3-3 الدورات الزراعية :

تحدد الدورات الزراعية على ضوء خواص التربة والعوامل البيئية المختلفة وخبرة المزارعين هنالك عديد من المحاصيل تقاوم معدلات عالية من الملحية والصودية فقد لاحظ Robinson et al 1969 أن القطن في السودان ينمو وينتج بصفة طبيعية في مناطق تزيد صوديتها عن 15٪ بشمال الجزيرة ولا تنخفض الإنتاجية إلا إذا زاد المعدل عن 23٪ وقد قام أحمد جابر 1986 بتجربة زراعة معظم المحاصيل المعروفة في السودان في منطقة سوبا بالسودان لمعرفة مدى مقاومتها وحساسية نموها بالنسبة للملوحة والصودية دون استخدام أي وسيلة من وسائل إستصلاح الأراضي. فوجد أن محاصيل الحبوب

شكل رقم (1)

أهمية التسميد الحيوي في معالجة الأراضي الملحية متدنية الإنتاجية



الزيتية المقاومة للملوحة زهرة الشمس، القرطم وفول الصويا وكذلك أبوسبعين وحشيشة السودان (Sudangrass) والذرة الشامية، أما الإعلاف البقولية فكانت مقاومتها متوسطة، أما محاصيل الحبوب مثل الشعير القمح ومحاصيل الخضر كالفجل البنجر والجزر والشمار والباذنجان الاسود والملوخية والطماطم والخس والفجل فلا تعاني كثيراً في نموها مثل الحبوب البقولية العدسية (Pulse crops) فهي شديدة الحساسية للملوحة والصدوية وفي مرحلة الإنبات وجد على طه أيوب 1977 أن العدس يتحمل الأملاح في مرحلة الإنبات أكثر من أي مرحلة أخرى في محطة بحوث الحديدية في السودان.

وقد أوضحت التجارب الحقلية أن زراعة محصولية ذي مجموع جذري غير عميق Fibrous root crop قد أدى الى ارتفاع الأملاح في منطقة الجذور بالمقارنة مع محصول ذي مجموع جذري غير عميق يتبعه محصول ذو مجموع جذري عميق Tap root crop وفي تونس يتم زراعة الأراضي الهامشية ذات الملوحة العالية 10-30 ملليموز/ سم نبات علفي إصطناعي يقاوم الملوحة وهو من نوع *Atriplex halimus*, *Atriplex numularia* وهو من عائلة *Acacia*.

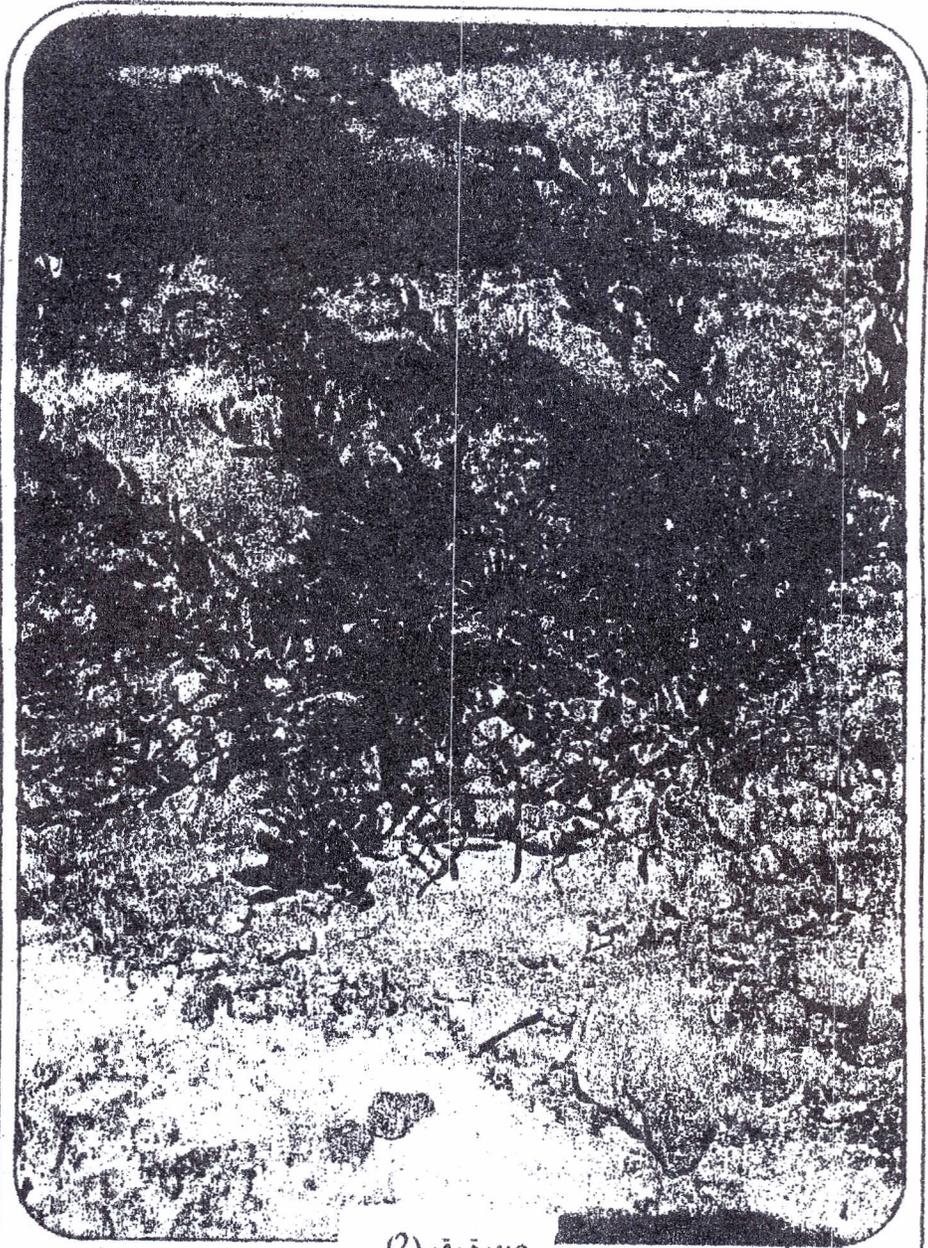
وفي الصورة (2) جزء من حقل تجريبي في منطقة سنوان بالجمهورية العربية اليمنية يوضح طبيعية الأرض الهامشية المرتفعة الملوحة والتي يمكن لنبات الهوهويا تحملها رغم فشل المحاصيل الأخرى.

2-4: تحضير الأرض :

يتم الحرث على عمق 30-40 سم حتى تمكن للأرض من التخلص من الطبقة الملحية وتهيئة الجو الملائم لرطوبة الأرض تفادياً لتركيز الأملاح، وقد دلت التجارب أن حرارة التربة عند عمق معين في كل حرارة يؤدي الى تكوين طبقة صلبة Hard pan وهي طبقة غير منفذة للماء وتسبب في زيادة الملوحة وقلّة التهوية وإنجراف التربة.

فلذا يراعى إختلاف عمق الحرارة في كل مرة مع إستعمال المحراث العميق Chisel plough بعد عدة حرثات.

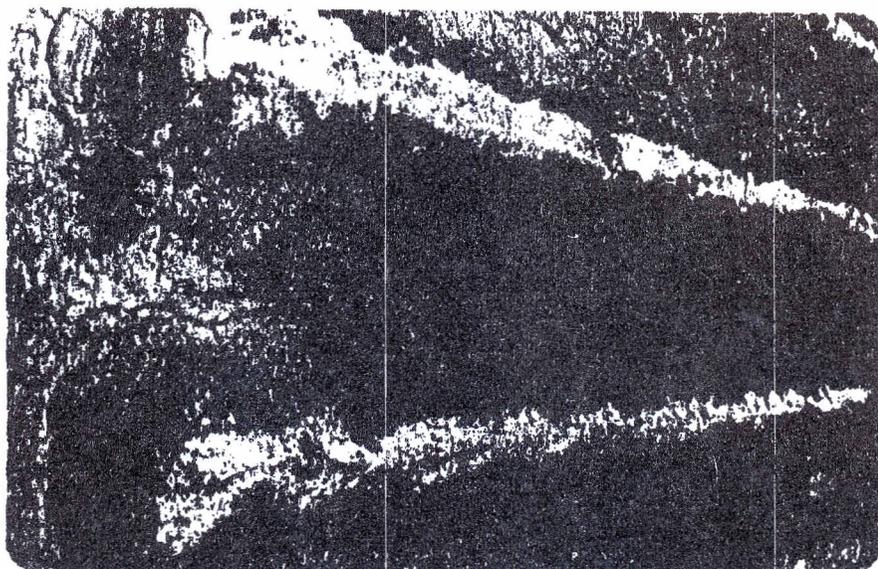
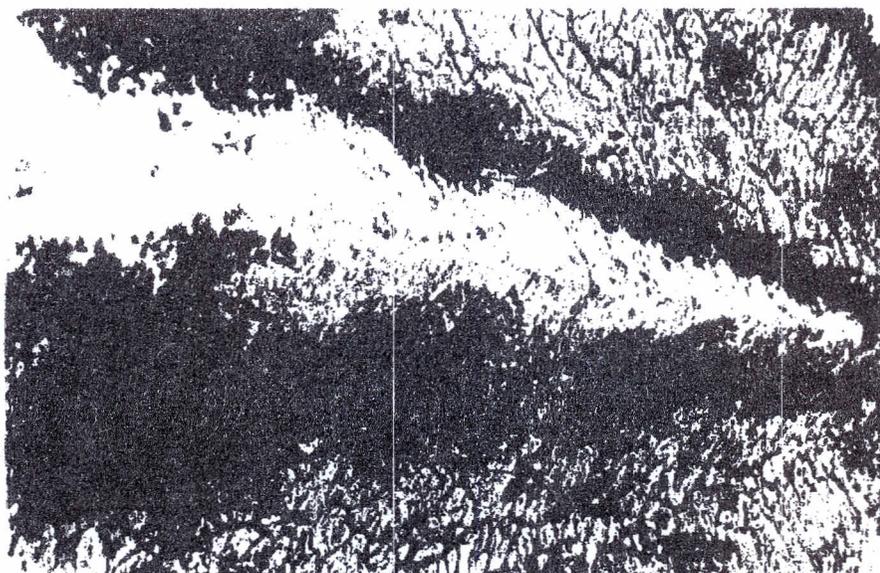
وفي الأراضي الطينية تتجمع الأملاح عادة في قمة السرابية، فلذا يراعى أن تزرع المحاصيل على جانبي السرابية وليس في قمة السرابية صورة رقم (3) وزراعة المساطب التي يتصل بها خطوط الري تحسن بيئة النمو في هذه المصاطب إذ تساعد هذه الخطوط على التخلص من الماء حول الجذور وأن أسوأ الزراعة كانت الزراعة على الأرض المسطحة.



صورة رقم (2)

جزء من حقل تجريبي في منطقة سنوان بالجمهورية العربية اليمنية يوضح طبيعة التربة الهامشية المرتفعة الملوحة والتي يمكن لنبات الهوهوبا تحملها رغم فشل المحاصيل الأخرى.

Salinity hazard



صورة رقم (3) توضح تجميع الأملاح في قمة السرابه

2-5: الطبقات الصماء :

هناك طبقات غير منفذة للماء ذات منشأ (أكاسيد الحديد وكربونات كالسيوم) ويطلق عليها في بعض الدول العربية الجاتش وتختلف هذه الطبقات الصماء في تركيباتها وسمكها ومكان وجودها من سطح التربة. فقد توجد قريباً من سطح التربة فتسبب في زيادة الملوحة وتعيق الصرف السطحي Surface run off وتسبب تجمع المياه (التغدق) (water logging).

والترية التي بها جاتش على عمق أقل من 50 سم من سطح التربة مع إرتفاع الملوحة في التربة لاتصلح للزراعة ربما للأشجار وإذا خلت التربة منها لاكثر من 50 سم تصلح لزراعة نباتات غير عميقة الجذور مع الإهتمام بنوعية ومواعيد مياه الري والتسميد العضوي والمعدني.

2-6: الصرف الزراعي :

قد يكون الماء الزائد سطحياً أو تحت السطح ويقسم الى ماء الجاذبية الأرضية Gravitational water، الماء المتاح أو الماء الشعيري Capillary water الماء الهجرسكوبي Hygroscopic water والماء المتحد Combined water.

وفي البحرين ومعظم الدول العربية توجد المياه السطحية في أعماق تتراوح بين النصف متر والمتر تحت سطح الأرض وملوحة هذه المياه تتراوح بين 5000-10000 جزء بالمليون مما يستوجب بناء قنوات سطحية أو أنابيب تحت السطح للصرف، الزراعي وخاصة أن مياه الري مائلة الملوحة (2000-6500 جزء بالمليون) مع الإهتمام بالمشاكل العامة الخاصة بقنوات الصرف (الأعشاب، الرسوبيات، تآكل بعض أجزاء المضخة).

2-7 نوعية مياه الري وغسيل التربة من الأملاح :

يعتبر التقسيم الأمريكي والروسي من أكثر التقسيمات إستعمالاً لتقسيم نوعية مياه الري وتنقسم مصادر مياه الري والغسيل الى قسمين رئيسين :

أ- المياه التقليدية :

وتشمل مياه الأمطار، الأنهار، مياه الآبار الجوفية والسطحية ومياه الينابيع والعيون.

ب- المياه الغير تقليدية :

وهي مياه التحلية من البحار Desalined Fresh water، مياه المجاري المعاملة،

مياه الأمطار الصناعية، والمياه المحلاة تعتبر مكلفة في الزراعة وتستخدم عادة في الزراعات المحمية (الصوب الزجاجية، الإنفاق البلاستيك المبردة وغير المبردة) وعادة ما يخلط مع الماء الجوفي بنسبة 9 : 1 للري في الزراعة المحمية أو الحدائق المنزلية. ويفضل القيام بعمليات الغسيل في الشتاء لخفض نسبة الأملاح التي تراكت خلال الفصل الحار خاصة في المناطق التي تهطل فيها الأمطار خلال فصل الشتاء.

2-7-1 : الغسيل بمياه الأنهار :

عادة ما تستخدم معادلة ردوس لتقدير احتياجات الغسيل في التربة. أجرى علي وفضل 1977 تجربة بمنطقة الكاملين شمال الجزيرة بالسودان لإستصلاح أراضي ملحية - صودية عن طريق الغسيل بمياه النيل الأزرق دون إستعمال مصلحات تربة وزراعتها بمحصول البرسيم، وكانت نتيجة الري المتواصل لمدة أربعين شهراً أن إنخفضت نسبة الصوديوم المتبادل من أكثر من 50٪ الى أقل من 10٪ في الى 30 سم العليا ممن التربة، كما أنه قد تلاحظ بالرغم من حداثة الري بمياه النيل بمشروع أكد والبكري 1997 بالولاية الشمالية بالسودان إلا أن الملوحة والصودية قد إنخفضت فيهما مقارنة بالأرقام قبل الري وبعده، جدول رقم (6). وقد درس مصطفى وعبدالمجد 1981 تأثير مناوبات الري كل 7 و 10 و 15 يوماً على توزيع الأملاح في أراضي طينية مستخدمين مياه النيل بمزرعة جامعة الخرطوم تحتوي على نسبة عالية من الملوحة والصودية بزراعة أبو سبعين لمدة ثلاثة أعوام، وقد أوضحت الدراسة أنه تحت ظروف الغمر المنقطع إزدادت كفاءة غسيل الأملاح بصورة فعالة بتكرار الري لفترات متفاوتة. وقد أجرى وداة عبدالحميد 1986 أثر إستصلاح طرق غسيل الأملاح الزائدة بالري بالأحواض والرشاشات وإستعمال المصلحات الكيماوية كالجبس على أراضي مخفض وادي الأردن، وقد تبين إستجابة معظم أراضي الوادي دون إستعمال الجبس في الأراضي الصودية وذلك لإحتوائها على نسبة عالية من كربونات الكالسيوم ووجود الجبس في بعضها وتمت زراعة الأراضي بالشعير لفترات مختلفة لتفاوت نسبة الأملاح.

جدول رقم (6)

التغيرات التي طرأت على بعض خواص التربة قبل الري وبعده

في مشروع البكري واكد بالشمالية

نسبة الطين		نسبة الصوديوم المتبادل		التوصيل الكهربائي		الرقم الهيدروجيني		العمق (سم)	سلسلة التربة	إسم المشروع
بعد الري	قبل الري	بعد الري	قبل الري	بعد الري	قبل الري	بعد الري	قبل الري			
43.0	48.0	19.0	32.0	5.9	19.8	7.5	8.1	30-0	اكد	اكد
44.0	49.0	15.0	19.0	10.0	16.2	7.3	7.7	60-30		
39.0	38.0	13.0	15.0	18.5	4.6	7.0	8.0	90-60		
24.0	24.0	9.0	19.0	7.6	0.6	7.6	8.3	30-0	غير مسماة	البكري
9.0	19.0	16.0	18.0	1.1	1.7	7.9	8.6	60-30		
10.0	11.0	19.0	15.0	1.5	4.0	7.8	8.6	90-60		

المصدر : (Hunting, 1965; Fadul, 1978 and Buramah, 1997)

2-7-2 : مياه الصرف الصحي :

لجأت بعض الدول العربية لإستخدام مياه الصرف الصحي دون معالجة في الزراعة، وقد ساهمت مياه الصرف الصحي دون معالجة بالإستخدام الأقصى للمياه وزيادة الإنتاج وتوفير الأسمدة العضوية وتحسين إحتفاظ التربة بالمياه. إلا أن هذه الممارسة تؤدي الى ظهور بعض المشاكل الحقلية والبيئية من خطورة الكائنات الدقيقة والممرضة والديدان والطفيليات والبكتيريا والفيروسات وتراكم العناصر بالتربة والنبات (Na,Cl,B) مما يشكل خطورة على الانسان والحيوان في المدى القريب والبعيد وقد إستوجب ذلك الإهتمام بتقنية معالجة مياه الصرف الصحي لمقابلة إحتياجات المياه المتزايدة للتوسع الزراعي والحفاظ على مصادر المياه خاصة بعد القبول الإجتماعي والإقتصادي لإستخدامها للأغراض الزراعية.

وتتم معالجة مياه الصرف الصحي معالجة ثلاثية Tertiary treated sewage water بالتخلص من المواد الصلبة بطريقة ميكانيكية ومن ثم التخلص من المواد العضوية العالقة بها بطريقة بيولوجية وتعقم هذه المياه بعد ذلك بالكلور الأوزون وهي مرتفعة نسبياً.

وقد دلت الدراسات في دولة الكويت (1999) أن مياه المجاري المعالجة ثلاثياً هي أصلح للري من المياه الجوفية لإنخفاض درجة التوصيل الكهربائي 1107-2400 و 4133 على التوالي، وكذلك لإنخفاض محتواها من العناصر الأخرى خاصة الكوراييد والصوديوم الذي يوجد بنسبة أقل من 50٪ في المياه المعالجة مقارنة بالمياه الجوفية.

2-7-3 : المياه الجوفية قليلة الملوحة Brackish Ground Water :

يجب عند إستعمال المياه الجوفية في الري أو الغسيل أن نأخذ في الإعتبار نوعية وكمية الأملاح بها، فقد تتأثر التربة بالملوحة الثانوية الناتجة من الري بمياه الآبار المالحة.

يقترح Kroudo 1958 إتباع نظام التبادل بين المياه الملحية والمياه العذبة في المناطق ذات الجو الحار، فالماء العذب يعمل على طرد الأملاح التي تحتفظ بها الأرض من المياه الملحية في منطقة نمو الجنور وتزداد مرات الري بالمياه العذبة كلما زاد تركيز الأملاح، ويوضح الجدول (7) تأثير إضافة ماء ذو تركيزين مختلفين من الأملاح الى تربة ذات تركيزات مختلفة.

جدول رقم (7)

تأثير إضافة ماء ذي تركيزين مختلفين من الأملاح

الى التربة ذات تركيزات مختلفة منها

ملح مغسول من التربة جم/كجم	ملح مضاف التربة جم/كجم	تركيزات الراشح جم/لتر	مقدار الاملاح في التربة جم/كجم		تركيز الاملاح في المياه المستعملة جم/لتر
			قبل الري	بعد الري	
29	20	2,60	42	48	56
1,27	19	7,95	42	1,75	
2,65	19	17,66	55	3,00	
4,80	19	29,19	45	4,54	
15	1,13	3,95	1,52	48	3,26
1,12	1,10	10,00	1,60	1,75	
2,46	1,16	17,82	1,62	3,00	
4,27	1,16	40,55	2,03	4,54	

حيث يوضح الجدول أن التربة ذات مستوى الماء الأرضي البعيد وذات الصرف الجيد لا يجتمع فيها من الأملاح نتيجة للري بمياه مالحة غير ما يكون في مقدار الماء الذي تحتفظ به التربة عند السعة الحقلية بصرف النظر عن مقدار مياه الري المضافة أو عدد مرات الري. أما إذا كانت مستوى الماء الأرضي قريباً من السطح فإن عوامل أخرى تتداخل وهي :

- زيادة ونقص تركيز الأملاح في الماء الأرضي نتيجة لوصول مياه الري اليه ويتوقف ذلك على تركيز الأملاح في مياه الري والمياه الجوفية.
 - معدل التبخر في السطح.
 - مقدار الماء الأرضي الذي يصل سطح التربة وبخاصة الشعرية.
- 2-7-4 : إحتياجات الغسيل :

من الضروري إضافة الجبس أو غيره من المصلحات الكيماوية لبعض الأراضي حتى يمكن خفض الصوديوم المتبادل.

وقد ثبت أن الجبس يعزز من غسيل الأملاح من طبقة التربة السطحية كما أنه يحسن الصفات الطبيعية للتربة خاصة معدل التخلل، كما يمنع تكوين الطبقة الصماء بالترب على سطح التربة وينتج عن ذلك زيادة الإنبات إلا أن الجبس لا يصلح لإستصلاح الأراضي الصودية والملحية في الطبقات السفلى في الأراضي الطينية الثقيلة القوام، بالإضافة الى أن الأراضي الطينية تحتاج الى حوالي 5 طن للفدان من الجبس لعملية الإستصلاح، وهذا يحد من إستعماله وعدم إرتفاع الإنتاجية بشكل واضح، يشكل محدداً إقتصادياً، وعليه يلزم إستخدام مصلحات كيميائية أخرى للإستصلاح التربة كالكبريت، ويشجع ذلك وجود كميات كبيرة من الجير في الأراضي العربية ولكن يحد من إستخدام الكبريت أنه يحتاج لفترات طويلة ليتفاعل في التربة الطينية الصودية، كما أن الحموضة الشديدة التي تنتج حول حبيبات الكبريت قد تضر بجذور النبات ولذلك لا بد من الأبحاث لدراسة أثر الكبريت في إستصلاح الأراضي.

3- إستخدام المياه المالحة في الزراعة :

3-1 المياه الجوفية :

وقد نلاحظ أن نتيجة للإستخدام المستمر من المياه الجوفية بدولة الكويت وزيادة

سحب المياه من الآبار، إرتفعت الملوحة في بعض الآبار من تركيز 4600 جزء من المليون في البداية الى تركيز 7500 جزء من المليون بعد 4 سنوات، ولذلك يجب تنظيم سحب المياه من الآبار الجوفية وتقدير تركيزات الأملاح بعد كل فترة وتوفير إحتياجات غسيل الأملاح من التربة سنوياً لمنع تراكم الأملاح.

ويوضح الجدول (8) علاقة إنتاجية أشجار الفاكهة بملوحة مياه الري في دولة الكويت، حيث أن المحاصيل تنخفض بنسبة 50٪ عندما تكون ملوحة مياه الري $Ec12$ أو 7500 جزء من المليون بالنسبة للنخيل و $Ec6.5$ بالنسبة للتين والزيتون الرمان و 4.5 بالنسبة للعنب وحوالي 3.2-3.3 للموالح. إلا أن التربة الرملية الخفيفة القوام يمكن ريها بالمياه المالحة إذا إستعملت لنباتات لها مقاومة للملوحة ويمكن خلط المياه المالحة بالمياه العذبة، ويمكن إستعمال هذه التقانة في التربة الرملية لتحقيق نتائج أفضل مما يمكن تحقيقه في التربة الطينية ثقيلة القوام.

جدول رقم (8)

علاقة إنتاج أشجار الفاكهة بملوحة مياه الري
(درجة التوصيل الكهربائي (E.C)

الإنتفاض المتوقع في المحصول				المحصول
50٪	25٪	10٪	سفر٪	
12	7.3	4.5	2.7	نخيل البلخ
5.6	3.7	2.6	1.8	التين - الزيتون - الرمان
4.5	2.7	1.7	1.0	العنب
3-3-3.2	2.2	1.6	1.2-1	الجريب فروت - البرتقال
				الليمون الأخضر - تفاحيات - جوز
2.8-2.5	1.9-1.8	1.4-1.3	1.1-1	خوخ - مشمش - لوز - برفوق
2.4	1.7	1.2	0.9	زيتية
1	1.2	0.9	0.7	فراوية

Source :

1. Ayers, R.S. 1977 : Quality of water for irrigation. Proc. Amer. Soci. for civil engineers: 103 No. IRS : 135-154.
2. Irrigating Deciduous Orchards 1981, Division of Agric. Sci., Univ. of California, Leaflet 21212.

2-3 : إستخدام مياه البحر للري بإضافة :

1- زرق الدواجن :

تشير الدراسات أنه بالإمكان إستخدام مياه البحر في الري بنسبة تصل الى 50% من الملوحة الكلية في وجود سماد زرق الدواجن الأبيض ويرجع ذلك الى :

- يساعد زرق الدواجن على توفير الماء الصالح للنبات عن منطقة الجذور (مكان وضع هذا السماد).

- يؤدي إضافة زرق الدواجن الى إنخفاض نسبة Na-Ca وأيضاً نسبة Na-K في مستخلص التربة، مما يضمن فاعلية الغشاء الخلوي للنبات.

وهذا يبرر فتاعة المزارعين بفعالية هذا السماد في وجود مياه ري رديئة في مناطق إستصلاح الأراضي الملحية والصحراوية بالمملكة العربية السعودية ومناطق الإستصلاح بجمهورية مصر العربية، وبخاصة في زراعة الخضر، ويجب التخلص من الحموضة pH (منخفضة) التي تنتج من مستخلص الزرق حتى لاتسبب ضرر للنبات في حالة إستخدام الزرق غير المعالج (رطب) مباشرة.

ومعظم الدول العربية تعنى بتربية الدواجن، الأمر الذي يعني توفر مصادر الزرق بالوطن العربي.

ب- إستخدام السماد الحيوي المتكامل :

إن أحداث التقانات العالمية لإنتاج المخصبات الحيوية هي تلك التي تجمع بين مكون ميكروبي وآخر عضوي ويعمل هذا السماد بألية حيوية إنزيمية تساعد على إستخدام مياه البحر في الري Biosaline Technology وذلك بعزل كاتيونات الصوديوم Na^+ Cations عن أيونات الكلور Cl^- Anions إنزيمياً، بما يسمح بتطاير الكلور وبقاء الصوديوم غير الفاعل، وبدون تأثير فسيولوجي ضار بالنبات، كما أن المكون الميكروبي يساعد على تحلل المواد العضوية الموجودة الى أحماض عضوية تنظم درجة الـ pH، القلوية بالإضافة الى توفير العناصر الغذائية الرئيسية والصغرى وإفراز بعض منظمات النمو المحسنة للإنتاج، وبدأت هذه التقانة بالمملكة العربية السعودية في إطار برامجها لتطوير التقانات الحيوية الملحية Biosaline Techonology.

3-2 نظام الري المستخدم :

يتوقف إختيار نمط الري على أنواع المزروعات وطبغرافية الأرض، ومؤخراً صارت إضافة الأسمدة الكيماوية الى مياه الري تقانة أخذة في الإنتشار مع الأنماط الحديثة للري، وهناك عدة طرق تستخدم لري المحاصيل في المناطق الملحية.

فالعوامل الإقتصادية لإستعمال لري أو غسيل الأراضي والظروف المناخية والبيئية هي التي تحدد طرق الري المستخدمة، وهي الرش Sprinkler التنقيط Drip الببلر -Bub ber والغمر Flood Irrigation والري السطحي Surface Irrigation ولكل من هذه الطرق محاسنها وعيوبها في أحد الحقول البتجريبية في دولة الإمارات العربية المتحدة يروى نبات الهوهويا بما يحتوي على 9000 جزء في المليون من الأملاح دون تأثير واضح على النمو عن طريق التنقيط.

وقد أعطت دراسة على أشجار النخيل واللوز الهندي (1993) والتي تروى بواسطة جهاز ري ستطور يجمع ما بين الري السطحي والري بالتنقيط (متحات في الجرن Buller Basin) من مياه مبدلة أو عادمه مردود إقتصادي عالي.

4- تقنيات ترشيد إستعمال مياه الري :

في التربة المرورية يؤدي نظام الري الى التملح الثانوي بإرتفاع مستوى الماء الجوفي نحو سطح التربة، وذلك في حالة الري بكميات زائدة من الماء، يقرب مستوى الماء من سطح التربة خاصة فإنه يتحرك بالخاصية الشعرية حتى يصل الى السطح حيث يتعرض الى البخر تاركاً الأملاح وتتحول التربة الى ملحية والثانية فقد البخر تاركاً محتوياته من الأملاح في التربة وقد إستحدث عدة طرق ووسائل لترشيد إستعمال مياه الري نورد منها

4-1 : إستعمال بعض المواد الكيماوية المعروفة (بمثبطات النتج) :

(Antitranspirants) والتي برهنت على مقدرتها في تخفيض معدل النتج دون تأثير على عمليات تبادل الغازات الأخرى على سطح ورقة النبات.

4-2 : عمليات التاقلم (Harding) :

وتتلخص في معاملة بذور ذات وزن معلوم ببعض المواد الكيماوية أو حتى الماء فتوضع في وزن معين من الماء ويترك حتى تمتصه، ثم تجفف تجفيفاً هوائياً الى أن ترجع

الى وزنها الأول وتكرر هذه العملية عدة مرات ثم تزرع هذه البذور، وقد أوضحت الدراسات بأن مثل هذه البذور يمكن مقاومة الجفاف أكثر من بذور غير معاملة، مما يساعد في تقليل احتياجاتها المائية.

3-4 : تربية محاصيل مقاومة للجفاف والتملح وذات إحتياجات مائية قليلة (مثلاً نبات الهوهوبا).

4-4 : إدخال التكنولوجيا المتطورة في الري لأغراض تقنين إستعمالات المياه في الزراعة.

4-5 : إستعمال مصدات الرياح وتغطية التربة بمواد عضوية أو كيميائية Soil mulching والزراعة المخللة (Intercropping).

4-6 : دراسة المتطلبات المائية لمختلف المحاصيل ونظراً لقلّة الدراسات حول المقننات المائية فهناك إعتقاد وسط جمهرة المزارعين في كثير من البلاد العربية وغيرها بأن المحاصيل المختلفة سيزيد إنتاجها كلما أعطيت كميات كبيرة من المياه وهنا يأتي نور الإرشاد الزراعي لتبصير المزارعين وصولاً لترشيد إستعمالات المياه في مجال الزراعة.

وفي الخلاصة يمكن القول أن مشكلة ملوحة التربة وإرتفاع مستوى المياه الجوفية هو نتيجة لعدة عوامل متداخلة تسبب في تدهور الأراضي الزراعية وأهم هذه العوامل :

- ملوحة المياه المستعملة في الري.
- ضعف نفاذية التربة وبالتالي صعوبة تصريف وتسرب المياه .
- التأثير المناخي الذي يتميز بشدة حرارة الصيف مما يؤدي الى إرتفاع متواصل لنسبة الأملاح في مياه الري والأراضي المستقية بها .
- إنخفاض مستوى أو درجة كفاءة الإستخدام لمياه الري المستخدمة وقصور شبكات البزل وإنخفاض كفاءتها وعدم صيانتها .
- إرتفاع تكلفة الإستصلاح وعدم توفر التمويل الكافي له .
- سوء الإدارة المائية

7: الخلاصة :

على ضوء ماتقدم يمكن إعتبار النقاط الآتية محاور للإستفادة منها لوضع إستراتيجية لإستصلاح الأراضي المالحة في الوطن العربي.

- تطوير مفاهيم وتوجهات البحث العلمي التطبيقي والتنفيذي لمشروعات الإستصلاح والإستزراع، وخاصة في مجال إدارة الأراضي المتأثرة بالأملاح وزراعتها.
 - لاتزال هناك الحاجة لإستكمال الدراسات التطبيقية في مجالات الطرق والأساليب المناسبة لإستصلاح الأراضي المتأثرة بالأملاح وإستخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في إستصلاح والزراعة، ورفع كفاءة عمليات غسيل التربة مع إختيارنظم الري والصرف المناسبة.
 - ضرورة وجود نظام لرصد التغيرات التي تحدث في التربة والمياه في مشروعات الإستصلاح تشمل ملوحة التربة ومياه الري ومستوى المياه الجوفية وإنتاجية الأرض مع إستخدام التقنيات والوسائل الحديثة لرصد هذه التغيرات.
 - زراعة المحاصيل المقاومة للملوحة وتطوير إستخدام تقانة الهندسة الوراثية والزراعة النسيجية.
 - المحافظة على خصوبة التربة وزيادة إنتاجيتها بأحسن الطرق الفلاحية المناسبة من دورات زراعية ومخصبات كيميائية وعضوية وبيولوجية ومنع التلوث وإيجاد مصادر تسميد ذات تكلفة رخيصة.
 - تأهيل الكوادر الفنية في مجال إستصلاح وصيانة الأراضي.
 - تطوير مفاهيم إستخدام السماد الحيوي المتكامل بإستخدام مياه البحر في الري.
 - إستخدام الآلات الزراعية المناسبة في أنواع التربة المختلفة وإجراء عمليات تحضير الأراضي دون تكوين الطبقات الصلبة بالقرب سطح التربة.
 - تطوير الإرشاد الزراعي لنقل نتائج البحوث خاصة فيما يتعلق بإستصلاح وصيانة وإدارة الأراضي المستصلحة بما يضمن المحافظة على هذه الأراضي وعدم تدهورها ثانية.
 - إدخال مفهوم السماد الحيوي المتكامل بإستخدام مياه البحر في الري
- Biosaline Technology**
- تأكيد حقوق الدول في التصديق تنظيم ضخ المياه السطحية والجوفية وخاصة في المناطق المهددة بإنخفاض مستوى الخزانات الجوفية وزوالها.
 - إدخال التكنولوجيا المتطورة والملائمة في الري لتقنين إستخدامات المياه وفقاً للإحتياجات المائية للمحاصيل المختلفة.

- استخدام أساليب وسياسات وتقنيات متطورة تراعى التوازن بزيادة الإنتاج وتلبية الإحتياجات المتزايدة للسكان والتوسع في الزراعة وصيانة الموارد الأرضية على أن تصحب تلك الأساليب والسياسات والتقانات سلوكاً عاماً وإلتزاماً جماعياً لمختلف العناصر البشرية التي تتعامل مع التنمية والموارد الأرضية تخطيطاً وتنظيماً وتنفيذاً سواء من الحكومات أو المؤسسات أو الأفراد.

8: المراجع العربية :

- إبراهيم محمود بريمة 1998، الأراضي الملحية والصودية في السودان، المنتدى العلمي الأول لمركز بحوث الأراضي والمياه بود مدني 19-20/9/1998.
- أحمد محمد جابر، إستصلاح الأراضي المتأثرة بالملوحة في السودان، ندوة إستصلاح الأراضي الملحية والقلوية في الوطن العربي، بغداد 17-20/3/1986 - المنظمة العربية للتنمية الزراعية.
- تاج السر بشير ومحمد جمال 1986، إدارة وترشيد الموارد المائية في الوطن العربي، ندوة إستصلاح الأراضي الملحية والقلوية في الوطن العربي ، بغداد 17-20/3/1986، المنظمة العربية للتنمية الزراعية.
- وداد عبد الحميد 1986، "ندوة إستصلاح الأراضي الملحية في الوطن العربي" - بغداد - المنظمة العربية للتنمية الزراعية.
- عبد المنعم بلبع 1979، الأتربة المتأثرة منظمة الأغذية والزراعة العالمية للأمم المتحدة، روما.
- خطة العمل القومية لمناقشة البرامج البحثية وخطة العمل في مجال إستصلاح الأراضي الرملية، دولة الإمارات العربية المتحدة 28-30/11/1998.
- تقرير حول إدخال أصناف جديدة من الأشجار المثمرة في دولة الكويت، 1999. إعداد المنظمة العربية للتنمية الزراعية، الخرطوم.
- تقرير فني حول دراسة كفاءة وتشغيل نظام الصرف الزراعي 1993. إعداد المنظمة العربية للتنمية الزراعية الخرطوم.
- ترشيد إستخدامات المياه في الزراعة 1993، ورقة المنظمة العربية للتنمية الزراعية الى لجنة الأمن المائي العربي، تونس 31/3-2/4/1993.



- دراسة حول التقنيات الحديثة في العالم في مجال المخصبات الحيوية وإمكانية تطبيقها في الدول العربية 1998، إعداد المنظمة العربية للتنمية الزراعية.
9: المراجع الإنجليزية :

- Ayoub A 1997.
Salt tolerance of lentil (lens esculenta) J.Hort. Sci 52 : 163-168.
- Gabiraam 1986, Reclamation of a Saline Sodic Soil in Soba Aka M.Sc thesis U. of K Sudan.
- The effects of irrigation interval, area, nitrogen and gypsum on salt distribution in highly saline sodic montmorillonitic clay soil under forage sorghum soil sci 132s 308-315.
- Richards L.A. 1954, Dignosis and improvement of Saline and Alkali Soils, USDA, Handbook Ivo, 60.
- Tahir and Fadle 1978, Adod Soil report.
- Van der Kevie 1976, Guidelines for land Suitability classification in Sudan SSA Wadi Medani.

