

*Évolution des propriétés physiques des
sols irrigués de la plaine d'El-Outaya
(Biskra)*

Présenté par
M.SELLAMI Lahcene
Monsieur HALITIM A. Professeur UHL Batna Promoteur
14 Mars 2013

Devant le Jury d'Examen composé de : Monsieur DAOUD Y. Professeur ENSA EL Harrach Président
Monsieur DJILI. K. Professeur ENSA EL Harrach Examineur Monsieur DRIDI B. Professeur ENSA EL
Harrach ... Examineur

Table des matières

Dédicace . . .	4
Remerciements . . .	5
صلى الله عليه وسلم . . .	6
Résumé . . .	7
Summary . . .	8
INTRODUCTION GENERALE . . .	9
Première partie: Analyse bibliographique . . .	11
Chapitre I : Caractéristiques Physiques des sols . . .	11
1- Etude sur le comportement physique . . .	11
2- Structure du sol . . .	11
3- Etude sur le comportement hydrodynamique et hydrique . . .	13
4- Densités du sol . . .	16
5- Teneur en eau ou humidité . . .	17
Chapitre II : IRRIGATION ET SALINISATION DES SOLS . . .	19
1-Généralités . . .	19
2- Evolution des terres irriguées affectées par les sels . . .	19
3-Evolution de la salinité dans les périmètres irrigués . . .	24
Deuxième partie: Etude expérimentale . . .	28
Chapitre I : Milieu physique . . .	28
1-1- Limites géographiques, climat, sols et végétations . . .	28
1-2- Aperçu géologique et hydrogéologique de la plaine d'El-Outaya . . .	34
Conclusion . . .	43
Chapitre II : Matériel et méthodes . . .	43
1- Choix des sites d'étude . . .	43
2- METHODES D'ANALYSE DU SOL . . .	43
Chapitre III : Résultats et Discussion . . .	44
1-Caractérisation physico chimique de l'eau d'irrigation . . .	44
III.1 Site n°1 . . .	47
III.2 Site n°2 . . .	61
CONCLUSION GENERALE . . .	87
Références bibliographiques . . .	89

Dédicace

Merci à toute ma famille, mon épouse et mes enfants, Amina, Asma, Ilhem et Khalil, pour leur amour et leur soutien en toutes occasions. A la mémoire de mon père et de ma mère.

Remerciements

Je remercie Dieu tout puissant de m'avoir donné la santé nécessaire pour m'aider à finaliser ce modeste travail.

Je voudrai remercier tous les membres de ce jury pour leur patience avec moi vues mes conditions que nul ne connaît mieux qu'eux. Qu'ils veuillent trouver ici l'expression de mes remerciements et de ma gratitude éternelles. Merci donc à messieurs les professeurs Daoud Y., Djilli K, Dridi B et Halitim A. pour leur soutien moral.

Je voudrai donc remercier le Professeur Daoud Youcef, collègue et ami, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider ce jury.

Mes remerciements aussi à M Halitim Amor, pour avoir été mon Promoteur, pour ses encouragements en dépit de tout. Il aura été également un soutien appréciable à maintes occasions, en tant que professeur, que collègue et surtout en tant qu'ami.

J'adresse également mes remerciements au Professeur Djilli Kaddour collègue et ami de longue date pour ses encouragements répétés et sa PATIENCE avec moi.

Mes remerciements vont également au Professeur Dridi Bachir pour avoir accepté de juger ce travail.

Je remercie Mr Dekhinet Said pour ses conseils concernant la partie géologique.

Je remercie aussi Mr Abdesslem Salah pour ses critiques constructives sur ce modeste document.

Je suis également reconnaissant à M. Djerah Abdelghani qui n'a pas hésité à passer ses soirées devant l'ordinateur pour m'aider à réaliser la mise en page de cette thèse. Je l'en remercie infiniment.

Je n'oublie pas mon épouse et mes enfants, Amina, Asma, Ilhem et Khalil qui ont fait le volontariat pour la frappe.

Mes remerciements vont aussi aux responsables des services agricoles d'El Outaya (Biskra) et surtout M. Bensmaïn pour leur aide logistique sur le terrain. Je voudrais également les remercier pour le soutien qu'ils apportent à mes étudiants chaque fois que cela est nécessaire.

Merci également à tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à ce travail. En effet, cette étude fait partie d'un travail que MES ETUDIANTS et moi-même menons depuis plusieurs années. C'est donc grâce à la continuité de ce travail que je peux aujourd'hui vous présenter cette étude qui, je l'espère est exhaustive.

ص خ لم

يرتكز هذا العمل على دراسة تدهور التربة في سهل الوطاية (بسكرة) تحت تأثير الري المنهجية المتبعة كانت كالآتي:

- اولا موقع رقم 1 يتكون من قطعتين أرضيتين مرويتان بمياه السدود و أرض شاهدة غير مروية.
- الموقع رقم 2 يتواجد في المكان المسمى "الحزيمة" حيث ثلاثة قطح أرضية مروية بمياه بئر لمدة أربعة مواسم زراعية ولمدة عامين أصبحت تسقى بمياه السد.

أدت هذه التجربة إلى النتائج التالية:

في موقع 1: شهدت القطعتين المرويتان نسبة كبيرة من التملح الثانوي مقارنة بالقطعة الغير المروية. أدى هذا التملح إلى تدهور الخواص الفيزيائية للأرض (بنوية، الاستقرار البنوي، المسامية ...) حيث تسبب ذلك في تدهور في الخصائص الهيدروديناميكية.

في موقع 2: وجدنا أن تدهور البنية هو أكثر أهمية مقارنة بالموقع 1 نظرا لكونها رويت من مياه آبار ذات نوعية رديئة.

Résumé

Le présent travail, porte sur l'évolution régressive des sols de la plaine d'El Outaya (Biskra) sous l'effet de l'irrigation.

Les traitements qui ont conduit notre démarche sont les suivants :

- un premier site comportant deux parcelles irriguées par les eaux de barrage et une parcelle témoin non irrigué.
- un deuxième site au lieudit LAHZIMA où trois parcelles ont été irriguées par les eaux de forage pendant quatre campagnes agricoles et, depuis deux ans par les eaux de barrage.

Il ressort de cette expérimentation les résultats suivants :

Au niveau du site 1: les parcelles irriguées ont subi une salinisation secondaire relativement importante par rapport à la parcelle non irriguée. Cette salinisation a déclenché une dégradation des propriétés physiques (structure, stabilité structurale, porosité...) dont les conséquences directes ont engendrés un disfonctionnement de propriétés hydrodynamiques(Ks et C.r).

Au niveau du site 2: nous avons constaté que la dégradation de la structure est plus importante que sur le site n°1 car elle a été irriguée par des eaux de forage qui sont de qualité plus médiocre.

Summary

This work focuses on the regressive evolution of the soils in the plain of El-Outaya (Biskra) under the effect of irrigation.

Our work was led on:

- A first site with two plots irrigated by the waters of the dam and one non-irrigated control plot.
- A second site at a place called LAHZIMA where three plots were irrigated by well water during four years and by the waters of the nearby dam (Fontaine des Gazelles) for two years. It was noticed from this experiment that:

At site 1 : the irrigated plots have undergone a secondary salinization relatively large compared to the non-irrigated plot. This salinization has triggered the degradation of the physical properties (structure, structural stability, porosity...) which caused the ill-functioning of hydrodynamic properties (K_s).

At site 2 : it was noticed that the degradation of the structure was more important than in site 1 due to the poor quality of well water, used for irrigation there.

INTRODUCTION GENERALE

Les zones arides sont caractérisées à la fois par leur climat peu pluvieux, et parfois très sec et très irrégulier (AUBERT, 1976). Dans ces régions, le climat rend l'irrigation nécessaire à toute mise en culture, exigeant ainsi une maîtrise des ressources en eau et en sol. Selon le cas et en fonction des conditions environnementales, aussi bien les sols que les eaux de cette région contiennent des sels en quantités plus ou moins importantes.

En Algérie, les zones arides représentent plus de 95% du territoire national dont 80% dans le domaine hyperaride (Halitim, 1988). Ces chiffres traduisent à eux seuls l'intérêt de ces régions sur le plan socio-économique. Dans ces zones, le déficit hydrique climatique est très marqué et le recours à l'irrigation est une nécessité incontournable pour accroître et régulariser le produit agricole.

Pendant à cause des caractéristiques chimiques (médiocres à mauvaises) des eaux de ces régions, des conditions climatiques très évaporantes et d'un sol fragile, les irrigations doivent être réalisées nationalement, exigeant une fraction lessivante pour éviter la dégradation des sols. Cette dernière est principalement liée à la salinisation des terres dont l'importance dépend d'autres caractéristiques pédologiques telles que la texture, l'E.S.P et la salinité (Cheverryet Robert, 2003).

D'après les estimations de l'Institut des Ressources Mondiales, plus de la moitié des terres irriguées du monde sont affectées par la salinité, la sodicité ou sujettes à l'engorgement à cause de la pratique de méthodes d'irrigation inadéquates de mauvais systèmes de drainage et d'utilisation des eaux salées (Hamdy, 1994).

Ces sols sont appelés sols salés, sols halomorphes ou sols salsodiques (Servant, 1975). Ces sols contiennent en excès des sels solubles et/ou du sodium échangeable. Ils sont défavorables à la croissance et au développement des plantes. En effet, les sels solubles essentiellement des chlorures et des sulfates de sodium ainsi que de sodium échangeable, augmentent la pression osmotique de la solution du sol, déséquilibrent l'état nutritionnel du sol et dégradent sa structure, ce qui induit un dysfonctionnement hydrique. Il est donc indispensable de maîtriser les effets néfastes de ces constituants sur les propriétés des sols et notamment la structure dont dépend la perméabilité et la rétention en eau. Or, ces propriétés fonctionnelles sont influencées en grande partie par la composition des sols et notamment la nature et le taux de la fraction argileuse.

Quatre éléments du sol constituent donc le fondement de leur fertilité : la fraction organique, les phases salines, la perméabilité et la rétention en eau.

Comme de nombreuses régions d'Algérie, la plaine d'El Outaya se caractérise par une grande extension des sols salés (Lezzar1980) et par l'utilisation de l'eau salée pour l'irrigation (Brinis,2003). Dans cette région, la salinisation est la cause majeure de la dégradation des terres qui causent de graves problèmes environnementaux tels que la mise en cause de la durabilité de cette mise en valeur qui a exigé de gros moyens financiers pour l'aménagement hydro-agricole de cette plaine.

Afin d'élaborer une stratégie de gestion rationnelle de l'eau et du sol en condition saline, notre travail s'inscrit dans cette problématique. Il consiste à étudier les changements de la qualité des sols sur deux sites de la plaine d'El Outaya.

- SITE numéro 1 : localisé dans la ferme expérimentale de C.R.S.T.R.A (Centre de Recherches scientifiques et Techniques des Régions Arides)
- SITE numéro 2 : Localisé dans le lieudit Lahzima.

Le document résumant ce travail est structuré en trois parties :

- La première partie est réservée à une synthèse bibliographique.
- La deuxième partie est réservée à l'étude du milieu et à la méthodologie.
- La troisième partie est réservée aux résultats, interprétations et recommandations.

Et enfin une conclusion générale.

Première partie: Analyse bibliographique

Chapitre I : Caractéristiques Physiques des sols

1- Etude sur le comportement physique

1-1- Généralités

Du point de vue physique, le sol est un système tri-phasique : phases gazeuse, liquide et solide. La phase solide comporte deux fractions : organique et minérale (Cordary, 1994).

Le sol doit être suffisamment profond pour que le système racinaire puisse se développer et explorer un volume de terre assurant sa nutrition car la capacité de rétention et la capacité d'échange cationique dépendent de la profondeur.

1-2- Texture du sol

La texture (ou composition granulométrique) est définie d'après la proportion des éléments du sol, classés par catégories de grosseurs, après destruction des agrégats. Selon Morel (1996), la texture d'un sol exprime la composition de la fraction minérale de ce sol en catégories de différentes grosseurs. Le sol doit permettre l'accès à l'eau, aux éléments nutritifs, à l'air et à la chaleur. Les propriétés physiques et chimiques sont étroitement liées à la texture du sol (Tiercelin et Vidal, 2006).

D'après les résultats de l'analyse granulométrique, par la représentation graphique en coordonnées tri linéaires, appelée triangle de texture, obtenues en portant sur chaque côté les valeurs en % des argiles (0 - 2 μ), des limons (2 - 50 μ) et des sables (50 μ à 2mm), on a :

Les sols argileux : (plus de 25% d'argile) sont lourds. Par conséquent, il faut développer une grande énergie pour les travailler, sol chimiquement riches à mauvaises propriétés physiques et milieu imperméable et asphyxiant.

Les sols limoneux (plus de 45% de limons) sont battants, pauvres en humus et d'une stabilité médiocre, la quantité de colloïdes minéraux est souvent insuffisante.

Les sols sableux (plus de 55% de sables) sont légers, faciles à travailler, manquant de cohésion, à réserve d'eau faible, et pauvre en éléments nutritifs.

2- Structure du sol

2-1-Généralités

La structure désigne le mode d'assemblage des particules, elle s'observe et se décrit à deux niveaux : à l'échelle macroscopique, structure proprement dite observable à l'œil nu et à l'échelle microscopique, microstructure ou micromorphologie (Duchaufour, 1976). La structure du sol peut être appréhendée sous l'angle d'arrangement de ses particules élémentaires ou de façon plus quantitative par le réseau d'espaces lacunaires issu de cet arrangement (Tiercelin et Vidal, 2006).

Le rôle du ciment est considérable, il s'agit des éléments fins ou colloïdaux (au sens large du terme argile, hydroxydes, carbonates, humus à l'état de complexes organo-minéraux), formant des ponts ou des revêtements autour des particules minérales plus grossières, et les liant entre elles plus ou moins intimement, il se forme alors des agrégats individualisés (Duchaufour, 1976).

2-2- Les grandes classes structurales

Selon Grimaldi (1981), les méthodes d'étude de la structure par les observations à différentes échelles restent essentiellement qualitatives.

Elles sont notamment basées sur la description des discontinuités qui affectent la répartition spatiale des constituants ; par exemple les domaines des particules argileuses, les agrégats, ou les mottes.

Or un certain nombre de paramètres mesurables de l'espace poral, telle que la porosité et surtout la distribution en fonction de la taille des pores permettent une approche indirecte mais quantitative de la structure du sol (Fies, 1971).

Il est clair qu'au niveau de la structure du sol, les argiles jouent un rôle spécifique dû à leurs propriétés communes à beaucoup d'autres constituants des sols, de pouvoir capter ou retenir l'eau. Les phénomènes d'hydratation et de dessiccation des argiles s'accompagnent dans la plupart des cas d'une modification du volume apparent qui se traduit par une réorganisation du matériau à différentes échelles (Tessier 1984).

La structure la plus recherchée est celle où les particules du sol sont organisées en petits grumeaux appelés "agrégats". Au sein de ces agrégats, les particules sont liées de façon plus ou moins stable (Henin, 1976).

La formation et la stabilisation des agrégats dépendent largement de la quantité et de la nature des argiles ainsi que de la présence de différents types de matières organiques et ciments tels que les oxydes de fer d'aluminium irréversiblement déshydratés et surtout les résidus organiques stables qui contribuent à la stabilité des agrégats du sol (Monnier et Pedro, 1971).

Cette structure du sol devient instable quand elle est sujette aux phénomènes physiques et mécaniques tels que la battance, la prise en masse, les actions mécaniques et l'action de l'eau (Grimaldi, 1981).

L'eau par sa pénétration rapide et brutale dans la porosité intra agrégats, provoque une dégradation et une instabilité de la structure (Hillel, 1974). Cela a pour conséquence, une modification du régime hydrique du sol de manière défavorable.

La concentration de la solution du sol peut avoir une incidence sur la structure. Ainsi comme le montre (Henin, 1977), la stabilité des agrégats en fonction des cations adsorbés décroît dans le sens Ba, Ca, Mg, K et Na. De plus pour un même ESP (pourcentage de sodium échangeable) la structure est meilleure avec une forte concentration de la solution du sol (Halitim, 1973).

Pour régénérer la structure du sol, plusieurs méthodes sont utilisées : Emploi d'amendement minéraux (chaux, gypse). Emploi d'amendement organique (fumier, compost). Emploi de conditionneurs de sol (fer et aluminium à l'état d'oxydes). Choix de techniques culturales adaptées.

2-3- Classification de structure

Ainsi, plusieurs tentatives de classification de structures ont été abordées par de nombreux auteurs. Aujourd'hui les classifications basées sur la genèse des structures sont devenues les plus convaincantes. Ainsi apparaissent les deux concepts de structure : les structures mécaniques et structures construites.

2.3.1- Structures mécaniques

Les structures mécaniques facilement visibles dans les sols secs, disparaissent plus ou moins par humidification par suite d'un gonflement des agrégats amenant la fermeture des interstices (Chamayou et Legros 1989).

La formation des agrégats physiques agit par des effets antagonistes aux forces de liaisons. Les actions physiques les plus fréquentes sont :

- Les tensions à la dissociation.
- La gélification
- Développement de système racinaire
- Et le travail du sol

2-3-2- Structures construites

D'après **Harris et al. (1966) in Chamayou et Legros** les agrégats arrondis ne peuvent provenir uniquement de tensions mécaniques. Ils résultent en partie, ou en totalité de l'activité biologique. Les principales populations qui interviennent dans les formations des agrégats sont les bactéries, les champignons et les vers de terre.

La structure du sol n'est jamais figée, elle est en perpétuelle évolution car elle est toujours soumise à la fois à des facteurs de genèse, et à des facteurs de dégradation.

Les bonnes structures sont évaluées par leur stabilité. Les plus stables sont les meilleures et les structures construites d'origines biologiques sont les plus recherchées par les agronomes pour leurs effets bénéfiques du point de vue nutritionnel vis-à-vis des plantes et du point de vue de leur stabilité.

3- Etude sur le comportement hydrodynamique et hydrique

3-1- Porosité du sol

3-1-1- Généralités

Le sol est un système à trois phases : une phase solide, une phase liquide et une phase gazeuse.

La proportion de la phase solide oscille entre 45 et 60 % (**Henin, 1976**). Son volume est le plus constant par rapport aux deux autres phases. L'autre proportion qui n'est pas occupée par la phase solide constitue l'ensemble des vides du sol, ou sa porosité, cette porosité reste le critère fondamental pour caractériser les propriétés physiques du sol..

La diminution de cette porosité qui est une conséquence de la compacité (tassement par les engins de travail de sol et de récolte) se traduit d'une part par une diminution de la perméabilité qui augmente les risques d'asphyxie et d'érosion, et d'autre part, par la formation d'horizons compacts qui s'opposent non seulement à l'infiltration de l'eau mais aussi au bon développement des racines.

3.1.2- Définition de la porosité

La porosité du sol est le siège de tous les phénomènes physiques et dynamiques de l'eau et de l'air. Pour pouvoir expliquer tous ces phénomènes qui sont d'ailleurs très complexes, il faut une étude détaillée de ce système poral ; en effet, plusieurs études ont été affectées en ce domaine visant à classer et à quantifier ce paramètre.

Les différentes porosités ont des rôles différents dans le fonctionnement du sol, c'est pourquoi les auteurs ont essayé de définir la façon dont on peut les caractériser et les mesurer pour en suivre éventuellement les modifications (Henin, 1977).

3.1.3- Les différents types de porosité

* **Porosité totale :**

La porosité totale est par définition le volume des espaces lacunaires contenus dans un volume apparent de matériaux donnés (Tiercelinet Vidal, 2006). Elle est calculée à l'aide de la mesure de la densité apparente (D_a), et de la densité réelle (D_r) du même échantillon et par la relation :

$$Pt(\%) = 1 - \frac{D_a}{D_r} \times 100$$

D_a : densité apparente (g/cm³)

D_r : Densité réelle (g/cm³)

Cette porosité est une résultante qui dépend de la texture, de la structure et de l'activité biologique du sol.

* **Porosité texturale ou d'assemblage**

La porosité texturale ou d'assemblage ou intra-agrégats correspond au vide existant dans un assemblage de particules constitutives de sol (sables, limons, argiles). Elle est liée alors à la constitution des matériaux c'est-à-dire à la taille, à la forme des constituants et à leur nature minéralogique, ce type de porosité ne dépend que de la constitution des matériaux.

Par conséquent, elle varie très peu avec les contraintes extérieures.

* **Porosité structurale ou fissurale**

La porosité structurale ou porosité inter-agrégats correspond aux fissures qui délimitent les mottes et les éléments structuraux. Elle prend en compte également les galeries, cavités et vacuoles. Par conséquent les pores de cette classe sont de très grandes tailles relativement aux pores de la classe texturale.

Cette porosité résulte de l'action du climat sur le sol (alternance de gel, humectation, dessiccation, activité biologique), par conséquent elle peut être affectée facilement par les contraintes extérieures telles que les actions anthropiques (Tiercelin et Vidal, 2006).

* **Indices des vides (E)** L'indice des vides est lui aussi un indice du volume relatif des pores mais il se rapporte au volume du solide et non au volume total du sol. En général, et varie entre 0.3 et 2.

$$E = \frac{V_f}{V_t} - V_f = \frac{V_a + V_w}{V_s}$$

V_f : volume des fluides

V_t : volume total

V_a : volume de l'air

V_w : volume de l'eau

V_s : volume du solide

Tous ces volumes sont exprimés en cm³.

3.1.4-Etude de la distribution de la taille des pores

* Intérêt de l'étude

Le régime d'écoulement de l'eau à travers un corps poreux dépend fortement de la continuité de la grandeur, de la forme et de la tortuosité. En un mot il dépend de la géométrie des pores. En effet, les expériences ont montré que dans un milieu de grande porosité totale (argile) composé de multiples petits pores a une perméabilité inférieure qu'un milieu de faible porosité totale (sable), mais composée de pores individuels plus grands (Hillel, 1974). Par conséquent la connaissance de la porosité totale d'un sol à elle seule ne suffit pas pour une corrélation entre la conductivité hydraulique, et cette porosité. Donc pour arriver à un tel objectif il faut une étude détaillée de la distribution de la taille des pores

* Formes des pores

Les pores du sol ne ressemblent pas à des tubes uniformes et lisses, mais ils sont très irréguliers, tortueux et inter-connectés. Malgré la complexité des problèmes, la théorie de (Chossat, 2005) distingue deux types de porosités : la porosité ouverte ou porosité efficace, et la porosité fermée ou porosité non efficace. Dans ce cas le volume non occupé par la matière solide peut être divisée en V_0 et V_f ces deux volumes totaux d'un échantillon de terre qui s'écrit :

$$V = V_s + V_0 + V_f$$

V_s : volume du solide (cm³)

V_0 : Volume de porosité ouverte (cm³)

V_f : Volume de porosité fermée (cm³)

Le volume de la porosité ouverte peut se subdiviser en fonction de la forme des pores et on peut distinguer ainsi les canicules qui sont des cavités atteignant les deux faces opposées du solide et les pores, en doigts de gants ou en (U), qui ont une seule ouverture et ne peuvent déboucher que sur une face du solide ou à l'intérieur d'un autre pore. Cette distinction est très importante vis-à-vis du mouvement de l'eau, s'il s'agit des canicules ou l'eau ne rencontre aucun obstacle lorsqu'elle pénètre le solide, l'air peut s'échapper par l'autre extrémité du pore. Par contre dans les pores en doigts de gants l'eau qui pénètre emprisonne les gaz inclus dans l'échantillon de l'eau. Concernant la porosité ferme, son volume ne joue aucun rôle vis-à-vis de la dynamique de l'eau, on peut la confondre alors avec le volume solide.

*Dimension des pores et son évaluation

Différents systèmes de classification des pores ont été proposés. L'attitude la plus simple consiste à diviser le volume poral en deux classes : la macroporosité et la microporosité.

La *micro-porosité* ou porosité capillaire est mesurée par le volume d'eau absorbé par capillarité et obtenue en calculant la différence entre la porosité totale et le volume d'eau absorbé par la macro-porosité. Dojarenka(1924)cité parHenin (1976), semble être le premier à avoir tenté une description détaillée des diamètres des pores, ce type de classification parait la plus logique. Malheureusement le système poreux d'un corps à une surface aussi compliquée qu'on ne peut la décrire géométriquement. En effet, les sections des pores du sol peuvent avoir toutes les allures géométriques possibles (triangulaire, polygonale). Pour dimensionner un tel système on a eu recours à la notion de diamètre équivalent ou le diamètre d'un cercle ayant la même surface que la section du pore réel, le concept de diamètre équivalent est défini par la formule de Laplace,

4- Densités du sol

4.1- Densité réelle (ou densité du solide) D_r

La densité réelle des sols varie entre 2.6 et 2.7 g/cm³. La présence du gypse diminue la valeur de D_r , en raison de sa faible densité réelle (2.33 g/cm³) (Vedllefon, 1979).

$$D_r = \frac{M_s}{V_s \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)}$$

$$D_r = M_s / V_s (\text{g/cm}^3)$$

M_s : masse du solide (g)

V_s : volume du solide (cm³)

4.2- Densité apparente à l'état sec (D_a)

La densité apparente à l'état sec est définie par le rapport entre la masse des particules sèches et le volume total du sol. Celle-ci est évidemment plus petite que la valeur de D_r .

Pour un sol dans lequel les pores constituent la moitié du volume, D_a vaut la moitié de D_r , soit 1.3 à 1.35 g/ cm³. Dans les sols sableux, D_a peut atteindre une valeur de 1.6 g/ cm³, tandis que dans les limons bien structurés et les sols argileux, elle peut tomber à 1.1g/ cm³ (in Tahtah,2005)

$$D_a = M_s / V_t (\text{g/cm}^3)$$

M_s : masse du solide (g)

V_t : volume total (cm³)

La densité apparente est influencée par la structure du sol, c'est-à-dire son degré d'ameublissement ou de compaction, aussi bien que par ses caractéristiques de gonflement et de retrait qui dépendent de son humidité.

4.3-Autres relations utiles

- Relation entre porosité et densités réelle et apparente :

$$p = (D_r - D_a) / D_r$$

P : Porosité totale (%)

D_r : Densité réelle (g/cm³)

D_a : Densité apparente (g/cm³)

- Relation entre la porosité et l'indice des vides :

$$e = p / (1 - p) \quad \%P = e / (1 - e) \quad \%$$

e : Indice des vides

- P : Porosité totale (%)

- Relation entre la hauteur de l'eau dans un tube capillaire et son rayon :

$$h = \frac{2n \cdot \cos \theta}{r \cdot \rho \cdot g}$$

h : hauteur de l'eau dans le tube capillaire

θ : angle de contact

g : force gravitaire

ρ : densité de l'eau

n : tension superficielle de l'eau

r : rayon du tube

La tension capillaire n, représente la succion nécessaire à drainer un pore de rayon r, c'est-à-dire, si on applique une succion égale à h à un échantillon, le volume d'eau qui se draine est égale au volume de pore dont le rayon effectif est égal à r (in Tahtah., 2005)

5- Teneur en eau ou humidité

La teneur en eau ou humidité est définie comme le rapport de la quantité d'eau contenue à la quantité de terre sèche. Les quantités sont évaluées en masses ou en volume.

Selon le cas, on définit l'humidité massique ou pondérale (H_p) ou l'humidité volumique (H_v) et lorsqu'on parle simplement de teneur en eau, sans autres précisions; il s'agit en général implicitement de la teneur en eau volumique (Tiercelinet Vidal, 2006).

5.1-Humidité pondérale H_p

$$h_p = \frac{M_w}{M_s} = \frac{\text{masse d'eau contenue}}{\text{masse de terre sèche (en g)}}$$

C'est la masse d'eau relative à la masse de terre sèche, souvent dénommée la teneur en eau gravimétrique. Un sol séché à l'air à température ordinaire contient plus d'eau que le sol séché à l'étuve. Ceci est dû à la vapeur d'eau qui reste absorbée et est souvent appelé "l'hygroscopicité" du sol.

Dans un sol minéral saturé, H_p peut varier entre 25 % et 60 % selon la densité apparente. L'humidité à saturation est en général plus élevée dans les sols argileux que dans les sols sableux. Dans les sols organiques, tels que les tourbes, l'humidité saturante sur base de poids peut parfois dépasser 100 % (Chossat, 2003).

5.2- Humidité volumique H_v

$$h_v = \frac{V_w}{V_s} = \frac{\text{volume d'eau contenue}}{\text{volume de terre sèche (en \%)}}$$

La teneur en eau volumique est généralement calculée sur la base du volume total de sol.

Dans les sols sableux la valeur H_v est de l'ordre de 40 à 50 %, dans les sols à texture moyenne, elle est d'environ 50 % et dans les sols argileux elle peut atteindre 60 %.

Les différents états de liaison de l'eau dans le sol peuvent être exprimés en fonction du potentiel capillaire. Ce dernier est mesuré en unité de force par unité de surface et exprimé en atmosphère ou par le logarithme décimal de la hauteur de colonne d'eau en centimètres. Sa notation est pF.

+Correspondances entre les humidités remarquables et les pF :

Point de rétention (et humidité équivalente) : pF = 2.7 à 3 ;

Point de flétrissement temporaire : pF = 3.7 ;

Point de flétrissement permanent : pF = 4.2 ;

Point d'hygroscopicité : pF = 6.5 (Henin, 1976)

Pour exprimer la teneur en eau volumique (H_v), qui est souvent plus facile à utiliser que (H_p) parce qu'elle se prête directement au calcul des quantités d'eau apportées au sol par l'irrigation ou la pluie, les humidités sont le plus souvent exprimées en pourcentage.

5.3- Degré de saturation (θ_s)

La teneur en eau d'un sol peut également s'exprimer par un indice ou un taux de saturation.

En effet, le sol est un milieu poreux comportant des vides. Or, pour connaître le degré de saturation du sol (θ_s), il faut calculer la proportion du volume des vides qui est occupée par l'eau (Tiercelinet Vidal, 2006).

$$(\theta_s) = \frac{V_w}{V_v}$$

V_w : volume des vides occupés par l'eau (cm³)

Vv : volume des vides (cm³)

Un sol totalement sec a un degré de saturation de 0 %, tandis qu'un sol complètement immergé et dont tous les vides sont remplis d'eau est saturé à 100 % théoriquement, mais dans la pratique une saturation à 100 % est difficile à réaliser.

- apportés par les eaux, aussi bien en quantité qu'en qualité, le développement des plantes est affecté, induisant une baisse des récoltes (Salimet Tessier, 1998).
- Le processus d'accumulation des sels dans les sols irrigués est largement déterminé par la salure de l'eau d'irrigation et la profondeur de la nappe phréatique (Johnson et Lewis, 1995). En effet, lorsque le niveau phréatique est proche de la surface du sol, les processus d'évaporation et de transpiration concentrent les ions vers le haut du profil du sol. L'un des défis séculaires de l'agriculture sous climats arides est justement de maintenir la nappe phréatique à une profondeur suffisante qui minimise les flux évaporatoires. Par ailleurs, l'utilisation dans l'irrigation en zones arides d'eaux fortement minéralisées, accentue les processus de salinisation et conditionne l'évolution pédologique des sols (Askri et al., 2003).

Chapitre II : IRRIGATION ET SALINISATION DES SOLS

1-Généralités

Dans les régions arides, le climat rend l'irrigation nécessaire à toute mise en culture, ce qui exige une maîtrise des ressources en eau et en sol. Suivant les cas et en fonction des conditions environnementales, les sols contiennent des sels en quantité plus ou moins importante. Dans les sols, la présence d'éléments en solution et la source des éléments nutritifs pour les plantes.

2- Evolution des terres irriguées affectées par les sels

2.1. Constats sur l'irrigation et la salinité

L'irrigation qui a induit la salinisation secondaire des zones arides et semi-arides, a également impliqué quelques régions sub-humides et humides par le même phénomène. Selon Chevery (1995); il est estimé actuellement que l'irrigation s'accompagne par près de 60 % des pertes d'eau et elle conduit dans les régions arides à une salinisation secondaire des sols et à une pollution accrue des eaux.

Le bilan à présenter ici n'est pas exhaustif. Il décrit essentiellement les expériences où l'irrigation a engendré la dégradation des sols et par delà, la réduction du potentiel de production. En effet, Hamdy et al. (1995) ont constaté que les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27 % de la surface irriguée dans le monde (tableau 01).

Tableau 1 : Estimation du pourcentage des terres irriguées atteintes par la salinisation dans certains pays de la méditerranée d'après Hamdy et al. (1995)

Pays	% Terres affectées	Pays	% Terres affectées
Algérie	10 -15	Grèce	07
Chypre	25	Jordanie	16
Egypte	30 – 40	Maroc	10 – 15
Espagne-	10– 15	Portugal	10– 15
Israël	13	Syrie	30 — 35

D'après les estimations de l'Institut des Ressources Mondiales, plus de la moitié des terres irriguées du monde sont salées, sodiques ou sujettes à l'engorgement à cause de l'adoption de méthodes d'irrigations inadéquates; de mauvais systèmes de drainage et de l'utilisation des eaux salées (Hamdyet al., 1995). Cette menace, selon Chevery(1995), occasionne, chaque année des pertes de terres variables selon les auteurs de 10 — 20 millions d'hectares.

Le constat à l'échelle globale est inquiétant. Il n'en demeure pas moins qu'il est beaucoup plus alarmant dans quelques sous régions du monde. Au sud de la méditerranée, on parle d'une salinisation progressive des sols, et une perte énorme agricole à cause de la salinité et de l'engorgement d'eau.

En Algérie, près de 10 — 15 % de terres irriguées, sont concernés par ces problèmes. Bien que le phénomène d'alcalinisation, selon Daoud et Halitim(1994) ne se pose plus, mais on estime que les terres salinisées seront difficilement récupérables.

2-2 Utilisation des eaux salées et risque de salinisation

L'utilisation consciente ou inconsciente des eaux salées en irrigation est une pratique qui a longtemps intéressé les chercheurs. En Algérie, Mins(1903) in Zella et al (1999) avait réalisé des expériences, en irriguant dans l'oasis de l'Oued Righ des cultures de palmiers dattiers, de luzerne, de tomate, de choux et de piment avec une eau titrant 8 g/l de sels. D'autres essais ont été poursuivis par Durand (1973) avec une concentration de 10 g/l de sels. Par ailleurs, au sud tunisien comme en Irak, l'irrigation avec une eau à 5 g/l est pratiquée depuis des siècles.

D'après Valles et al., (1983); l'utilisation d'eau salée pour l'irrigation engendre plusieurs problèmes que l'on peut résumer ainsi :

- Des phénomènes de toxicité des sels vis à vis du végétal.
- Une augmentation de la pression osmotique qui peut freiner voir arrêter l'absorption de

l'eau par le végétal.

- Une dégradation des caractéristiques physiques du sol, dégradation de la structure, baisse

de la perméabilité avec les risques d'asphyxie pour les racines.

Dans l'ordre des textures, les sols sableux ne risquent pas de se saler facilement par l'irrigation puisqu'ils ne retiennent pas l'eau, les sols à texture moyenne gardent de l'eau dans leurs horizons superficiels, cette eau a tendance à migrer vers le haut, attirée par forces capillaires, puis à s'évaporer et à déposer ses sels. Il faudra donc prévoir d'autant plus d'eau de lessivage que cette eau est chargée en sels. Les sols à texture très fine retiennent bien l'eau et la laissent d'autant moins s'infiltrer que leur texture est fine. Chaque irrigation laissant sur le sol la quantité de sels contenue dans l'eau utilisée. Ces phénomènes rendent

nécessaire un bon drainage qui, malgré tout laissera dans le sol une certaine quantité de sels dont devront s'accommoder les plantes cultivées (Dorand, 1983).

En Tunisie, les recherches faites sur l'utilisation des eaux salées ont montré qu'il est possible d'utiliser des eaux moyennement salines en irrigation à court terme sans gros risque, en respectant certaines règles de gestion ; ces dernières ne sont pas toujours respectées par les agriculteurs, d'où la salinisation dans certains périmètres (Hachichaet al., 1994). A long terme Hachichaet Mhiri(2003) ont montré que l'utilisation des eaux salées pour l'irrigation pouvait se traduire par une accumulation progressive des quantités de sels solubles. Comme est le cas dans le périmètre irrigué de KalaâtLandelous situé dans le système hydro-pédologique de ce bassin où on assiste à l'accumulation de grandes quantités de sels sur le continent. Il existe un haut risque de la salinisation des terres par suite de la rétention des eaux superficielles sur le continent.

D'autre part, Snoussiet Halitim(1998) sont également parvenus à démontrer que l'effet de la salinité peut être atténué par la correction de la qualité de l'eau. En effet, l'addition d'éléments nutritifs aux eaux naturelles salines a conduit à une augmentation de la croissance de deux espèces végétales, la tomate (variété Marmande, moyennement sensible) et le haricot (variété Contender, sensible à la salinité).

Habituellement, l'eau de drainage à salinité élevée ne peut pas être réutilisée directement en irrigation. Cependant, Sharma et Singh (1991) ont identifié trois possibilités dans ce sens :

- Mélange des eaux salines de drainage avec les eaux douces pour avoir une eau à salinité tolérable.
- Irrigation par rotation des eaux douces avec les eaux salines, dans cette technique, le canal de l'eau saline peut être substitué par celui de l'eau douce pendant les stades sensibles tel que le stade germinatif.
- Réutilisation directe de l'eau de drainage saline en agro-forestière pour l'irrigation des arbres tolérants aux sels tels que Casuarina, Tamarix, Prosopis et d'autres plantes halophytes.

2-3- Effets de différentes techniques d'irrigation sur les cultures

L'utilisation du goutte à goutte et de l'aspersion se développe partout dans le monde, particulièrement dans les pays à faibles ressources en eau. Leurs avantages semblent justifier leur remplacement des méthodes conventionnelles d'irrigation. En effet, plusieurs études visant la comparaison de la micro- irrigation et la gravitaire ont montré une amélioration du rendement, de la qualité du produit final et de l'efficacité de l'utilisation de l'eau. Boule et al. (1989) ont respectivement obtenu des augmentations de 22 % et de 40 % des rendements de la tomate par le goutte à goutte par rapport à l'irrigation gravitaire. Dans le même contexte, Sanders et al. (1989) ont décelé une augmentation significative du poids moyen et du calibre des fruits. Satputeet al. (1992) ont enregistré une augmentation de l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour la tomate de 5.9 à 11.7 kg/ m³ par le goutte à goutte par rapport au système gravitaire L'irrigation par aspersion améliore également le rendement par rapport à l'irrigation gravitaire, mais son utilisation demeure plus délicate et nécessite une eau de bonne qualité (Gornatet al., 1973). Lorsque l'eau d'irrigation est chargée (> 3 g/l) et que les doses d'irrigation sont mal estimées, l'utilisation du goutte à goutte entraîne une accumulation de sels autour des racines. Bar -Yucef et al. (1980) rapportent que l'irrigation par aspersion avec une eau moyennement salée (3.6 dS/m) entraîne chez plusieurs cultures une diminution de la turgescence des cellules et des

nécroses foliaires alors qu'avec la même eau, l'utilisation du goutte à goutte permet un bon déroulement de la culture.

Dans le même contexte, en irriguant une culture de melon avec une eau titrant 2.7 g/l, Bouaziz(1998), a obtenu une diminution de 22 % du rendement par rapport à l'irrigation goutte à goutte accompagnée de l'apparition de brûlures au niveau des tiges et de nécroses foliaires.

Pour les trois modes d'irrigation : Le goutte à goutte, l'aspersion et le système gravitaire, l'utilisation d'une eau légèrement salée a augmenté de 3 à 4 fois la salinité initiale du sol. Les concentrations en sels plus importantes dans l'horizon 0 - 20 cm et plus particulièrement dans le cas du goutte à goutte. La distribution verticale et horizontale des sels était plus uniforme pour le système gravitaire et l'aspersion, des zones de forte concentration en sels ont été observées dans le cas du système goutte à goutte (Askri et Rejeb, 2000 in Bouaziz1998) .

2-4-Risque de salinisation par la nappe

L'évolution du système sol, sous-sol, nappe aquifère sous - jacente des zones arides en générale et des zones sahariennes en particulier dépend essentiellement de la dynamique du niveau des eaux de la nappe phréatique et de leur qualité (Kovda, 1984).

Dans les régions sahariennes, le niveau de la nappe phréatique dans la majorité des surfaces mises en valeur est de l'ordre de 0.0 m à 1.5 m et les eaux excessivement salées. L'évaporation des eaux de la surface de la nappe est l'une des principales causes de la salinisation des sols, de la surconsommation de la ressource en eau d'irrigation et de la dégradation du milieu (Messaheret Meza, 2003).

Les différentes études de l'aménagement hydro-agricole réalisées dans les régions sahariennes en général arrivent à la conclusion que la principale cause de cumul des sels solubles dans les sols est la faible profondeur des eaux fortement minéralisées de la nappe phréatique, néanmoins cet état de fait est complètement ignoré lorsqu'il s'agit de problèmes de drainage (Messaheret Meza, 2003).

L'augmentation de la nécessité de la mise en place de mesures techniques adéquates et économiquement justifiées afin de prévoir et de gérer le risque de salinisation des terres irriguées dans les zones sahariennes ; la nappe phréatique est fortement minéralisée et omniprésente à faibles profondeurs n'est possible que le processus de l'évaporation de ses eaux est connu. La quantification de ce paramètre permettra la détermination de l'intensité des courants ascendants provoqués par l'évaporation pour différentes profondeurs de niveau des eaux de la nappe phréatique(Kovda, 1984 ; Mezaetal, 1998 ; Meza2001).

- De l'intensité des courants ascendants provoqués par l'évaporation pour différentes profondeurs de niveau des eaux de la nappe phréatique.
- De l'intensité du processus de cumul des sels solubles dans la couche active des sols et par conséquent la prédiction des régimes hydrique et salin des sols.
- Du type de la technologie du régime de lessivage, de la profondeur des eaux de la nappe phréatique, des paramètres de drainage et de leur variante optimale.

2-5-Contrôle de la salinité par le drainage et le lessivage

Le drainage et la salinité constituent deux composantes essentielles de l'évolution des périmètres irrigués.

La salinité (et la sodicité) d'un sol ont pour origine des eaux minéralisées qui viennent l'imprégner. Deux cas peuvent être considérés (Servant, 1976) :

- Salinité d'origine extrême
- Salinité d'origine interne

Dans le premier cas, il s'agit d'une salinisation ayant pour cause des eaux d'inondation ou d'irrigation. Le second concerne les sols où le processus de salinisation est provoqué par l'action d'un plan d'eau salée, suite-à une faible profondeur sous la surface du sol.

Dans les deux cas, l'absence de drainage entraîne une accumulation des sels dans le profil pédologique. La mise en place d'un réseau de drainage va permettre, en combinaison avec l'irrigation de contrôler la salinité en dessous d'un certain seuil dont le franchissement apparaît dangereux pour le développement des cultures envisagées.

Si les recherches relatives à l'irrigation connaissent un essor depuis plusieurs décennies, celles concernant le drainage, ont accusé un retard ne permettant plus de soutenir l'effort de développement et de répondre à des besoins, d'aménagement de milieux de plus en plus difficiles (Hachichaet Barri, 1999).

L'installation de réseaux de drainage pour la lutte contre la salinisation et l'hydromorphie constitue un enjeu majeur pour la durabilité des périmètres irrigués. L'approche adoptée jusque là pour la conception de ces réseaux est originaire des régions tempérées où le drainage lutte principalement contre l'engorgement. De ce fait, la conception se base sur les hauteurs de la nappe. Or en régions arides et semi-arides, le drainage sert essentiellement à lutter contre la salinisation. D'ailleurs l'évacuation de ces sels se traduit par un objectif de débit et non de hauteur de nappe (Zimmer, 2001 in Slama et al., 2003).

Le lessivage des sols salés a essentiellement pour but de maintenir en équilibre la balance sol /eau et de réduire la concentration salin dans la zone racinaire. Le contrôle de la salinité dans cette zone est le plus souvent le résultat d'une irrigation appropriée et de la gestion du drainage. Le teneur des sels d'un volume de sol donné à un temps t (S_t) est donnée par la formule suivante (Meziet Plaut, 1985) :

$$S_t = S_0 + C_i V_i - C_d V_d$$

Avec :

S_t : Salinité à un temps t V : Volume

S_0 : Salinité initiale i : Irrigation

C : Concentration d : Drainage

Dans les sols salins des régions arides, la quantité d'eau nécessaire pour le lessivage des sels est variable. Cserni (1998) considère que dans un sol à texture sableuse, le volume d'eau nécessaire au lessivage des sels dépend de :

- La distribution des sels dans le profil,
- La quantité et de la qualité des eaux de lessivage,
- La teneur en sels,
- La perméabilité,
- La conductivité hydraulique des sols et la technologie utilisée.

Par ailleurs, dans un contexte d'économie d'eau en irrigation, il importe de réduire les pertes par drainage et d'étudier le rôle de la saison pluvieuse dans le lessivage des sels (Bouarfaet Hammani, 2002). Ceci est d'autant plus vrai que les régions semi-arides sont caractérisées par des pluies annuelles importantes. Notons également que le drainage agricole induit

des impacts non négligeables sur l'environnement tels que le rejet d'éléments indésirables (nitrates, phosphores, ...). (Bahri, 1992; Scott et Wailer, 2001), le rejet important de sels et l'accroissement des débits de pointe (Lesaffre, 1989).

Des recherches récentes focalisent sur la prise en compte de ces considérations environnementales dans la conception du drainage (Ayarset al., 1997; Christen et Dominic, 2001). Il est également important de recueillir des références locales en matière de drainage pour contribuer à l'amélioration des méthodes et des modèles pour la conception adaptés au contexte local.

Dans les pays dits en développement, particulièrement sous climat aride et semi-aride, le drainage ne paraît pas prioritaire par rapport à l'irrigation, du fait de l'absence des programmes collectifs qu'implique ce type d'aménagement et peut être aussi par les coûts des draineuses. Il est néanmoins réconfortant de voir des pays comme la Tunisie (plusieurs milliers d'hectares) ou le Chili (1.500 ha) s'engager dans la bonne voie (Cheverry, Bourrie).

CONCLUSION

Les pratiques de l'irrigation et du drainage sont étroitement liées à l'aménagement agricole dans le cas des sols avec des problèmes de salinité.

En effet, qu'il s'agisse d'irrigation avec des eaux à charge saline, ou qu'il s'agisse de désalinisation de sols fortement salés, dans tous les cas, le drainage des terrains, constitue le préalable indispensable à la mise en œuvre de ces pratiques, les drains doivent évacuer non seulement l'excès d'eau mais également l'excès de sels.

Le réseau de drainage doit permettre, le maintien, suffisamment bas, du plan d'eau, afin de juguler les processus de salinisation par remontée capillaire des sels (niveau critique des nappes). Le calcul de ce réseau, doit tenir compte de la conduite particulièrement des irrigations en relation avec les problèmes de salinité : pratique des irrigations avec doses de lessivage.

Enfin, les problèmes d'irrigation du drainage sont conditionnés par la perméabilité des terrains, laquelle peut considérablement évoluer sous l'influence d'eau de mauvaise qualité.

D'une manière très générale, la pratique des amendements gypseux s'avère indispensable pour favoriser la percolation des eaux vers les drains, mêmes dans les cas des sols salés calcaires.

3-Evolution de la salinité dans les périmètres irrigués

3-1-Généralités

La salinité peut se définir comme toute teneur excessive en ions. Elle peut se présenter dans les sols ainsi que dans les eaux (Herrero, 1992).

Lés 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 ces sels solubles dans le sol peut affecter le développement des cultures (Simonneau et Aubert, 1963 ; Aragues, 1983 ; Rhoades, 1985 ; Szalbocs, 1986) et les propriétés pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la chute de la perméabilité hydraulique (Servant, 1970 ; Chevry, 1972 ; Agassi et al., 1981 ; Aubert, 1983 ; Halitimet al., 1934 ; Daoud, 1993).

Selon Salim et Tessier (1998), les facteurs de la formation des sols salés sont nombreux. Ils peuvent être purement climatiques (température, niveau des

précipitations, absence du drainage, composition de la roche mère) ou induits par l'homme (utilisation de l'eau saline dans l'irrigation, amendements excessifs).

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. 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, 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 et/ou à l'évaporation qui dépose leurs sels dans les sols. En régime non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (Rajuet al, 1993). Dans les mêmes conditions, You et al. (1999) in Djiliet Daoud (1999) 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 la texture du sol.

Les sols salés ont, un caractère azonale. Ils se rencontrent dans toutes les parties du monde (Servant, 1976 ; Mihaie 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. Dans le monde, la superficie des sols affectés par la salinisation est d'environ 955 millions d'hectares et environ 10 millions d'hectares de terres irriguées sont abandonnées chaque année en raison de la salinisation (Szalboics, 1994).

Les travaux effectués par les différents auteurs démontrent que la grande majorité des sols agricoles en Algérie sont affectés de sels ou susceptibles de l'être (Durand, 1958 et Halitim, 1973). La plupart des sols algériens sont situés en région aride à semi-aride, mais nous les rencontrons également sous climat sub-humide.

Les sels les plus abondants dans les zones arides et sub-arides, sont de deux types (Servant, 1976) : sels de série neutre tel que ; les chlorures de sodium ou halites (NaCl), les sulfates de sodium (mirabilite $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ou thenardite Na_2SO_4), les sulfates de magnésium (epsomite $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ et gypse $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et les sels de la série alcaline tel que : le trône (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $2\text{H}_2\text{O}$) et l'anacolite (NaHCO_3) ou la burkeite ($2\text{Na}_2\text{SO}_4$, Na_2CO_3).

La distinction entre les différents types de sols salés se fait par le biais du pH, de la conductivité électrique et de l'ES.P (USSS, 1954; CPCS, 1967 ; Soil Taxonomy, 1994).. Ces sols posent encore des problèmes pour leur classification. Des divergences existent entre les différents systèmes de classification. La majorité de ces systèmes recommandent une subdivision des sols salés en trois catégories (Daoud, 1993).

- Sols salins : caractérisés par une CE > 4 dS/m à 25 °C, ESP < 15 % et un pH < 8.5, ils présentent une perméabilité égale ou supérieure à celle des sols similaires non salés.
- Sols salins à alcalis : avec une CE > 4 dS/m à 25 °C, un ESP > 15 % et un pH < 8.5, ces sols présentent une perméabilité qui dépend du rapport entre la CE et ESP et de la teneur et la nature de la fraction argileuse.
- Sols à alcalis : présente une CE < 4 dS/m à 25 °C, ESP > 15 % et un pH compris entre 8.5 et 10 et ils possèdent une faible perméabilité.

3-2-Evolution de la salinité

La salinisation apparaît au moment où les sels s'accumulent dans le sol. La salinité des sols est plutôt un phénomène dynamique que statique, donc, plusieurs mesures sont nécessaires pour évaluer son statut à n'importe quelle période de temps (Herrero et Synder, 1997).

Les travaux déjà menés dans la région du bas Cheliff ont montré que la salinité évolue parfois de façon dramatique dans l'espace et dans le temps (Durand, 1956 ; Insid, 1998). Toutefois le lessivage d'hiver peut intervenir dans l'abaissement de la salinité. Tchentcheli (1990) a trouvé que le stock de sels entre l'automne 1985 et le printemps 1986 a diminué de 1961 kg/ha au niveau des couches de surface et dépasse le plus souvent les 1000 /kg ha dans le profil. En plus, des pratiques culturales adéquates peuvent rendre les pluies hivernales plus efficaces dans le lessivage des sels du sol (Rachicha, 1998).

La salinité de la nappe et la profondeur varient selon les saisons et la pluviométrie. Une pluviométrie élevée diminue la salinité de la nappe ainsi que son niveau piézométrique (Douaouiet al., 1999) 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.

Dans les milieux arides, la solution a tendance à se concentrer sous le double effet engendré par les prélèvements d'eau par les plantes et par l'évaporation. Au cours de cette concentration, il y a augmentation de la salinité et ainsi la composition relative en ions de la solution peut évoluer aussitôt que des phénomènes de précipitation apparaissent (Chevery, 1972 ; Vallesset al, 1983).

3-3-Principales voies d'évolution de la salinisation

Au contact d'une solution saline, le sol peut ou non s'enrichir en sodium échangeable. Cet enrichissement peut s'opérer sans que ça nécessite une évolution de la composition de la solution du sol. C'est le cas, notamment des sels dont la source est initialement riche en Na^+ et possédant un S.A.R > 10. Ce sont les zones côtières qui sont constamment soumises à l'influence de l'eau de mer qui présentent cette tendance.

En milieu continental, ce phénomène de sodisation est également très fréquent. La solution du sol y évolue sous l'effet de l'évapo-concentration donnant lieu à un enrichissement relatif en Na^+ par rapport au Ca^{2+} et par une évolution du pH lié à la présence de carbonates en solution. Certains auteurs qualifient cette salinisation de "voie alcaline" (Servant, 1936).

Les mêmes auteurs, pensent que le sol peut, éventuellement évoluer au contact d'une solution salée sans qu'il y ait enrichissement préalable du complexe adsorbant en Na^+ . La solution est alors dominée par les sels neutres, c'est pourquoi l'on parle de "la voie saline neutre". C'est le cas de la salinisation du Sahara d'Algérie (Daoud et Halitim, 1994).

Il existe une troisième voie d'évolution des solutions salines qui est dite " voie acide" de la salinisation qui constitue un cas complètement différent des deux autres.

En résumé, ces grandes voies d'évolution de la salinisation sont illustrées dans la figure 01. Ces trois types d'évolution conduisent, inéluctablement, vers les grands types de sols sals sodiques.

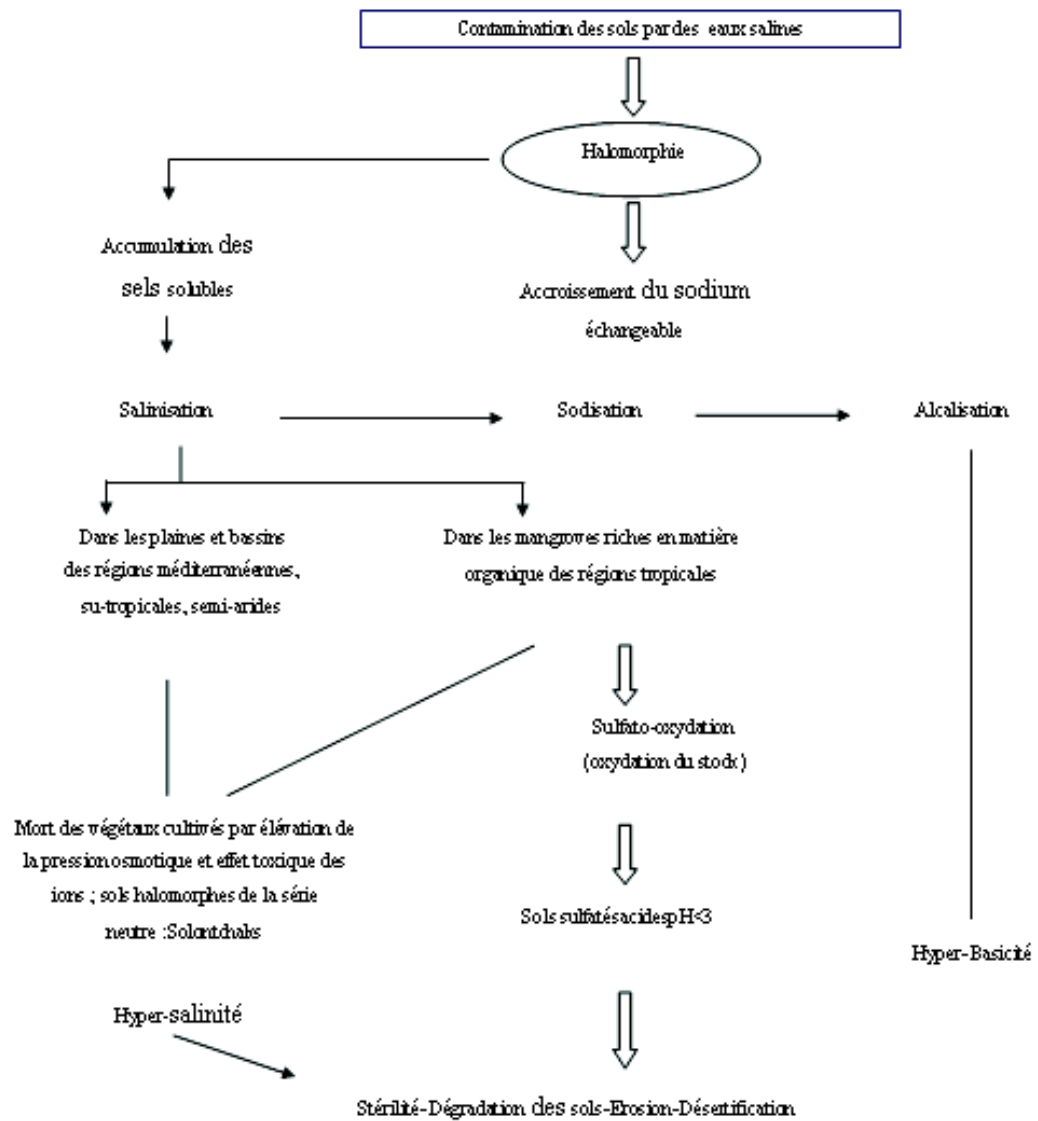


Figure 1 : Les trois principales manifestations de la salinité Cherbuy (1991)

Deuxième partie: Etude expérimentale

Chapitre I : Milieu physique

1-1- Limites géographiques, climat, sols et végétations

1-1-1- SITUATION ET LIMITES GEOGRAPHIQUES

La wilaya de Biskra connue sous le nom de "porte de désert" constitue la transition entre les domaines atlasique plissés du Nord et les étendues plates et désertiques au Sud, elle s'étend sur une superficie de 21671.24 km².

Vers le Sud, du point de vue morphologique, elle se présente comme piémont sans relief, marqué qui relie par une pente douce, les chaînes atlasiques aux étendues sahariennes du Sud.

Administrativement, elle est limitée au nord par la wilaya de Batna, au nord-ouest par la wilaya de M'Sila, au nord – est par la wilaya de Khenchela, au sud par la wilaya d'El Oued et au sud-ouest par la wilaya de Djelfa.

Biskra se trouve à une altitude de 124 mètres, sa latitude est de 34°, 48 et sa longitude est de plus de 5°,44 (Capderon, 1986).

1-1-2- DONNEES CLIMATIQUES

Les principaux paramètres climatiques retenus sont la température de l'air, la précipitation l'évapotranspiration et le vent. On s'est basé sur les données climatiques recueillies au niveau de la station météorologique de Biskra. Cette dernière est la plus proche de la région d'étude.

1-1-2-1-LES PRECIPITATIONS

La pluie est parmi les phénomènes les plus importants en raison de l'influence bénéfique ou néfaste qu'elle exerce sur les plantations (Lamonarca, 1985)

La région est caractérisée par des précipitations faibles, irrégulièrement réparties la plupart sont constituées, par des pluies d'automne et d'hiver.

Concernant les précipitations de la région d'étude, nous exposons les données dans le tableau suivant :

Tableau 2: Précipitations moyennes mensuelles durant la période (1977-2011)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Tot
Précipitation (mm)	10.02	10.56	10.32	11.36	9.85	5.23	0.38	6.73	13.42	10.75	20.42	8.45	125.4

Le tableau 02 montre une grande irrégularité des précipitations mensuelles moyennes. Elle varie de 0.38 mm (juillet) à 20.42 (novembre) par la période (1977-2001).

Il ressort aussi que presque la totalité des pluies tombent de façon irrégulière au cours de l'automne 44.59 mm soit 34,6% du total et en hiver 37.03 mm soit 39.51 du total.

1-1-2.2. LES TEMPERATURES

La température est également un facteur climatique le plus important. Il a une action majeure sur le fonctionnement et la multiplication des êtres vivants et comme elle varie selon un schéma géographique net, les espèces animales et végétales se distribuent selon des aires de répartitions souvent définissables à partir des isothermes (BARBAULT, 2000)

Tableau 3: Températures moyennes mensuelles maximales enregistrées au cours de la-période (1977-2011)

Mois	J	F.	M	A	M i	l'	J	A	S	O	N	D	Moy
T min (m)°C	7.04	8.69	11.35	19.46	19.4	24.45	27.19	27.09	23.1	17.49	12.14	8.02	17.22
T max (M)°C	16.65	19.17	22.57	25.97	31.23	36.63	40.06	39.54	34.33	28.18	21.61	17.54	27.80
T moy (°C) (M+m)/2	11.85	13.93	16.96	22.72	25.32	30.54	33.63	33.32	28.72	22.84	16.88	12.78	22.51

Le tableau 03 montre que la température la plus faible (7.04 °C) est enregistrée au mois de janvier et la plus élevée (40.06 °C) est enregistrée au mois de juillet et que la moyenne annuelle est égale à (22.51 °C). Par ailleurs on remarque que l'année est divisée en deux périodes :

La première période s'étalant de janvier à juillet l'on enregistre une augmentation progressive des températures.

La deuxième période d'août à janvier où les valeurs de températures baissent jusqu'à attendre leur minimum. Le maximum des températures est enregistré dans l'intervalle juillet - août, par contre le minimum est enregistré au mois de janvier.

1-1-2-3- LE VENT

Le vent constitue dans certains biotopes un facteur écologique limitant. Sous l'influence des vents violents, la végétation est limitée dans son développement. Le vent a tout d'abord une action indirecte :

- En abaissant ou en augmentant la température suivant les cas.
- En augmentant la vitesse d'évaporation. il a donc un pouvoir desséchant.

Les vents locaux sont de fréquence Nord-Est et Nord-Ouest et faible au Sud malgré une fréquence relativement faible. Le sirocco reste le vent qui mérite le plus d'attention en raison de l'action nuisible qu'il peut exercer sur les cultures, il souffle de sud pendant la saison sèche amenant avec lui sable et poussière.

Tableau 4: Vitesses minimales et maximales de vent pendant la période 1992 – 2001

Évolution des propriétés physiques des sols irrigués de la plaine d'El-Outaya (Biskra)

Mois	J	F	M	A.	M	1	J	A	S	O	N	D1	Moy
Vitesse maximale h	35.15	40/32	40.18	40.78	43.38	44.65	40.21	37	37.58	35.31	42.47	39.64	39.76
Vitesse minimale h	21.09	23.45	23.64	26.73	25.09	27.27	27	23.55	27.73	25.27	20.36	20.61	24.32

D'après le tableau ci-dessus, la vitesse maximale et minimale de vent au niveau de la station de Biskra varie dans un intervalle de 20–45 Km/h. Les vents jouent un rôle sur l'amplitude thermique de la température et provoquent la dégradation des sols et l'intensification de la désertification.

1-1-2-4- EVAPOTRANSPIRATION

L'évapotranspiration est très importante surtout quand elle se trouve renforcée par les vents- et notamment ceux qui sont chauds comme le sirocco.

Tableau 5: Evapotranspiration calculée parla méthode de PENMAN (1977-2001)

Mois	J	F	M	A	Nt	J	J	A	S	O	N	D	Moy
ETP (mm)	126,33	149.5	183,8	129.12	262	370	444.2	402.7	319.4	214,77	150.33	101,68	237.31

Le tableau ci-dessus montre que l'ETP la plus élevée est observée au mois de juillet avec 444.2 mm par contre l'ETP la plus faible se rencontre au mois de décembre avec 101.68 mm. La moyenne de l'ETP est évaluée à 238 mm environ.

Les données nous montrent l'importance des besoins en eau des cultures ce qui entraîne l'exploitation importante des aquifères pour l'irrigation.

1-1-2-5- L'INSOLATION

La région de Biskra reçoit une intensité lumineuse très importante surtout pendant les périodes les plus chaudes car l'atmosphère présente une grande pureté durant toute l'année.

Tableau 6: Le nombre moyen d'heures d'insolation (1971-1997)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
Insolation(H)	225	220	257	274	322	331	365.5	338	335	280	237	218.7	283.6

Le tableau 6 montre que, le nombre moyen annuel d'heures d'insolation est d'environ 283.6 ce qui correspond approximativement à 9.4 heures par jour, le phénomène est régulier passant d'un minimum en décembre de 213.7 heures à un maximum en juillet de 365.5 heures.

1-1-2-6- L'HUMIDITE RELATIVE DE L'AIR

Tableau 7: Humidité relative moyenne pour la période (1971-1997)

Mois	J	FI	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Moy
HR moy %	55,4	50.02	43.8	38.8	35.6	29.4	28.4	29,06	39.43	45.97	54.7	57.8	42.36

L'humidité relative de la région est très faible, elle varie durant l'année, d'un maximum de 57.8 % pour le mois de décembre à un minimum de 23.4 % en juillet.

1-1-2-7- SYNTHÈSE CLIMATIQUE

1-1-2.7.1- DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE GAUSSEN

GAUSSEN considère le climat d'un mois comme sec si les précipitations en mm sont inférieures au double de la température moyenne en °C. Le climat est sec quand la courbe des températures est au-dessus de celle des précipitations, humide dans le cas contraire, le diagramme ombrothermique réalisé est caractérisé par une période sèche qui dure toute l'année.

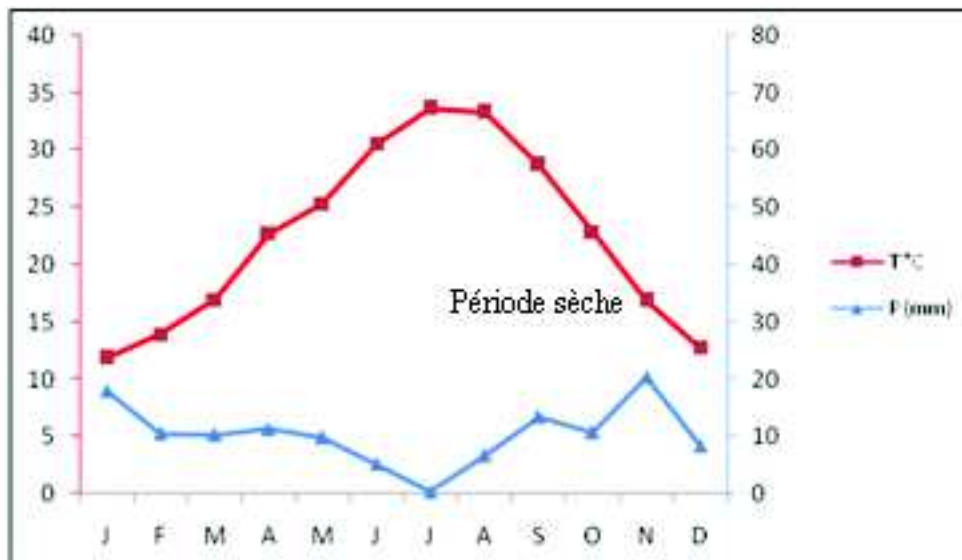


Figure 2: Diagramme ombrothermique de GausSEN de la région de Biskra (1977-2011)

1-1-2-7-2- CLIMAGRAMME D'EMBERGER

EMBERGER a mis au point un quotient pluviométrique, en utilisant la formule suivante :

$$Q = \frac{1000p}{\frac{(M + m)}{2} (M - m)} = \frac{2000p}{M^2 - m^2}$$

Q : quotient pluviométrique d'EMBERGER M : Moyenne des maxima du mois

Le plus chaud (°K)

M : Moyenne des minima du mois le plus froid (°K) P : Pluviométrie annuelle en mm STEWART (1969) a transformé le quotient d'EMBERGER pour le climat méditerranéen, et obtenu est la formule suivante : $m = 7.04$

$$Q_z = 3.34 \frac{P}{M - m}$$

$$Q = 3.34 \left[\left(\frac{125.49}{40.06} - 7.04 \right) \right]$$

$$Q = 13.03$$

Figure 3: CLIMAGRAMME D'EMBERGER

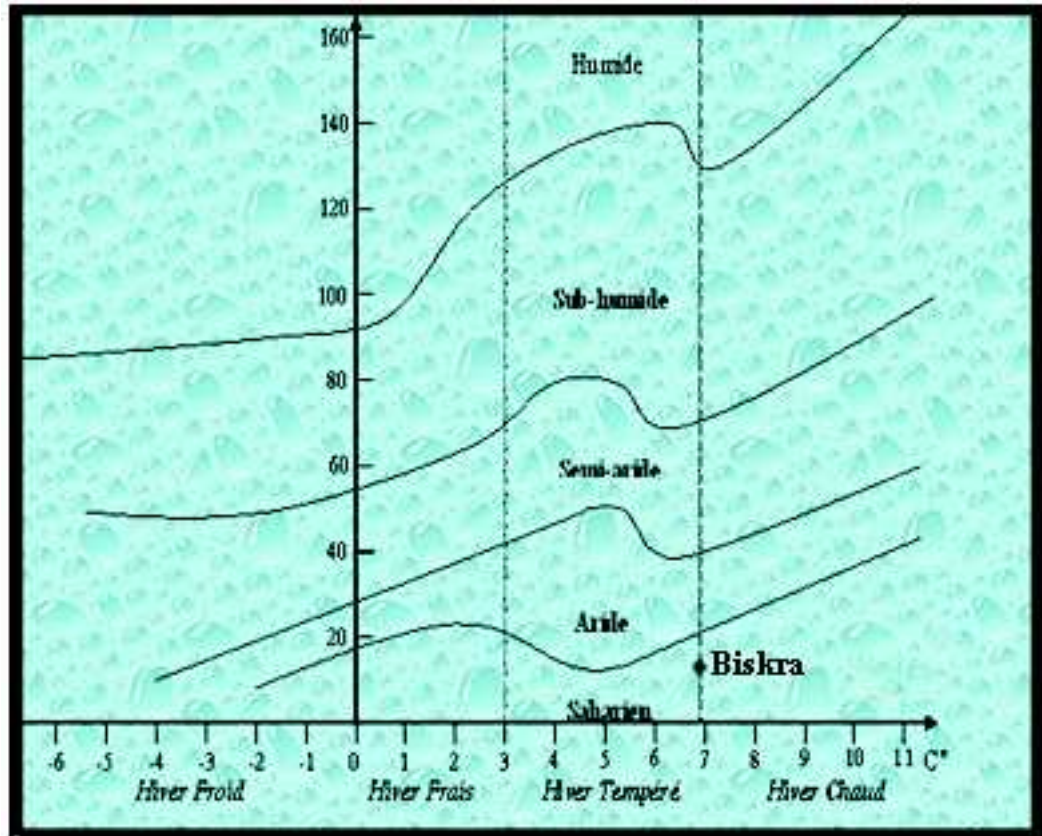


Figure 3: CLIMAGRAMME D'EMBERGER

L'observation du climagramme d'Emberger nous permet de situer la région dans un étage bioclimatique saharien hiver tempéré (figure 03).

1-1-3- LES SOLS DU SAHARA ALGERIEN

Dans ces régions arides, les sols, d'une manière générale, posent d'énormes problèmes de mise en valeur. Ils présentent souvent des accumulations calcaires ou gypseuses et sont la plupart du temps, salés et sujets à l'érosion et à une salinisation secondaire (Aubert, 1960).

Conséquence de leur nature propre et des difficultés liées à la maîtrise des irrigations et surtout des problèmes de drainage, les sols irrigables au Sahara sont en faible quantité, et dans de nombreuses zones en deçà des réserves d'eau mobilisables. Sur la base des études disponibles actuellement qui ont porté sur près d'un million d'hectares, on n'a dénombré qu'environ 100.000 ha irrigables, soit 10 % des sols cartographiés (Daoud et Halitim, 1994).

1-1-3-1- LES ETUDES REALISEES

Le tableau 8 résume l'état des études pédologiques qui ont été réalisées à ce jour dans les régions sahariennes La classification des sols utilisée dans ces études a été adaptée de la classification française (CPCS, 1961).

Les études de reconnaissance (échelle du 1 /100 et 1/50.000) ne couvrent que moins de 920.000 ha soit une superficie très faible. Les documents disponibles actuellement ne permettent que le recensement de superficies limitées en égard aux disponibilités en eau. En outre, certaines études concernent des zones déjà mises en valeur. Elles ont été principalement réalisées dans le Sahara septentrional : (wilayas de Bechar, Biskra, Ouargla et dans une moindre mesure dans les wilayas de El Oued et de Ghardaia) et dans le Sahara central (régions du Touat et du Gourara dans la wilaya d'Adrar).

Les études de détail ont concerné environ 80.000 ha sur lesquels un peu plus de la moitié (55 %) ont été considérée aptes à l'agriculture irriguée. Les paramètres utilisés pour les classifications d'aptitude sont d'inclusions (pierres, graviers et cailloux). Les paramètres topographiques qui conditionnent le drainage ne sont qu'évoqués, et la salinité du sol n'a été, le plus souvent, considérée que comme une contrainte mineure, maîtrisable grâce au lessivage.

1-1-3-2-LES CARACTERISTIQUES ET PRINCIPAUX TYPES DE SOLS

La couverture pédologique présente une grande hétérogénéité et se compose des classes suivantes (CPCS, 1967) : minéraux bruts, peu évolués, halomorphes et hydromorphes.

Halilet(1998) a résumé les principaux sols du Sahara Algérien dans le tableau suivant :

Tableau 8: les principaux sols au Sahara Algérien in Halilet(1998)

Classe	Sous classes
Sols minéraux bruts	Lithosols ou formations rocheuses Sols minéraux bruts d'ablation ou regs Sols minéraux bruts d'apport
Sols peu évolués	Sols des dayas Sols des buttes à Tamarix Sols des Oasis
Sols holomorphes	Sols salés Sols sodiques Sols salsodiques
Les paléosols	Les paléosols calcimagnésiques Les paléosols halomorphes

La particularité des sols du Sahara est leur régime hydrique qui est du type aridique. Ils sont généralement pauvres en éléments nutritifs, leur pH alcalin (> 7.5) limite la solubilité des éléments minéraux, le taux de calcaire élevé insolubilise le phosphore et diminue son assimilation, la perméabilité est élevée et provoque des pertes par lessivage d'éléments minéraux notamment les nitrates, leur faible teneur en argile leur confèrent une faible capacité d'échange cationique (Daoud et Halitim, 1994 ; Rezki. 2000 ; Halilet et Dogar. 2000).

Comme tous les sols des régions arides du monde, les sols des zones sahariennes d'Algérie contiennent des quantités relativement importantes de sels solubles, l'accumulation de ces sels dans ce type de climat est due à la rareté des pluies qui ne pénètrent pas suffisamment et profondément dans le sol pour provoquer une infiltration appréciable (Halilet, 1998).

1-1- 4-LA VEGETATION

La végétation naturelle dépend en grande partie des conditions hydrologiques et des sols. Il a été constaté que sur le terrain au niveau où la nappe se trouve à une grande profondeur, on rencontre des plantes du type *Salsolavermiculata*, *Suedamollis* du type *Sarexpachystylis*. L'état des plantes herbacées est très médiocre et pratiquement toute la surface du sol subit l'action directe des rayons du soleil.

La végétation est mieux développée et plus variée là où la profondeur de la nappe est faible. La phytoflore est représentée essentiellement par *Salsolavermiculata*, *Salsolabariosa*, *Carexbachystylis* et par des graminées (A.N.R.H in Othmane, 1997).

L'exploitation agricole est fortement influencée par les conditions physiques locales, la géomorphologie, la topographie, la circulation de l'eau. Des cultures céréalières, maraîchères et arboricoles sont pratiquées partiellement.

Notons par ailleurs que l'oléiculture et l'élevage ovin constituent la richesse principale de la population locale.

CONCLUSION

L'étude du milieu naturel nous a permis, tout d'abord, de prendre connaissance de tous les facteurs physiques qui dominent dans cette région.

En effet, l'interaction de ces paramètres, semble donner lieu à un contexte de plus en plus sévère et hypothéquant pour le développement de l'agriculture dans bien d'endroits. Compte tenu de l'abondance des ressources en eau et dont la qualité est variable, les paysans continuent à s'agglutiner autour des terroirs anciens, au lieu d'explorer de nouveaux terrains aussi fertiles et dont la mise en valeur pourrait être peu contraignante. Mais, la salinité reste une composante majeure du milieu contre laquelle il faut agir sciemment. Car, si certains aménagements n'ont pu susciter la motivation des agriculteurs, il n'en reste pas moins que l'on n'y a pas maîtrisé la pratique de l'irrigation et, par delà, la préservation des sols et de tous les périmètres des risques salin et alcalin. En résumé, on peut attribuer la dégradation qui affecte l'espace agricole à l'action combinée de l'ensemble des facteurs climatiques, géologiques, pédologiques et anthropiques.

L'étude du climat vient de confirmer un certain nombre de caractères classiques du climat méditerranéen aride, à savoir :

- Une pluviosité annuelle très faible et très irrégulière
- Des températures moyennes assez élevées et une sécheresse très prononcée et longue
- Une grande luminosité
- Une évaporation intense

Tous ces facteurs déterminent une forte aridité. En effet, les remontées capillaires peuvent se produire et leur importance pourrait être éventuellement grande, aussi bien dans le périmètre irrigué, que dans la région toute entière.

1-2- Aperçu géologique et hydrogéologique de la plaine d'El-Outaya

1-2-1- Les aspects géologiques et géomorphologiques d'El-Outaya

1-2-1-1 Introduction

La région d'El Outaya se localise entre le massif Aurassien au nord et l'ensemble Atlasique au sud. Ce sont deux unités structurales plissées caractérisées par de vigoureux anticlinaux et synclinaux.

Ils présentent, le plus souvent, des affleurements marno-calcaires que l'érosion a largement entamés. Le modelé qui en résulte est typique des régions arides. Les sommets sont des crêtes qui débitent un matériau plus ou moins grossier qu'on trouve sous forme de cône d'éboulis nappant des niveaux de glacis étagés. Les vallées sont drainées par des oueds épisodiques qui s'enfoncent dans d'épais alluvions témoignant de l'ancienne importance du réseau hydrographique. La plaine qui s'étend sur d'importantes surfaces se distingue par l'aspect « aridic » des sols. En effet, le diapir du djebel Mellah participe d'une manière considérable à la salinisation de la quasi-totalité des terres agricoles. Sa position géographique (nord-est de la zone d'étude) va permettre aux agents de transport (ruissellement et vent) d'alimenter sans interruption les horizons de surface en sels.

La notice explicative des cartes géologiques des Aurès (J.M.Vila ,1977) et les travaux de Laffite(1939), révèlent les formations suivantes :

1-2-1-2 La Stratigraphie

Le trias : il est défini par le diapir du djebel El Maleh. C'est un mont post miocène à noyautriasique. Il est constitué de marnes bariolées et gypsifères. Son épaisseur dépasse les 1000m.

Le lias : il affleure au nord d'EL Outaya.

Le jurassique : Il très peu représenté dans notre zone d'étude.

Le Crétacé :

Barrémien : ce sont des grés avec quelques intercalations argileuses, sa puissance est de

50m. Il affleure à Chaïba .

Albien supérieur : on le trouve au sud, à Hammam Essalehine et au djebel Boughzel . Il est

constitué de grés rouges avec des intercalations de calcaires et d'argiles rouges, son épaisseur est de 250m.

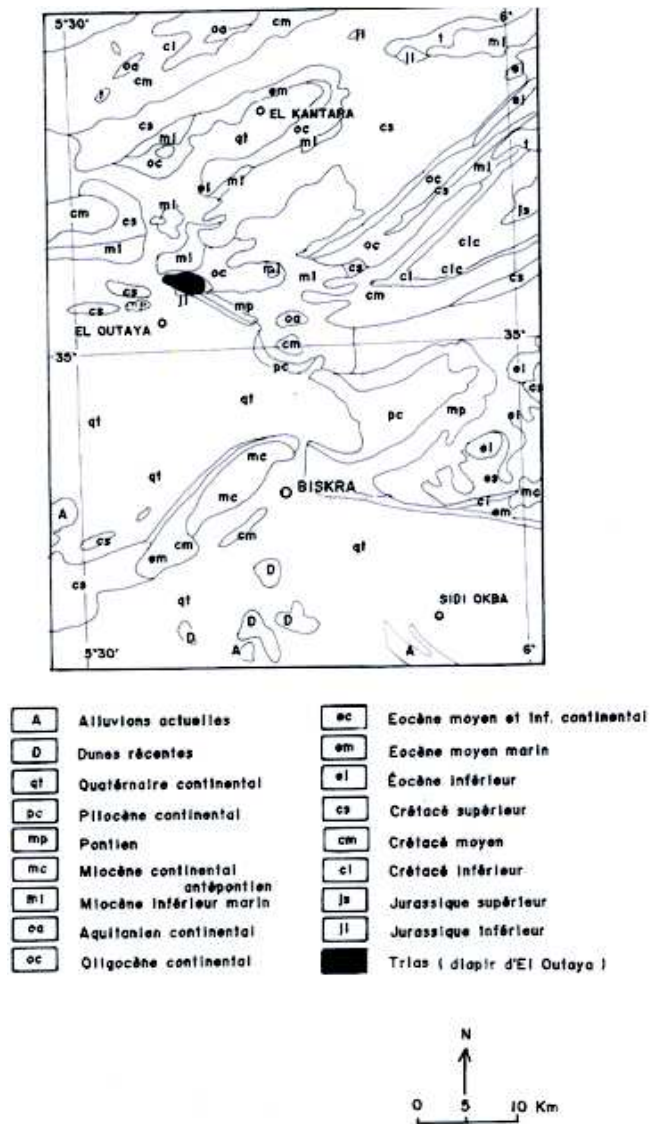


Figure 4 : les formations géologiques

Source : Extrait de la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000

Cénomaniens : il est caractérisé par des calcaires cristallins, des calcaires marneux, des marnes et gypse. Il a une puissance de 500m.

Turonien : il présente des calcaires cristallins, des calcaires marneux et des calcaires dolomitiques. Sa puissance est de 300m.

Sénonien inférieur : il affleure au niveau des djebels Oum Djenib, Boughzel et ThenietErrien. Ce sont des calcaires gris ou blancs alternant avec des marnes grisâtres parfois gypseuses. Son épaisseur est de 400m.

Sénonien moyen : il affleure au Nord Est du djebel TenietErrien. Il est constitué de marnes

Calcaire.

Sénonien supérieur (campanien, et maestrichtien) : il affleure au nord – ouest d’El-Outaya au djebel Modiane , djebel Labraga, djebel Ed Dera. Il est composé de calcaires cristallins et dolomitiques avec des intercalations marneuses et gypseuses. On le retrouve

aussi au Sud au niveau des djebels Gouara, Menchar et à l’Est, à même le djebel Zenra. C’est

un ensemble cristallin dolomitique reposant sur des marnes.

Eocène inférieur :

Yprésien : Il comporte une succession de bancs calcaires cristallins gris, blancs ou crayeux,

de dolomies argileuses et de marnes blanches ; quelques passées de gypse au sud –ouest et

quelques silex noirs (150 à 200m).

Eocène moyen :

Lutétien : Il est caractérisé par une alternance d’argile, de gypse et de calcaires dolomitiques.

Miocène supérieur :

Pontien :

est composé Il d’argiles, marnes multicolores, sables et graviers.

Pliocène :

Il est représenté par des poudingues blancs et gris et d’argiles sableuses à proximité des massifs ; et d’argiles rouges sableuses au niveau de la plaine.

Le quaternaire :

Ancien :

Il est représenté par des poudingues aux piémonts et de dépôts de sables et argiles.

Moyen :

il est caractérisé par le deb-debcalcaréo-gypseux, de travertins.

Récent :

Il est composé de cailloutis,éboulis, de dunes de sables, d’alluvions sableuses dans les lits

des oueds.

1-2-1-3- L’Hydrogéologie

La notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra signale l’existence d’un certain nombre de formations aquifères. Les principales sont :

1-2-1-3-1-La nappe phréatique du quaternaire

La nappe phréatique des formations récentes se localise dans des accumulations alluvionnaires. Le substratum géologique n’est généralement pas bien connu et doit être

formé par une succession de dépôts plus ou moins alluvionnaire. On classe dans cette catégorie la nappe de Biskra et celle de l'Oued Djedi.

Ces nappes doivent leur alimentation normalement à partir des précipitations et des eaux d'irrigation. La plupart des eaux de ces nappes entre dans la catégorie des sols salés ou très salés avec des teneurs en sel oscillant entre 5 à 15 g/l.

1-2-1-3-2- La nappe des calcaires de l'Eocène inférieur

Cette nappe est localisée dans la totalité de la région de Biskra. Le réservoir de cette nappe est constitué essentiellement de calcaire de l'Eocène inférieur et du Sénonien supérieur. L'alimentation de cette nappe se fait par deux zones d'affleurement de l'Eocène inférieur. La première à l'Ouest du Doucen et Ouled Djellal, la seconde au Nord de Tolga entre Foughala et Bouchagroune et les versants de la plaine de l'Outaya. Malgré son importance relative cette nappe subit depuis plusieurs années une baisse de son niveau piézométrique, en raison de son exploitation massive et de la très forte sécheresse qui sévit dans la région.

1-2-1-3-3- La nappe profonde

A cause de la profondeur de son niveau piézométrique (150 à 200 m), de sa température très élevée 56°C et de sa teneur en sels situé entre 1,7 g à 2 g par litre d'eau; cette nappe appelée nappe albienne n'est en fait que très rarement exploitée.

L'alimentation actuelle de cette nappe s'effectue par infiltration des ruissellements.

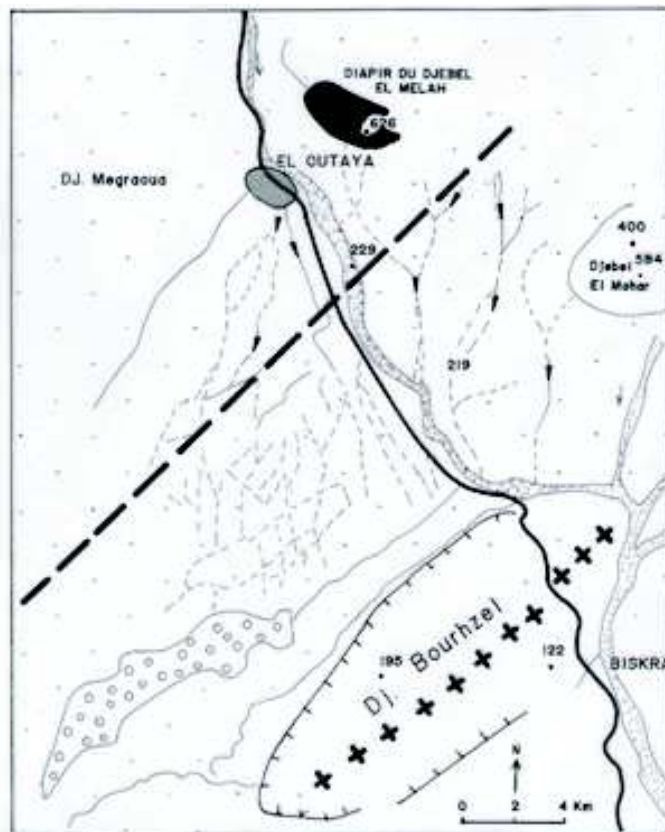
1-2-1-3-4- La nappe du Miopliocène

Dans le miopliocène, existe plusieurs niveaux aquifères de composition hétérogène : matériaux détritiques, des sables dans une matrice argileuse. Cette nappe est relativement bien exploitée. Son alimentation se fait à partir des eaux de surface du sol, sa profondeur varie entre 0 – 30 m et sa teneur en sels varie entre 3 à 8 g/l.

1-2-1-4- La Géomorphologie régionale

La région d'El Outaya se situe dans le prolongement de l'atlas saharien, au piémont sud des Aurès. L'altitude moyenne est de 200m.

C'est un ensemble plissé, légèrement déversé vers le sud. Les anticlinaux sont excavés en combes (Jebel Boughzel). Les plaines sont étendues reposant sur des synclinaux (la plaine d'El Outaya). L'érosion hydrique sculpté des formes variées (chevrons, escarpements, ruz, combes, cluses,.....). Les formations le plus représentées sont les glacis. Ils s'étendent sur plusieurs hectares et se composent de plusieurs niveaux du quaternaire. Leurs sols renferment des croûtes et encroûtements, d'éboulis et de dépôts sableux.



TOPONYMIE	MODELES	RELIEFS	STRUCTURES
<ul style="list-style-type: none"> 195 Point coté Route Agglomération 	<ul style="list-style-type: none"> Réseau hydrographique (ravinement) Alluvions Dépôts de sable Dépôts du quaternaire (glacis, alluvions, sables) 	<ul style="list-style-type: none"> Escarpement Combe 	<ul style="list-style-type: none"> Axe anticlinal Axe synclinal

Figure 5 : Esquisse géomorphologique

1-2-1-4-1- La structure

Elle correspond aux anticlinaux et synclinaux d'orientations variées:

Les plissements anté-burdigaliens Sud- Nord, antérieur au miocène, qui sont réguliers.

Les plissements post-burdigaliens Est-Ouest, qui sont moins réguliers et sont affectés par des flexures (piedmont de Biskra).

1-2-1-4-2- Les monts dérivés

Ils se caractérisent par des monts simples (dj. Aidel, le dj. Chélia (2328m)), des monts dérivés à combes annulaires (dj. Azreg) des monts dérivés à combes complexes (dj. Metlili), des monts déversés (L'Ahmar Khaddou). Tous ces reliefs constituent l'élément essentiel de la structure des Aurès.

1-2-1-4-3- Les synclinaux

Ils se caractérisent par leurs amplitudes. Les vals d'El Kantara, de Rhassira et de Bouzina sont de beaux exemples de reliefs dominés par des massifs imposants. Ils se développent en général dans des terrains maestrichiens remblayés par le tertiaire à faciès continental à savoir de poudingues, de marnes et calcaires

1-2-1-4-4- Les reliefs appalachiens

Ce sont des barres qui ceignent les massifs dont les sommets coffrés sont devenus des surfaces tronquées. On les rencontre au niveau des dj. Azref , dj. Mahmeletc.

1-2-1-4-5-Les versants structuraux

Les affleurements calcaires sont les plus répandus. Ils dérivent généralement du cénomaniens et du turonien. Le rapport couches dures et couches tendres va jouer un rôle important dans la définition des reliefs. Ils sont du type jurassien ou "Atlasique" dans lesquels tous les modelés sont représentés: ruz, cluse, combe, mont dérivé etc. (djebel Metlili). On sait que ces massifs sont peu protégés par la végétation, et l'agressivité des ruissellements est pour beaucoup dans la formation des sols grâce à l'intense rhexistase qui sévit dans la région.

1-2-1-5-Le modelé

1-2-1-5-1-Les escarpements de faille

Ce sont des formes liées aux plissements de la couverture sédimentaire. Les champs de failles ont engendré des escarpements supplémentaires. On les remarque surtout sur les djebels Metlili, Boughzel, etc.... Le réseau hydrographique a exploité les décrochements et les fractures pour installer leurs lits. Les ravinements dégagés dans les couches marno-calcaires de type rectangulaire ont provoqué une forte densité des ruissellements.

1-2-1-5-2-Les ravinements

Les pluies du semi-aride sont caractérisées par leur intensité et leur brutalité. Les eaux ne s'infiltrent pas, mais ruissellent et provoquent des incisions de profondeurs variables. Les formes les plus développées sont les ravinements. Ils s'organisent généralement en torrent et leur juxtaposition donne un aspect de bad-lands. Ceci est remarquable sur toutes les unités structurales. Ils présentent une hiérarchie type dendritique, à savoir ravines en amont et torrent en aval.

1-2-1-5-3-Les cônes d'éboulis

La gélifraction provoque l'éclatement des roches et fournit au versant des cailloux qui s'accumulent aux pieds des reliefs sous forme de cônes. Cette forme est observable au niveau de tous les affleurements calcaires (El Kantara).

1-2-1-5-4-Les entonnoirs de percées cataclinales

Ce sont des formes très répandues. Les monts correspondent au parfait inversement du relief. Ils sont jalonnés d'une multitude de chevrons et barres entrecoupés par des entonnoirs cataclinaux organisés par un drainage très dense. Tout le matériau qui forme les glacis est en grande partie charrié à travers des chenaux qui incisent les monoclinaux en aval.

A l'embouchure s'étendent de vastes cônes de déjection dont le drainage est déjà amorcé. Leur emboîtement témoigne de la chronologie quaternaire (plaine d'El-Outaya).

1-2-1-5-5-Les glacis

Le glacis est le prolongement d'un versant vers l'aval par une rupture de pente nette. Cette dernière se manifeste par un changement lithologique (matériau détritique), de tonalité, de végétation et de drainage (Coque, 1962). Le profil est rectiligne dominé par un relief concave. Les constituants des glacis proviennent de l'érosion des grands reliefs. Leur accumulation s'est faite grâce aux agents de transport (ruissellement, déflation, reptation, etc.).

Leur structure présente une imbrication de phases sableuses et marneuses en amont et de, phases de matériaux fins en aval. Ils sont, surtout, occupés par la céréaliculture et quelques palmeraies (le piémont sud de djebel Metlili).

1-2-1-5-6-L'emboîtement des glacis

Ils sont formés, pour la plupart, au quaternaire ancien et moyen. L'instabilité du climat a perturbé leur homogénéité. Et, on observe leur emboîtement est le témoignage des phases d'accumulation et de creusement. Leur différence chronologique se remarque par leur altitude, leur matériau, leur dureté et leur tonalité (val d'El Kantara - El Outaya).

1-2-1-5-7-Les niveaux de glacis

Dans notre zone d'étude, il y a différents niveaux de glacis qui sont définis par les critères cités ci □ dessus.

1-2-1-5-8-Les glacis encroûtés

C'est la formation la plus ancienne. Elle a été probablement élaborée dans un milieu très humide. Elle se localise surtout dans le bassin de Tazoult. Elle est surélevée par rapport aux autres formations du quaternaire. Au niveau de l'oued El Hai (El Kantara), elle présente des escarpements durs et compacts qui définissent le tracé longitudinal du creusement des cours d'eau.

1-2-1-5-9-Les glacis d'accumulation

Ils sont les plus répandus et se répartissent dans tous les synclinaux des Aurès et le piedmont sud Atlasique. Ils sont de l'époque tensiftienne. Leur coupe présente des séquences d'accumulation de sable, de limon et d'argile qui témoignent des empilements successifs des ruissellements d'une période très humide (Vila, 1977).

1-2-1-5-10-Les glacis d'érosion

Ils se situent au niveau des pieds des grands reliefs. Leur genèse est liée aux ruissellements et aux accumulations. Ils sont en constante évolution. Ils sont réactivés sans cesse par les eaux de ruissellement. Ils sont couverts d'éboulis résultant de la desquamation et la gélifraction des affleurements calcaires et grès.

1-2-1-5-11-Les terrasses

Ce sont des formations alluvionnaires façonnées durant une période humide, toutefois, elles sont très rarement répandues dans la région (El Kantara).

1-2-1-5-12-Les dépressions fermées

C'est le paysage le plus original dans notre zone. Il se caractérise ici par des sebkhas (Biskra, El Outaya). C'est une vaste zone plane, avec peu de végétation, et caractérisée par des accumulations gypseuses et salines.

Aux franges, il y a apparition des halophytes. Le régime hydrique est endoréique. L'alternance de l'assèchement (été) et l'engorgement (hiver) est surtout liée aux périodes des pluies. Les sebkhas font partie du grand alignement des grands chotts qui courent depuis la Tunisie jusqu'au Maroc suivant un axe bien défini. Leur sédimentation s'est faite au dépend des reliefs qui les entourent.

1-2-1-5-13-Les accumulations du calcaire

Selon Ruellan(1967) les accumulations calcaires proviennent par apport obliques par le ruissellement superficiel. Dans les sols du semi-aride le calcaire est un élément omniprésent dans les descriptions et les classifications. D'autres auteurs soutiennent que c'est à partir des évaporations que le calcaire a pu s'accumuler. Mais les uns et autres ont expliqué plus ou moins sa genèse

1-2-1-6- Les formes individualisées du calcaire

1-2-1-6-1- 1es accumulations diffuses

Ce sont des éléments fins (1 mm) accumulés dans les horizons superficiels.

1-2-1-6.2. Les amas friables:

Ce sont des nodules farineux ; on les rencontre dans tous les horizons au niveau des pores, des racines, cavités, etc.

1-2-1-6-3-Les granules et les nodules

Ce sont d'amas durs. On les trouve dans certains horizons (jusqu'à 60%).

1-2-1-6-4-Les encroûtements

Ils sont crayeux, nodulaires et pulvérulents. La teneur en calcaire est plus de 60%.

1-2-1-6-5-Les croûtes

La teneur en calcaire dépasse 70%. La structure est lamellaire et feuilletée. Leurs épaisseurs

varient de quelques centimètres plusieurs mètres.

1-2-1-6-6-Les dalles calcaires

Elles sont constituées de plusieurs feuilletés. La couleur est souvent saumon, La teneur en calcaire est supérieure à 80% (Ruellan, 1967).

Conclusion

La région d'El-Outaya est située dans le domaine Atlasique. Sa lithologie est variée et se compose de calcaire, de gypse, et d'argile. Les sols sont le plus souvent salés et encroûtés (présence du diapir) ; ce qui rend la mise en valeur difficile. Les réserves en eau sont importantes grâce à la présence de nappes phréatiques. Celles-ci sont caractérisées par la salure. Le pouvoir évaporant de l'atmosphère remonte les sels à la surface par ascension ce qui explique en grande partie la présence de fortes teneurs de sodium et de gypse dans les horizons des sols.

Chapitre II : Matériel et méthodes

1- Choix des sites d'étude

Après plusieurs prospections de la plaine de l'El-Outaya, une enquête socio-économique auprès des exploitants, une analyse des données de l'étude agropédologique de l'ANRH (Lezzar, 1980) et en tenant compte de la disponibilité des moyens logistiques nous avons opté pour quatre sites :

1-1- Site n°1

Localisé dans la ferme expérimentale du CRSTRA (Centre de Recherches Scientifiques et Techniques des Régions Arides). Dans ce site nous avons réalisé 3 profils (P1, P2 et P6).

Les profils P1 et P2 sont localisés dans une zone irriguée par les eaux de barrage (fontaine de gazelle), par contre P6 se trouve sur une parcelle non irriguée (témoin). La spéculation pratiquée est l'oléiculture.

1-2- Site n°2

- Localisé au sud de la plaine d'El-Outaya dans le lieudit Lahzima, où deux parcelles (première et troisième) ont été choisies ;

- la première irriguée par les eaux de barrage, elle s'étend sur superficie de 150ha, où est pratiquée la céréaliculture (orge),
- la troisième a été irriguée auparavant par les eaux de forages pendant 4 ans, actuellement elle irriguée par les eaux de barrage, la spéculation pratiquée est la céréaliculture (blé).
- - la deuxième localisée à l'Ouest de la plaine d'El-Outaya, c'est une parcelle irriguée par les eaux de forage ; elle est occupée par la culture du blé.

2- METHODES D'ANALYSE DU SOL

Le sol est séché à l'air libre et est tamisé à 2 mm (terre fine). Les analyses effectuées sont :

pH : il est déterminé selon le rapport sol/eau (1/2,5).

Granulométrie : effectuée par la méthode internationale à la pipette Robinson.

Conductivité électrique (CE) : déterminée par le conductimètre avec un rapport sol/eau

(1/5).

Bilan ionique :

Cations :

Ca^{++} et Mg^{++} par absorption atomique

Na^+ et K^+ par photomètre à flamme.

Les anions :

CO_3^{2-} et HCO_3^- Titration par HCl en présence de phénophtaléine et orange de méthyle.

Cl^- : Titration en présence de nitrates d'argent

SO_4^{2-} méthode gravimétrique

Carbone organique : réalisé selon la méthode Anne.

Matière organique : obtenue en multipliant le taux de carbone organique par 1,72 mo%=teneur en C×1,72

Calcaire total : obtenu par le calcimètre volumétrique Bernard ;

Calcaire actif : Méthode de Drouineau, 1942 (oxalate d'ammonium)

Capacité d'échange cationique : par la méthode Netson(1961)

Bases échangeables : Na^+ et K^+ (photomètre à flamme) Ca^{2+} et Mg^{2+} (absorption atomique)

Chapitre III : Résultats et Discussion

1-Caractérisation physico chimique de l'eau d'irrigation

Les caractères physico-chimiques de l'eau d'irrigation (eau de barrage et eau de forage) sont représentés dans le tableau suivant :

		eau de barrage		eau de forage	
		meq/l	mg/l	meq/l	mg/l
Caractères chimiques de l'eau d'irrigation	pH	7,6		7,9	
	CE(dS /m)	2,5		3,9	
	RS(mg /l)		2754		2500
	Ca ⁺⁺	10,3	206	9	180
	Mg ⁺⁺	24,5	245	7,2	86,4
	K ⁺	0,256	9,984	0,5	20
	Na ⁺	9,78	224,94	24,8	570,4
	HCO ₃ ⁻	6,7	408,7	4	244
	Cl ⁻	20,3	720,65	20,4	725
	SO ₄ ⁻	12,3	590,4	11,6	750
SAR	2,34		8,73		

Tableau 9: caractérisation physico-chimique de l'eau d'irrigation

D'après les résultats de tableau précédent on a distingué le faciès chimique et la classification de l'U.S.S.L des eaux d'irrigation des 3 parcelles.

1-1- Données physico-chimiques de l'eau de barrage

Les eaux du barrage présentent les caractéristiques suivantes :

Selon le diagramme de Piper, le faciès chimique de cette eau est chlorurémagnésique.

Selon le diagramme de classification des eaux de l'U.S.S.L (fig...). Ces eaux appartiennent à la classe C4S1. Cela veut dire que cette eau présente :

Un risque de salinité très élevé (**C4**).

Un risque de sodicité faible (Si).

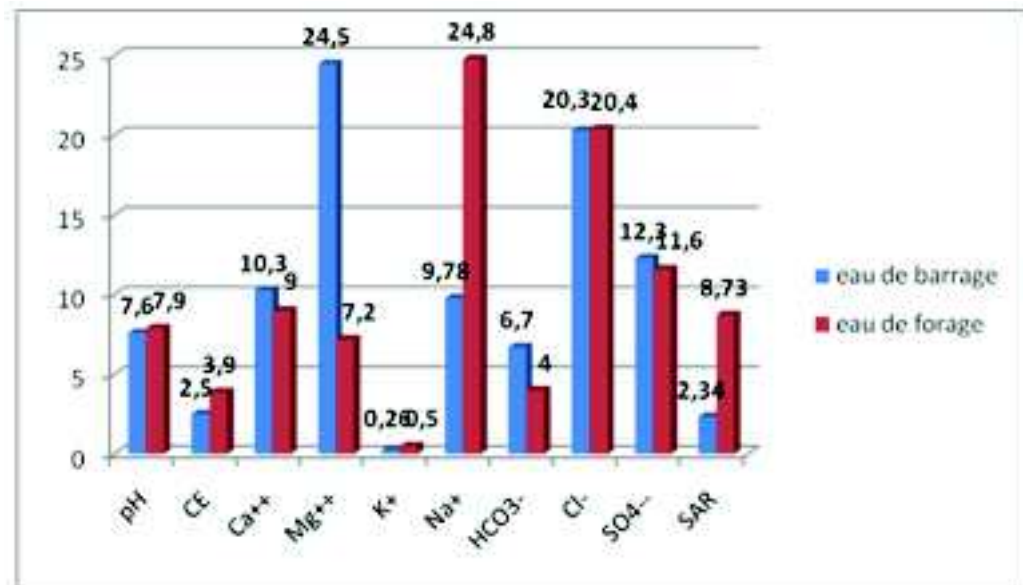


Figure 6: Caractéristiques chimiques des eaux

1-3-4-Données physico-chimiques d'eau de forage

Les eaux du barrage présentent les caractéristiques suivantes :

Selon le diagramme de Piper (fig. 07), le faciès chimique de cette eau est chloruré sodique.

Selon le diagramme de classification des eaux de l'U.S.S.L. (fig. 08) ces eaux appartiennent à la classe C4S3 et C4S1. Cela veut dire que cette eau présente : Un risque de salinité très élevé (C4). Un risque de sodicité élevé (S3) à faible (S1).

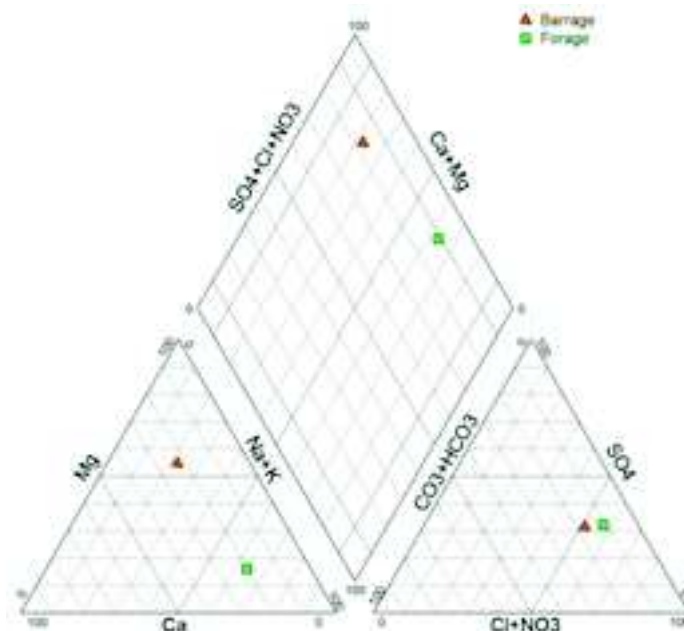


Figure 7: Diagramme de Piper des eaux

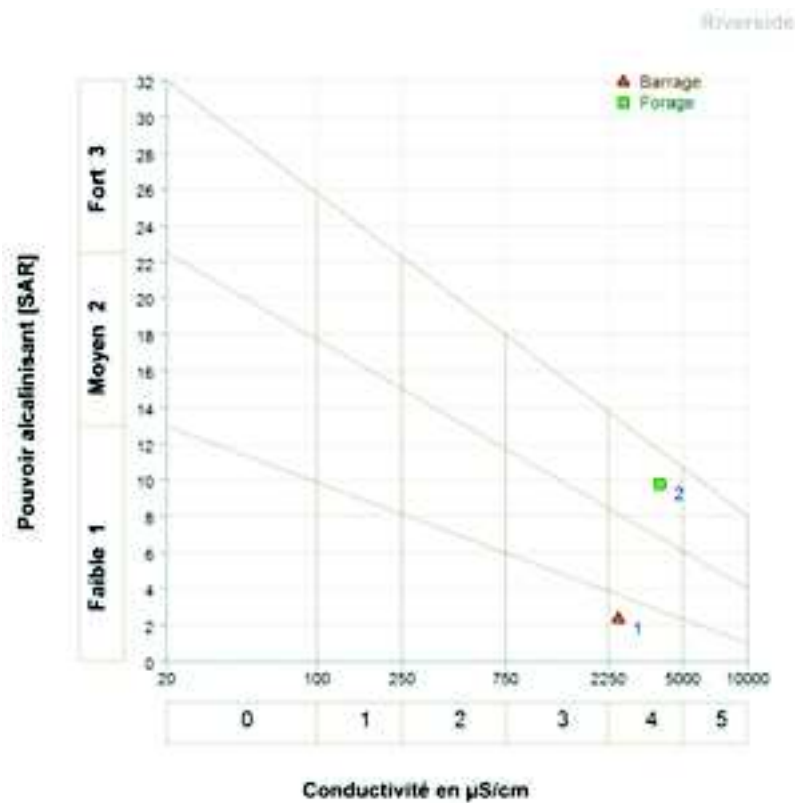


Figure 8 :Diagramme de l'USSL des eaux

III.1 Site n°1

1-1- Description générale et morphologique des profils (P1, P2 ,P6)

1-1-1- Profil 01

Situation du profil : CRSTRA

Date de description : 20-12-2009,

Localisation : sud- est de El-outaya,

Altitude : 201m,

Topographie : Terrain plat, (34°55'44,45"N et 5°38'53,44"E)

Etat de surface : croûte de battance,

Géomorphologie: Terrasse,

Cultures : Oliviers (protégés par le brise-vent de type casuarina)

Végétation naturelle : Salsolasp., Moricondiasp.,

Cailloux: Présence très faible.

Sels: efflorescence salines en surface,

Matériau parental: marno-calcaire.

Description morphologique :

Horizon 0 — 20 cm :

Sec, Brun, texture limono-argileuse, structure polyédrique, présence de racines fines, peu compact, horizon friable, présence de taches blanchâtres, forte effervescence à HC1, faible porosité, pas de charge caillouteuse, présence de sable éolien, transition peu nette.

Horizon 20 — 40cm :

Sec, Brun, texture argileuse à argilo-limoneuse, structure polyédrique prismatique, nombreux amas blanchâtres, présence de grosses racines (probablement de Salsola), forte effervescence à HC1, horizon très compact, quelques cristaux brillants, présence de nombreuses fentes de retrait verticales, matière organique très faible, racines en décomposition, pas de charge caillouteuse, transition régulière peu nette.

Horizon 40- 60 cm :

Sec, Brun, texture argilo-limoneuse, structure massive à éclats polyédrique, présence d'amas blanchâtres, absence de racines, porosité fine due à l'entassement, pas de charge caillouteuse, présence de cristaux brillants, pas d'activité biologique, horizon compact dur, transition régulière peu nette.

Horizon 60 — 80 cm:

Sec, Brun clair, texture limono-sableuse, structure polyédrique friable, présence de taches rougeâtres (oxydo-réduction), beaucoup de porosité fine, pas d'activité biologique, quelques racines en décomposition, présence de litage, forte effervescence à HC1, transition progressive et régulière.

1-1-2- Profil 02

Situation du profil : CRSTRA

Date de description : 20-12-2009,

Localisation : sud- est de El-Outaya,

Altitude : 200 m.

Topographie : Plane : Terrain plat (34°55'48,82"N et 5°38'59,33"E)

Etat de surface : croûte de battance

Géomorphologie: Terrasse,

Cultures : Palmier dattier

-Végétation naturelle : Salsolasp., tamarix.,

Cailloux: Présence très faible.

Sels: efflorescence salines en surface,

Matériau parental: marno- calcaire

Description morphologique :

***Horizon 0 -20 cm :**

Sec, Brun clair, texture limono-argileuse, structure polyédrique, absence de sable, présence de taches blanches, absence de racines et d'activité biologique, pas de traces de matière organique, pas de charge caillouteuse, forte effervescence à HC1, transition progressive.

* **Horizon 20-40cm**

Sec, Brun clair, texture limono-argileuse à argilo-limoneuse, plus d'inflorescences salines, structure polyédrique plus grossière, fines racines probablement de graminées, présence de traces de matière organique, une morphologie lite et du peut être au dépôt, fentes de retrait, forte effervescence à HC1, transition progressive.

Horizon 40- 60 cm :

Sec, Brun foncé, texture argilo-limoneuse, structure polyédrique, peu de racines, pas de charge caillouteuse, présence de taches blanchâtres, traces de matière organique en décomposition, fentes de retrait, forte effervescence à HC1, transition assez nette.

Horizon 60 - 80 cm

Sec, Brun foncé, texture argileuse, structure en colonne, prismatique avec une substructure polyédrique, beaucoup de fentes de retrait, quelques traces de matière organique, taches blanches, horizon dur, lite sans charge-caillouteuse, pas d'activité biologique, forte effervescence à HCl, transition distincte.

* **Horizon 80 —120cm**

Sec, Brun très clair, texture limono-sableuse structure polyédrique, matériau sableux fin (origine éolienne), pas de fentes de retrait, pas d'éléments grossiers, matériaux plus poreux, pas de traces blanches, quelques traces de matière organique en décomposition, forte effervescence à HC1.

1-1-3- Profil 06

Situation du profil : CRSTRA

Date de description : 29-12-2009

Localisation : sud-est d'El-Outaya,

Altitude : 202m.

Topographie : pente faible, (34°55'47,74"N et 5°39'08,17"E)

Géomorphologie: Terrasse,

Culture: terrain non cultivé,

Cailloux: Pas de cailloux,

Sels: Importantes efflorescence salines en surface

Matériaux parental: marno-calcaire

Description morphologique

* **Horizon: 0 -30 cm:**

Brun foncé l'état sec, limono- argileux, polyédrique subangulaire fine, avec quantité important de sable, présence d'amas salins, forte effervescence à l'HCl. Transition irrégulière.

* **Horizon:30 - 60 cm:**

Idem que l'horizon précédant, structure massive, porosité transition irrégulière.

Horizon: 60 -80 cm:

Brun foncé, Sableux, structure particulière, très bonne porosité, nombreux amas salins, vive effervescence à l'HCl.

I-2- Discussion sur la morphologie des profils

La structure est un paramètre de différenciation du profil, qui détermine la phase solide et les vides le type de structure conditionne l'ensemble des propriétés fondamentales du sol (porosité, aération, fonctionnement hydrique, et nutritionnel...). Pour la plupart de ces horizons décrits nous avons constaté une dominance de structure polyédrique massive et compactée au niveau des horizons médiaux (semelle de labour), cette structure est généralement dégradée par accumulation de sels. En raison de la dominance des particules fines (texture argileuse) les fentes de retrait sont très présentes tant qu'en surface qu'en profondeur le long de tout le profil. Cet état de structure est temporaire pendant la période de dessiccation ; en période humide une structure massive dégradée apparaît ; ce qui rend tout lessivage naturel des sels impossible. Ainsi, la durabilité de la mise en valeur de ces sols est mise en cause dans ces conditions d'où la nécessité de l'installation d'un réseau de drainage.

Les fentes de retrait qui peuvent apparaître lors d'une dessiccation des matériaux compact, n'ont pas de prolongement au sein des agrégats détruites (Vanoort, 1984)

La disposition verticale des fentes et leur largeur, facilite la chute des particules à partir de la surface de sol (Verger, 1994)

1-3- Caractérisation des analyses physico-chimiques des trois profils (PI, P2, P6)

1.3-1- Résultats des analyses physiques et physico-chimiques des trois profils (PI, P2, P6)

Les analyses des échantillons des horizons des trois profils sont reportées dans les tableaux 8, 9 et 10 ci-dessous.

Profil N°	Horizon (cm)	Granulometrie					pH 1/2,5	CE (1/5) ds/m	Calcaire Total(%)	Calcaire Actif(%)	Gypse (%)	M.O (%)
		A%	LF%	LG%	SF%	SG%						
P1	0-20	39,2	43,7	1,4	1,4	10,3	8,1	1,02	48,4	10,4	3,2	1,4
	20-40	45,9	44,4	5,1	0	4,1	7,9	3,09	44,3	14,2	4,2	1,3
	40-60	44,9	47,4	4,1	0	4,1	7,9	4,16	44,8	13,7	4,6	1,6
	60-80	16,7	23,5	32,8	0	26,9	7,3	2,98	34,2	16,2	3,3	2,1
P2	0-20	38,2	34,4	16,5	9,7	1,1	7,9	3,84	45,2	13,2	3,0	2,0
	20-40	41,9	33,8	12,5	10,3	1,4	8,0	5,02	46,7	16,0	3,1	1,6
	40-60	43,8	34,7	15,2	4,9	1,3	8,4	3,33	49,0	17,8	3,1	1,4
	60-80	50,3	31,6	13,3	3,8	0,9	8,5	3,77	49,8	18,6	3,2	1,1
	80-120	16,7	23,5	14,7	18,2	26,9	7,8	2,05	44,4	11,2	3,0	1,1
P6	0-30	30,0	47,8	11,7	0,1	10,4	8,6	0,83	50,6	16,4	3,1	1,2
	30-60	47,6	0,4	45,2	0,8	6,0	7,9	3,57	45,1	14,2	3,4	1,0
	60-80	5,1	23,5	21,8	4,1	45,5	8,1	0,7	47,9	15,1	3,7	1,1

Tableau 10 : Résultats analytiques des analyses physico-chimiques des trois profils (P1, P2, P6)

1.3-2- Résultats analytiques : bilan ionique de la solution du sol de profil 2

Horizon	Cations solubles (meq/l)				Anions soluble (meq/l)			Cl/SO4
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO4 ⁻	HCO3 ⁻	
0-20cm	8,2	2,1	0,4	3,5	8,1	2,5	1,1	3,24
20-40cm	6,2	2,2	0,6	4,8	10,6	4,0	1,4	2,65
40-60cm	12,2	4,5	1,3	10,2	16,6	6,2	2,6	2,67
60-80cm	9,1	3,2	0,8	7,6	14,3	5,2	1,8	2,75
80-120cm	6,1	2,3	0,5	5,0	7,6	2,9	1,5	2,62

Tableau 11 : Résultats analytiques bilan ionique de la solution du sol de profil 2

I-3.3. Résultats des analyses physiques des profils (P1, P2, P6)

Profil N°	Horizon (cm)	da(g/cm ³)	Perméabilité K(cm/h)	Porosité Calculé en (%)	Indice de battance (IB) **	Réserve Utile(mm/cm de Sol) ***
P6	0-20cm	1.68	1.33	35	0.88	2.0
	20-40	1.65	1.26	36.5	0.97	2.1
	40-60	1.68	0.11	35	1.03	2.1
	60-80	1.60	0.27	38.4	2.1	2.2
P2	0-20cm	1.78	0.88	31.5	1.02	2.1
	20-40	1.55	0.94	40.3	0.83	2.0
	40-60	1.79	1.4	31.1	0.96	2.1
	60-80	1.77	1.09	31.9	0.63	1.8
	80-120	1.38	3.38	46.9	1.4	1.5
P1	0-30cm	1.68	0.9	35.3	1.62	2.3
	30-60	1.52	0.18	41.5	0.39	2.0
	60-75	1.9	3.7	46.1	2.98	0.5

Tableau 12: Résultats analytiques des analyses physique des trois profils (P1, P2, P6):

*** : estimation de la réserve utile selon le triangle de G.P.P.A en annexe2-3

** : l'indice de battance selon le triangle de G.P.P.A en annexe:2-3

* : de densité réelle selon ce tableau : densité réelle de divers sol en fonction de leur constituant in (Soltner, 2000)

a) Granulométrie

La figure 9 représente la variation granulométrique verticale des trois profils. On peut constater que la fraction fine, notamment l'argile et le limon fin, sont les particules les plus dominantes pour les trois profils. Ceci engendre une texture fine qui entrave tout lessivage naturel vertical d'où la nécessité de la réalisation d'un réseau de drainage pour lessivé les sels des eaux d'irrigation.

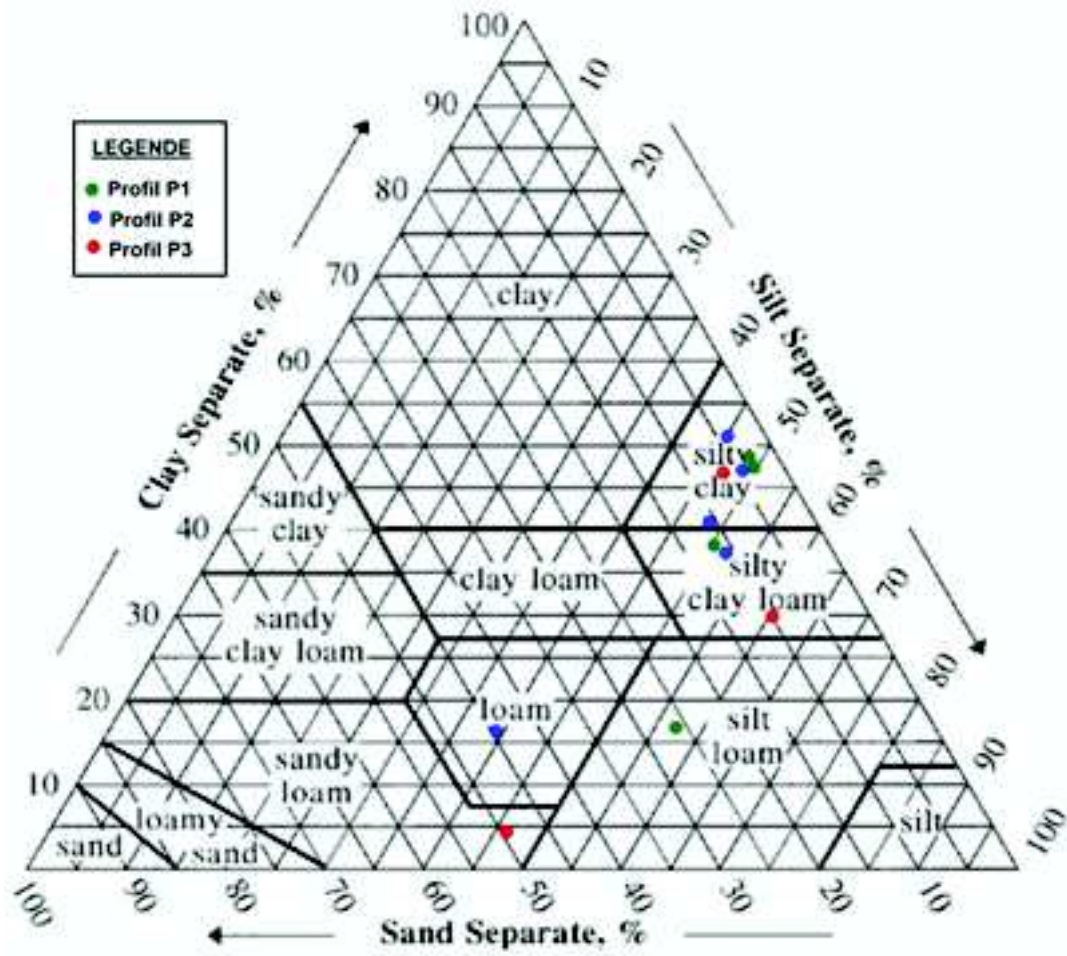


Figure 9: Triangle textural

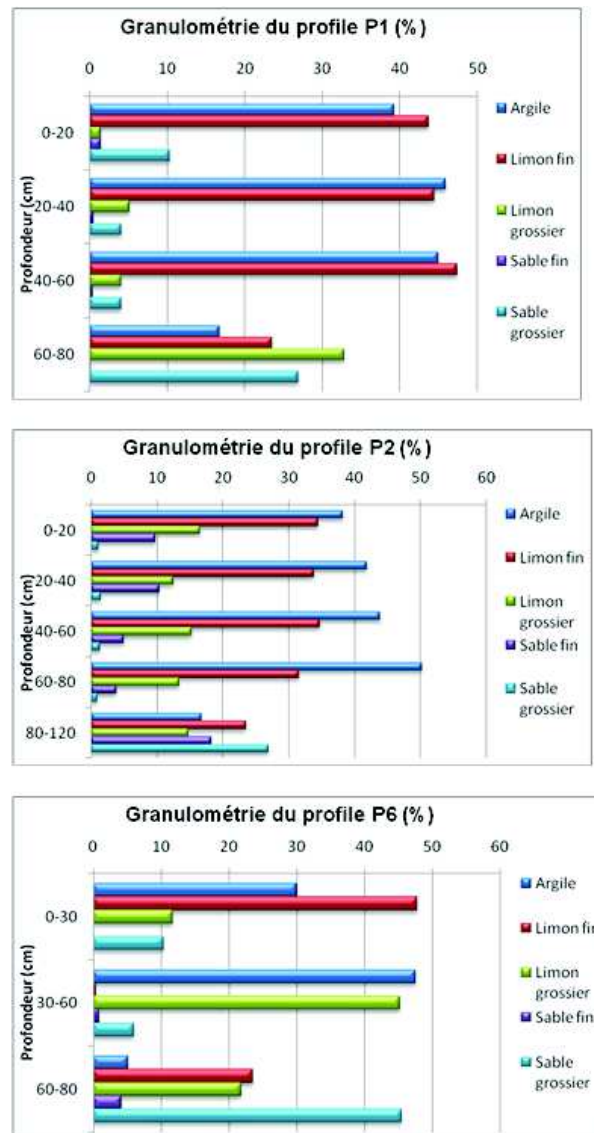


Figure 10 : Granulométrie de P1, P2 et P6

b) pH

La figure 11 représente la variation verticale des pH du sol pour les trois profils. Les valeurs enregistrées varient de 7.3 à 8.6 ceci indique des pH alcalins pour ces sols.

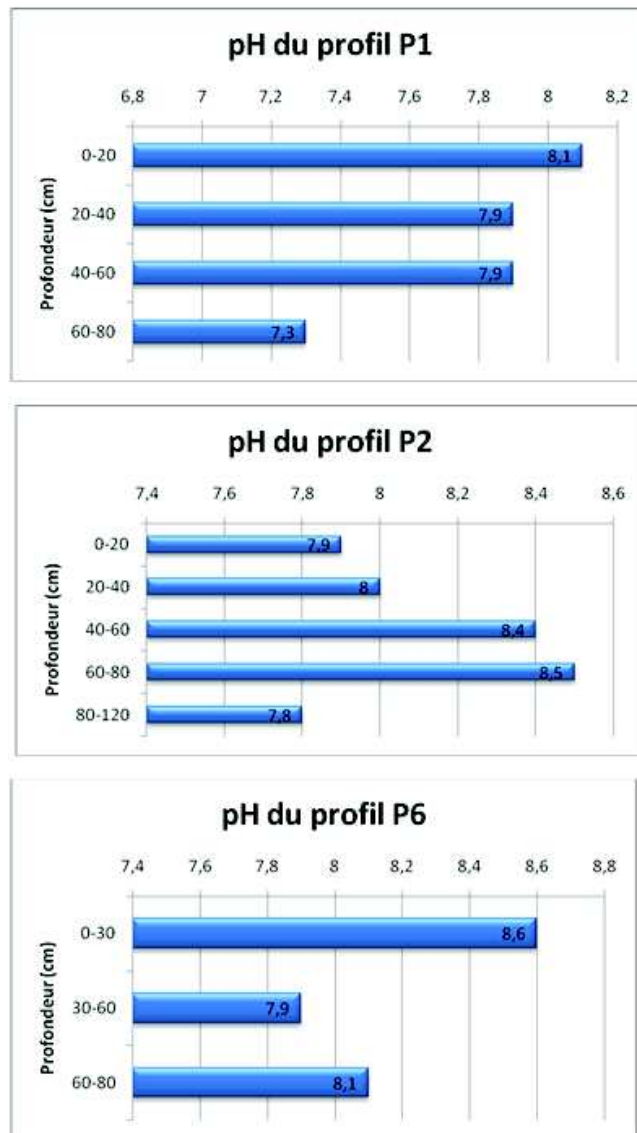


Figure 11 : pH de P1, P2 et P6

c) La conductivité électrique (CEdS/m)

La figure 12 représente les profils salins. Les valeurs oscillent de 0.7 à 5.02 dS/m. pour les sols irrigués (P1 et P2), les échantillons de sols sont salés à extrêmement salés. Par contre, pour le cas du témoin (P6), le sol est légèrement salé en surface et profondeur avec la présence d'un horizon médian très salé. Ces résultats témoignent de l'effet de l'irrigation sur la salinisation secondaire. Pour le témoin, la salinité au niveau de l'horizon médian (30-60 cm) est probablement d'origine géologique.

d) Calcaire total

La figure 13 représente la variation verticale du calcaire totale où nous constatons que les valeurs varient de 34 à 50%. Ce indique de fortes concentrations en calcaire. Malgré ces fortes valeurs, on n'a pas constatés sur le terrain d'individualisations généralisées de calcaires. Il s'agit de calcaire d'origine sédimentaire à l'état diffus.

e) Calcaire actif

La figure 14 illustre les variations du calcaire actif dans les échantillons de sols des trois profils. Les valeurs varient de 10.4 à 18.6% ce qui peut engendrer un pouvoir chlorosant pour les espèces sensibles.

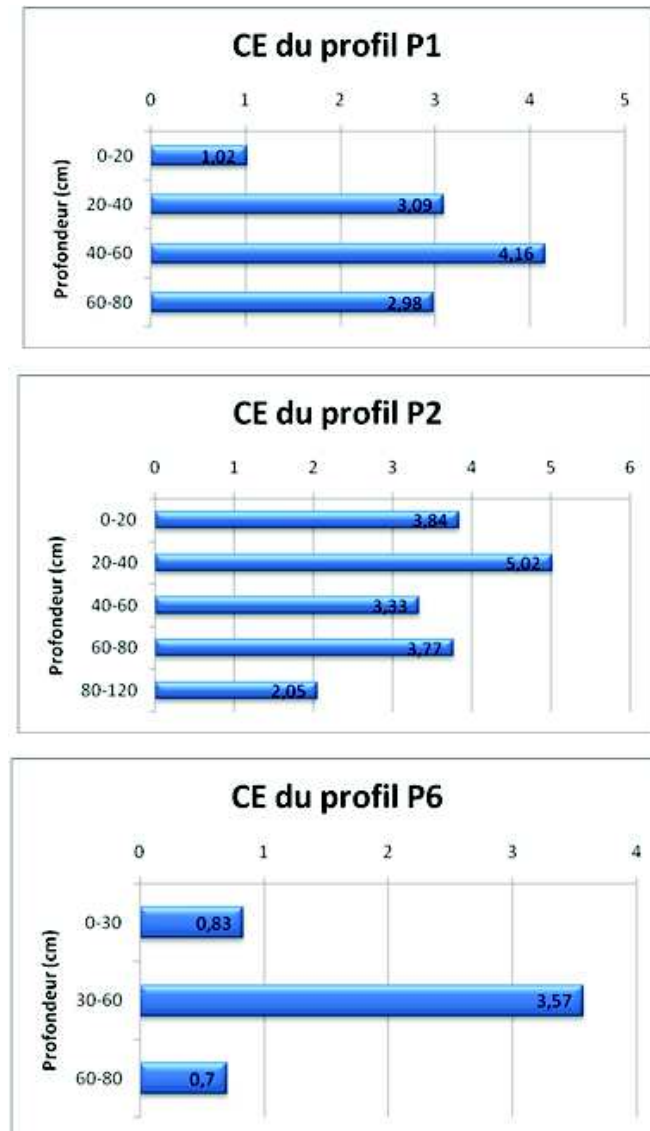


Figure 12: Conductivité électrique (CE) de P1, P2 et P6

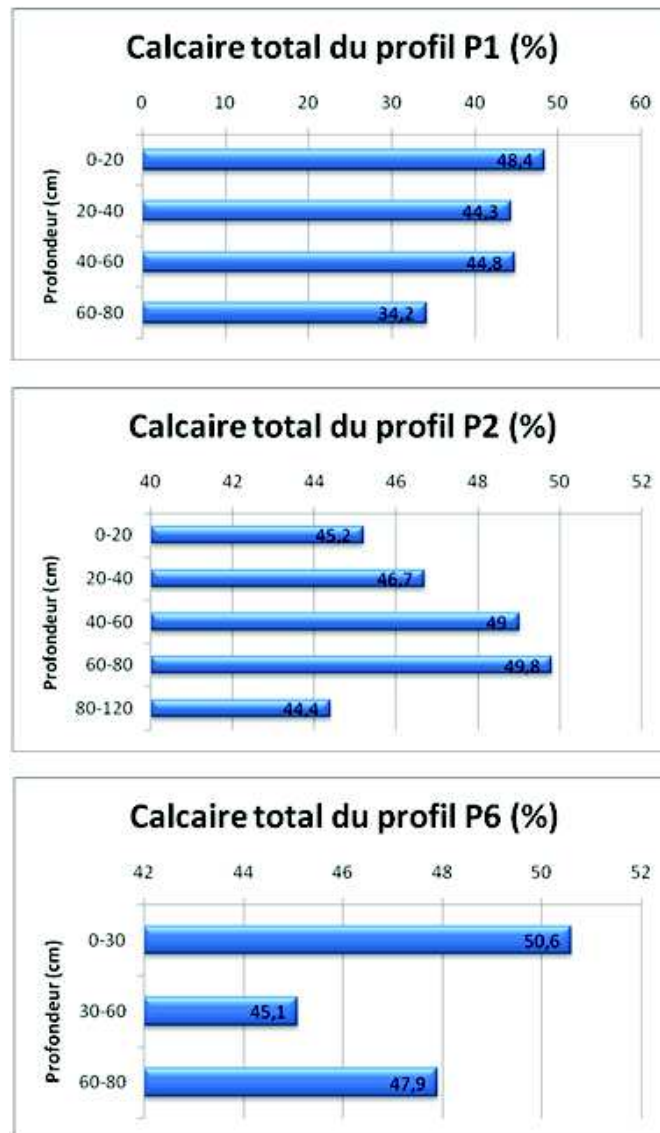


Figure 13: Calcaire total (%) de P1, P2 et P6

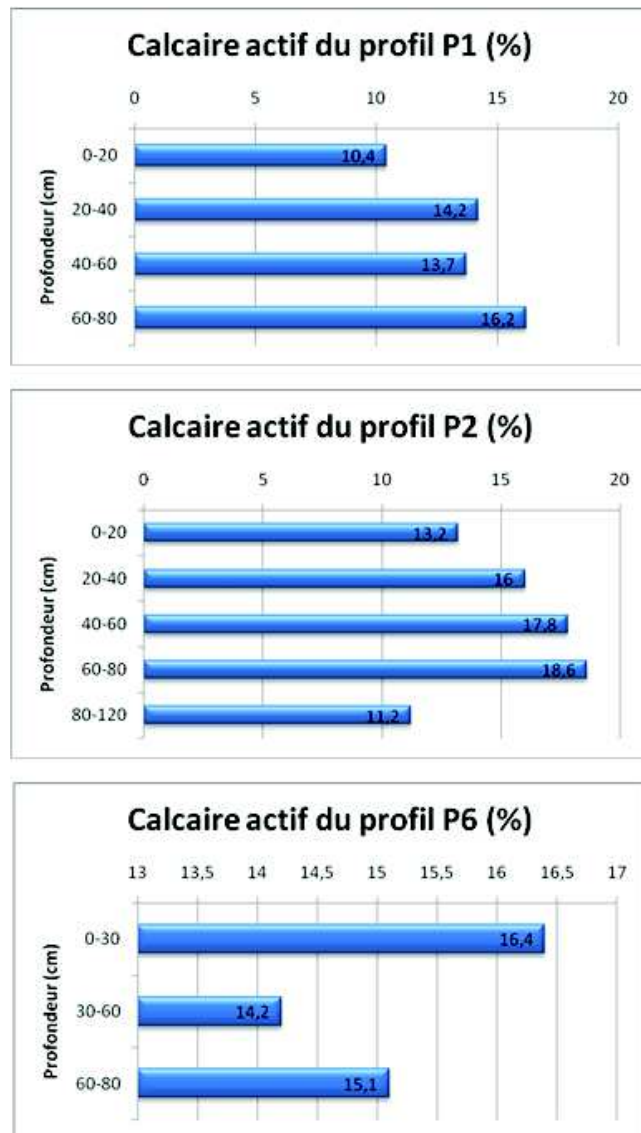


Figure 14: Calcaire actif (%) de P1, P2 et P6

f) Gypse

La figure 15 montre la variation verticale du gypse. Les valeurs oscillent entre 3 à 4.6 % ce qui indique de faible valeur en gypse.

g) Matière organique

La figure 16 illustre les variations de la matière organique dans les trois profils. Les valeurs retrouvées varient de 1 à 2.1% et sont pour la plupart faibles.

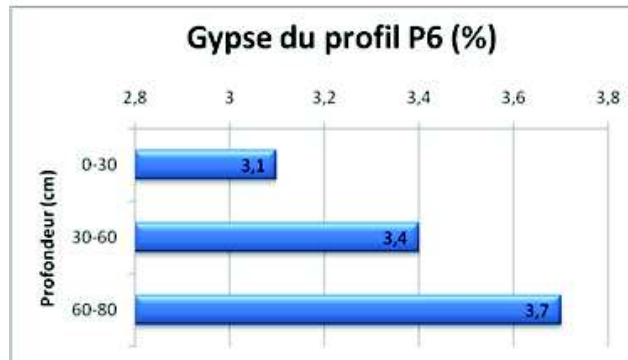
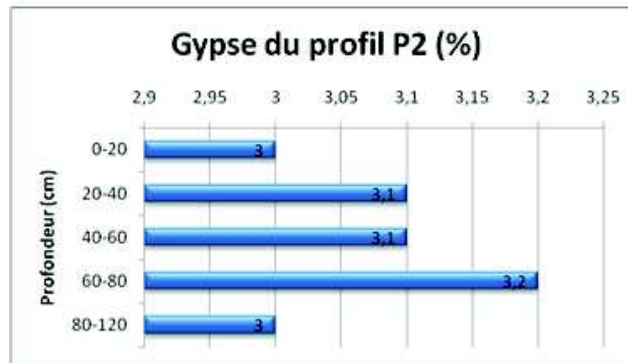
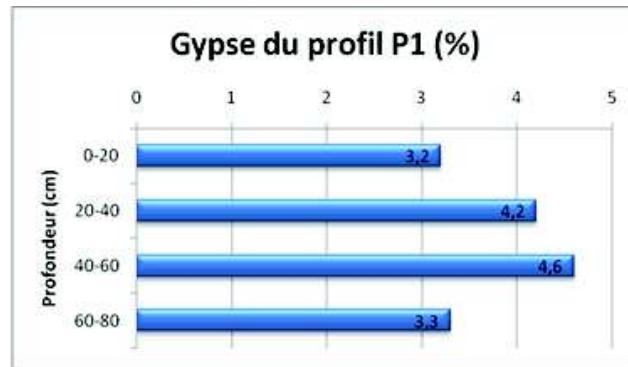


Figure 15 : Gypse (%) de P1, P2 et P6

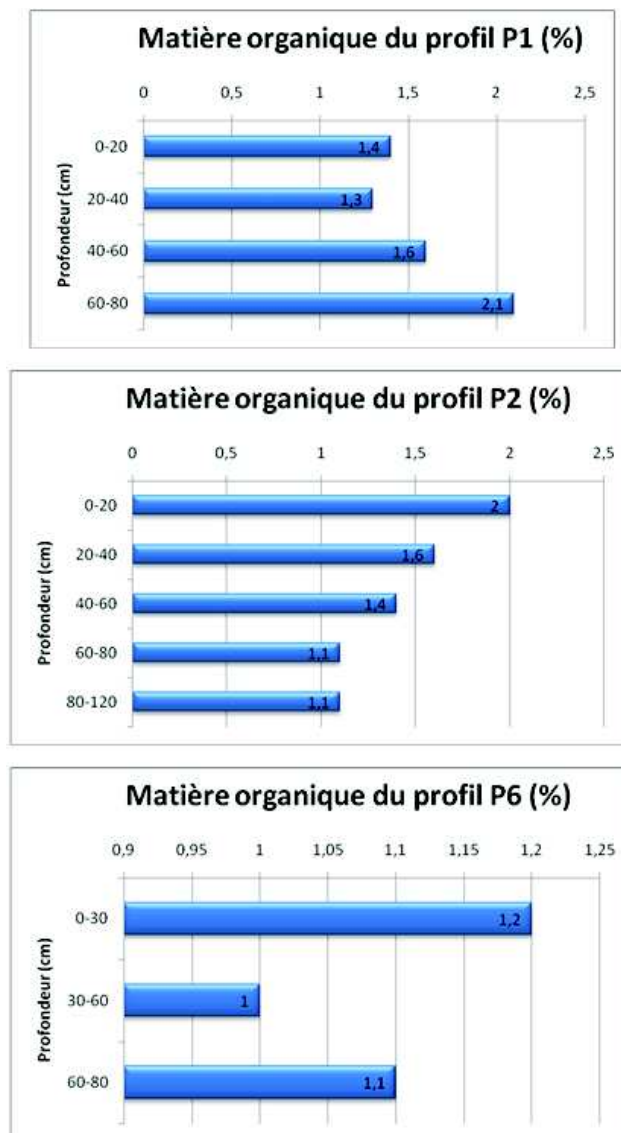


Figure 16 : Matière organique (%) de P1, P2 et P6

Densité apparente et porosité :

Les valeurs enregistrées varient de 1.38 à 1.9 (g/cm^3) avec une moyenne de 1.66 (g/cm^3). Pour la porosité, les valeurs retrouvées oscillent entre 31.1 et 46.9% avec une moyenne de 37.46%.

La perméabilité :

Les résultats montrent que la perméabilité varie de 0.11 à 3.7 cm/h. avec une moyenne de 1.29 cm/h. ces résultats indiquent que ces sols sont peu à modérément perméables. Ceci est lié notamment à leur texture fine.

L'indice de battance (IB):

Les valeurs de IB varient de 0.39 à 2.98 avec une moyenne de 1.23, ce qui indique que ces sols sont non battants à très battants.

Reserve utile

Les résultats retrouvés varient de 0.5 à 2.3 mm/ cm de sol avec une moyenne de 1.62. ces valeurs sont en concordance avec les texture fines (Baize, 2000).

Conclusion

Les analyses pédologiques ont montré que : la matière organique est faiblement représentée ;

Le taux de calcaire est élevé ;

Le taux de gypse est faible.

La texture est limono -Argileuse;

Le pH est généralement alcalin.

-Les résultats de la conductivité électrique obtenus au laboratoire, classe la parcelle étudiée de la station C.R.S.T.R.A dans la catégorie des sols salés (3 dS/m) en moyenne.

III.2 Site n°2

2- Caractérisation physique des sols

2.1 La densité apparente

La variabilité d'un paramètre peut être décrite par le coefficient de variation (CV) qui est le rapport de l'écart type à la moyenne. Vauclin (1982), distingue trois classes de variabilité pour les paramètres de transfert de l'eau :

Faible variabilité (CV<10%).

Variabilité moyenne (10%<CV<50%).

Et forte variabilité (CV >50%).

PARCELLE n°1(34°54'30,26"N et 5°36'06,93"E)

Les résultats du tableau n°13 montrent que la moyenne est de 1,61, pour une gamme de données variant de 1,40 à 1,97; néanmoins, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieur à 1,62. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre échantillons est moyenne.

La densité apparente est autour de 1.6 en surface comme en profondeur. Cependant, ceci n'étant pas la règle. En effet, on constate que dans certains cas la densité apparente diminue en profondeur. Ceci pourrait être expliqué par le fait que le système d'assolement n'est pas respecté ; d'où une variabilité spatiale des paramètres du sol. La variabilité des échantillons est relativement semblable en surface qu'en profondeur pour la même parcelle.

Tableau 13: Statistiques descriptives de la densité apparente (Parcelle n°1)

Densité apparente	N	moyenne	Médiane	Min.	Max.	CV %
parcelle	10	1,52	1,50	1,3	1,70	11,93
Surface	5	1,58	1,50	1,4	1,68	14
profondeur	5	1,49	1,53	1,41	1,60	10,86

Parcelle n°2 (35°00'31,27"N et 5°31'06,15"E)

Les résultats des statistiques descriptives sont consignés dans le tableau n°14. La moyenne indique 1.59, on constate que 50% des échantillons sont inférieure de 1.62 selon la médiane, avec des valeurs allant de 1.3 à 1.88. Le coefficient de variation entre les échantillons est moyen.

La valeur moyenne de la densité apparente augmente légèrement en profondeur, ce qui peut être expliqué par la présence de semelle de labour. La variabilité des échantillons est moyenne en surface qu'en profondeur pour la même parcelle. Ceci étant lié au fait que la parcelle subit généralement les mêmes opérations culturales.

Tableau 14 : Statistiques descriptives de la densité apparente (Parcelle n° 2)

Densité apparente	N	moyenne	Médiane	Min.	Max.	C.V %
Parcelle	10	1,59	1,62	1,3	1,88	13,71
Surface	5	1,54	1,48	1,3	1,88	14,54
profondeur	5	1,65	1,64	1,3	1,88	13,53

Parcelle n°3(34°55'13,44"N et 5°37'59,28"E)

Cette parcelle a commencé à être irriguée par les eaux du barrage depuis que les agriculteurs ont eu accès à cette source en 2008 environ (avant elle était irriguée par les eaux de forage). Les résultats des statistiques descriptives sont consignés dans le tableau n°15. La valeur moyenne est de 1.50 avec des valeurs allant de 1.38 à 1.57. On constate selon le coefficient de variation que le taux de variation est faible.

La valeur moyenne, en surface qu'en profondeur, est autour de 1.5.

Tableau 15 : Statistiques descriptives de la densité apparente (Parcelle 3)

Densité apparente	N	moyenne	Médiane	Min.	Max.	C.V%
parcelle	4	1,50	1,515	1,38	1,57	5,48
Surface	2	1,52	1,515	1,5	1,53	1,4
profondeur	2	1,48	1,475	1,38	1,57	9,11

2.2 Porosité totale

Parcelle n°1

Les résultats des statistiques descriptives sont consignés dans le tableau. n°16 Les valeurs de cette parcelle sont comprises entre 23,64 à 45.74% avec une moyenne de 37.71%. Ces résultats sont relativement plus faibles à certaines valeurs trouvées sur les sols de la parcelle de CRSTRA d'El Outaya dont les valeurs varient de 33.2 à 54.71%.

On constate que la valeur moyenne de la porosité est relativement constant dans la zone racinaire. Selon le coefficient de variation, on remarque que la variabilité de la porosité est moyenne. On constate d'une manière générale (fig. n°22) que la porosité moyenne des horizons de surfaces est relativement semblable à celles des couches profondes.

Tableau 16 : synthèse statistique de la porosité des échantillons (parcelle 1)

Porosité	N	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	C.V%
Parcelle	10	37,71	37,21	23,64	45,74	19,7
Surface	5	36,9	37,6	23,64	45,74	23,93
profondeur	5	38,53	36,82	29,07	45,35	17,33

Parcelle n°2

La porosité de ces mottes a également été étudiée à partir de la densité apparente et la densité réelle. Les résultats des statistiques descriptives sont consignés dans le tableau. n°17. Les résultats montrent que le maximum de porosité peut atteindre la valeur de 49.61% et le minimum 27.13%, le coefficient de variation et moyen. L'analyse montre une légère baisse de la porosité en profondeur. Le coefficient de variation est relativement semblable en surface qu'en profondeur.

Tableau 17 : synthèse statistique de la porosité des échantillons (parcelle 2)

Porosité	N	Moyenne	Médiane	Min	Max	C.V%
Parcelle	10	38,26	37,21	27,13	49,61	22,13
Surface	5	40,39	42,64	27,13	49,61	21,46
profondeur	5	36,12	36,43	27,13	49,61	23,92

Parcelle n° 3

Les résultats des statistiques descriptives sont représentés dans le tableau. n°18. La porosité moyenne de la parcelle est de 42.05% avec des valeurs oscillant entre 39.15 et 46.51%. Le coefficient de variation faible à moyen, la médiane indique que 50% des échantillons sont inférieurs à 41.28 %.

La porosité des échantillons de sols semblable en surface qu'en profondeur.

Tableau 18 : synthèse statistique de la porosité des échantillons (parcelle3)

Porosité	N	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	C.V%
Parcelle	4	42,05	41,28	39,15	46,51	7,54
Surface	2	41,28	41,28	40,7	41,86	1,99
profondeur	2	42,83	42,83	39,15	46,51	12,16

2.3 Perméabilité

Parcelle n°2

Cette variable correspond au transit de l'eau au sien du sol avec une vitesse de transfert plus ou moins rapide. Son approche s'appuie sur la mesure du coefficient de perméabilité K (Servant et al., 1996).

Le tableau ci-dessus présente les seuils et l'appréciation de perméabilité, et pour cela on peut déduire le cas de notre sol.

Les résultats des statistiques descriptives sont consignés dans le tableau. n°19. Ces échantillons, irrigués par les eaux de barrage, sont peu perméables. La moyenne est de 0.27 cm/h. Les valeurs extrêmes varient de 0,09 à 0,46 cm/h, et selon le tableau précédent le sol est imperméable à modérément perméable, le coefficient de variation est moyen, la médiane indique que 50% des échantillons sont peu perméables.

La perméabilité moyenne est relativement semblable en surface qu'en profondeur.

Tableau 19 : Synthèse statistique de la perméabilité des échantillons (parcelle 2)

Perméabilité	N	Moyenne	Médiane	Min	Max	C.V%
Parcelle	10	0,27	0,28	0,09	0,46	36,34
Surface	5	0,24	0,27	0,19	0,28	18,47
profondeur	5	0,29	0,28	0,09	0,46	46,56

Parcelle n°1

Les résultats des statistiques descriptives sont consignés dans le tableau. n°20. Ces échantillons, irrigués par les eaux de forage, et avec une moyenne de 0.51 cm/h sont modérément perméables. Les valeurs extrêmes varient de 0,24 à 0,84 cm/h, et selon le tableau précédent le sol est peu à modérément perméable, le coefficient de variation est moyen, la médiane indique que 50% des échantillons sont modérément perméables.

La perméabilité moyenne est relativement semblable en surface qu'en profondeur (sol. modérément perméable).

Tableau 20: synthèse statistique de la perméabilité des échantillons (parcelle1)

Perméabilité	N	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	C.V%
Parcelle	10	0,51	0,52	0,24	0,84	35,5
Surface	5	0,50	0,52	0,24	0,84	45
profondeur	5	0,52	0,51	0,37	0,69	29,18

Parcelle n°3

Les résultats des statistiques descriptives sont représentés dans le tableau21.

Ces échantillons étaient irrigués par les eaux de forage puis actuellement par les eaux du barrage. La perméabilité moyenne est de 0.37 cm/h, elle est modérément perméable. Les valeurs extrêmes varient de 0,26 à 0,46 cm/h, et selon le tableau d'appréciation de la perméabilité le sol est peu à modérément perméable. Le coefficient de variation est moyen, la médiane indique que 50% des échantillons sont modérément perméables.

La perméabilité moyenne est identique en surface qu'en profondeur (sol modérément perméable).

Ces résultats montre que les échantillons sont peu perméables à modérément perméables.

Tableau 21 : synthèse statistique de la perméabilité des échantillons (parcelle3)

Perméabilité	N	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	C.V%
Parcelle	4	0,37	0,37	0,26	0,46	27,35
Surface	2	0,36	0,36	0,26	0,46	39,28
profondeur	2	0,37	0,37	0,3	0,44	26,76

2-4 Rétention en eau

Parcelle n°1

Les propriétés de rétention en eau étant difficiles à mesurer en raison des exigences en termes de date de prélèvement, de conservation des échantillons et de lourdeur des protocoles de mesure (Bastet et *al.*, 1998).

Les résultats des statistiques descriptives sont représentés dans le tableau. n°22. La rétention en eau moyenne est élevée, elle est de 37.83%, avec des valeurs oscillant entre 30.97 et 43.59%. Elle varie peut en profondeur.

Tableau 22: Capacité de rétention de l'ensemble des échantillons (parcelle 1)

Rétention en eau	N	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	C.V%
Parcelle	10	37,83	38,05	30,97	43,59	9,56
Surface	5	37,16	38,64	30,97	40,45	10,08
profondeur	5	38,51	37,46	33,97	43,59	9,8

Parcelle n°2

Les résultats des statistiques descriptives sont représentés dans le tableau. n°23. La rétention en eau moyenne est élevée, elle est de 35.24%, avec des valeurs qui varient entre 29.03 et 41.83%. Elle varie peut en profondeur.

Tableau 23: capacité de rétention de l'ensemble des échantillons (parcelle2)

Rétention en eau	N	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	C.V%
Parcelle	10	35,24	36,08	29,03	41,83	12,63
Surface	5	35,73	37,95	29,64	41,83	15,95
profondeur	5	34,75	35,7	29,03	37,8	9,75

Parcelle n°3

Les résultats des statistiques descriptives sont représentés dans le tableau, n°24. La rétention en eau moyenne est élevée, elle est de 39.24%, les valeurs extrêmes varient de 35.3 à 41.74%. Elle varie peut en profondeur.

Tableau 24: capacité de rétention de l'ensemble des échantillons (parcelle3)

Rétention en eau	N	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	C.V%
Parcelle	4	39,24	39,95	35,3	41,74	7,03
Surface	2	40,87	40,87	40	41,74	3,01
profondeur	2	37,6	37,6	35,3	39,9	8,66

2-5 Stabilité structurale

La stabilité structurale est une propriété qui joue un rôle fondamental dans le fonctionnement des sols, sa caractérisation pose encore des problèmes méthodologiques (Whelan et *al.*, 1995; Lebissonais, 1996; Saidiet *al.*, 1999; Draz-Zouitaet *al.*, 2002).

La stabilité structurale des sols affectés par les sels solubles et le sodium échangeable est un facteur déterminant de leur évolution structurale superficielle sous l'action des pluies et des irrigations (Saidiet *al.*, 2004).

Les résultats des tests de stabilité structurale sont représentés dans le tableau. n°25 suivant : Selon le test de stabilité structurale, On constate que la classe des sols instables à très instables est dominante dans les sols de ma zone d'étude.

Tableau 25: test de stabilité structurale Emerson modifié, (Field et al.- in Douaoui, 2007) des échantillons de sol d'El Outaya.

	Très stable	Stable	Moyennement stable	Instable	Très instable
	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Parcelle 1 surface	/	/	/	3	2
Parcelle 1 profondeur	/	/	/	1	4
Parcelle 2 surface	/	/	1	2	2
Parcelle 2 profondeur	/	/	/	/	5
Parcelle 3 surface	1	/	1	/	/
Parcelle 3 profondeur	/	1	/	1	/

2.6 Granulométrie

Introduction

La connaissance de la texture du sol est très importante car cette dernière conditionne le comportement du sol. Ainsi certaines propriétés chimiques et physiques du sol peuvent être déduites de la texture. La connaissance de la texture du sol permet de dériver d'autres propriétés du sol.

Les compositions granulométriques sont pratiquement toujours réduites à trois fractions : argile, limon et sable. La somme de ces trois fractions est égale à 100 % (Richer de Forges et al., 2000).

Parcelle n°1

Les résultats des analyses granulométriques sont présentés dans le tableau. n°26. La texture du sol est déterminée par l'utilisation du triangle textural. (On constate que la texture lourde domine les sols de la parcelle 1.

		A	L	S	Texture
Parcelle 1	surface	50,52	39,96	15,64	Limono-argileux
	profondeur	50,08	45,04	17,12	Limono-argileux
Témoin	Surface	30,30	46,23	32,11	Limono-argileux
	Profondeur	55,24	42,19	2,57	Limono-argileux

Tableau 26: granulometrie de l'échantillon moyen (parcelle 1)

Parcelle n°2

Les résultats des analyses granulométriques sont présentés dans le tableau. n°27. La texture est appréciée par le triangle textural.

On constate que la texture lourde domine les sols de la parcelle 2.

		A	L	S	Texture
Parcelle 2	surface	48,99	38,94	12,61	Argileux
	profondeur	42,00	46,21	13,09	Argilo-limoneux
Témoin	Surface	30,20	32,63	37,17	Limono-Argileux
	Profondeur	25,05	45,33	29,62	Limo no-Argileux

Tableau 27: Granulométrie de l'échantillon moyen (parcelle 2)

Parcelle n°3

Les résultats des analyses granulométriques sont présentés dans le tableau. n°28.

La texture est appréciée par le triangle textural.

On constate que la texture lourde domine les sols de la parcelle 3.

Tableau 28 : Granulométrie de l'échantillon moyen (parcelle 3)

		A	L	S	Texture
Parcelle 3	surface	39,14	43,73	17,15	Limono-argilo-fins
	profondeur	49,75	51,97	21,46	Limono-argileux
Témoin	Surface	30,30	46,23	32,11	Limono-argileux
	Profondeur	55,24	42,19	2,57	Argilo-limoneux

2- Caractérisation physico-chimique des sols

Le pH

Le tableau ci-dessous indique l'échelle d'appréciation du pH.

Tableau 29: Echelle de pH du sol (SOLTNER, 1988)

Echelle	3-4,5	4,5-5	5-5,5	5,5-6
pH	Extrêmement acide	Très fortement acide	Très acide	acide
Echelle	6 - 6,75	6,75- 7,25	7,25-8,5	>8,5
pH	Faiblement acide	neutre	alcalin	Très alcalin

Le pH dans la parcelle n°1

Les résultats du tableau 30 et la figure 17 montrent que la moyenne est de 8,80, pour une gamme de données variant de 8,53 à 8,98; néanmoins, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieurs à 8,84.

Tableau 30: Statistiques descriptives du pH (Parcelle 1)

		Moyenne	Médiane	Min.	Max.	N	CV%
pH 1/2,5	Parcelle	8,80	8,84	8,53	8,98	10	1,90
	Ech surf	8,84	8,90	8,53	8,98	5	2,09
	Ech Prof	8,76	8,74	8,53	8,94	5	1,78

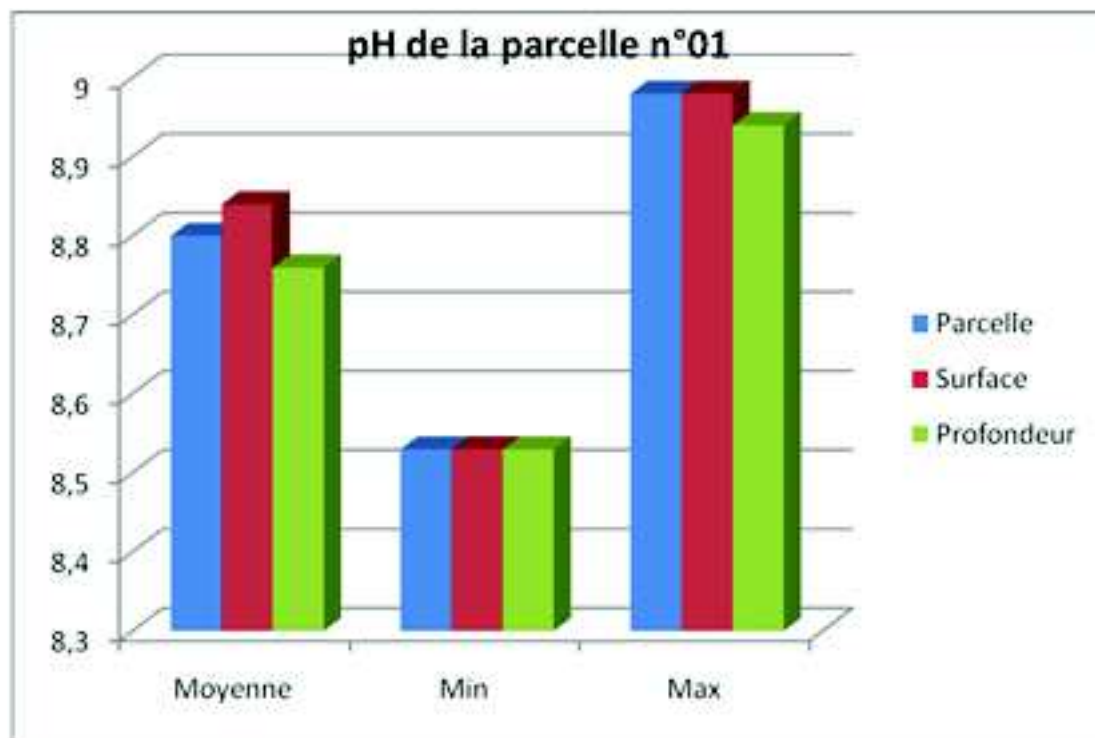


Figure 17: Le pH de l'échantillon (1^{ère} parcelle)

Selon l'échelle du pH, on constate que tous les échantillons sont très alcalins.

Le pH dans la parcelle n°2

Les résultats montrent que la moyenne est de 8,52, pour une gamme de données variant de 8,17 à 8,65 ; cependant, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieur à 8,62.

Tableau 31: Statistiques descriptives du pH (Parcelle 2)

pH 1/2,5		Moyenne	Médiane	Min.	Max.	N	CV
	Parcelle	8,52	8,62	8,17	8,65	4,00	2,71
	Ech surf	8,65	8,65	8,64	8,65	2,00	0,08
	Ech Prof	8,39	8,39	8,17	8,60	2,00	3,63

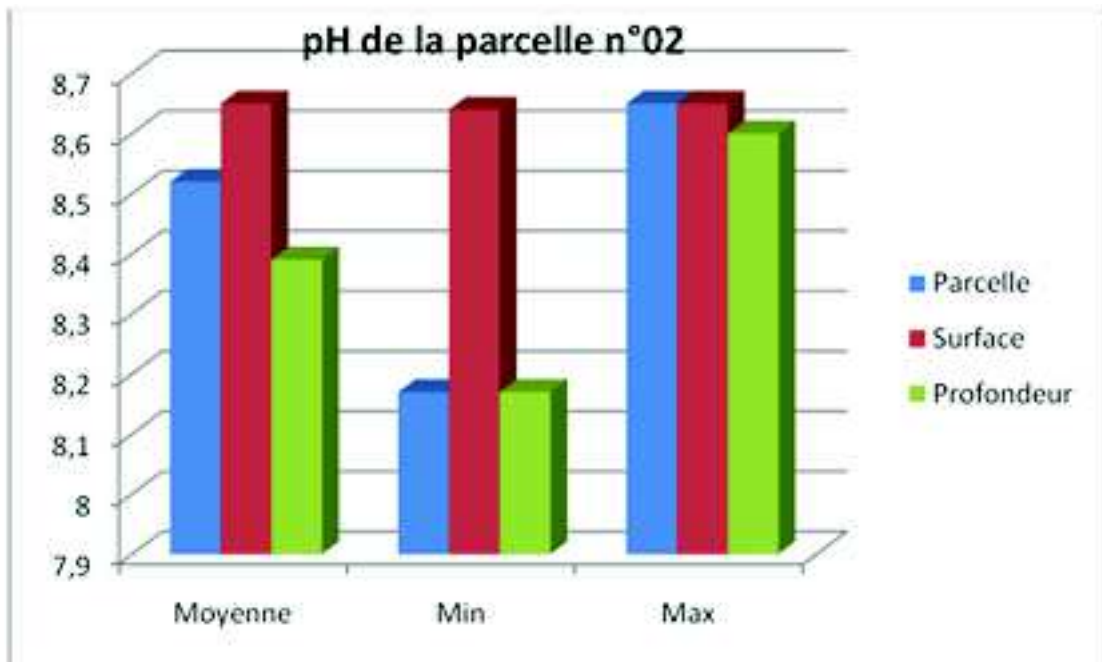


Figure 18: le pH de l'échantillon (2eme parcelle)

Selon l'échelle du pH on constate que tous les échantillons sont très alcalins.

Le pH dans la parcelle n°3

Les résultats du tableau 32 et la figure 19 montrent que la moyenne est de 8,40, pour une gamme de données variant de 8,10 à 8,66; toutefois, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieur à 8,39.

Tableau 32: Statistiques descriptives du pH (Parcelle 3)

pH 1/2,5		Moyenne	Médiane	Min.	Max.	N	CV
	Parcelle	8,40	8,39	8,10	8,66	10,00	2,24
Ech Surf	8,44	8,56	8,10	8,66	5,00	2,99	
Ech Prof	8,36	8,37	8,21	8,50	5,00	1,29	

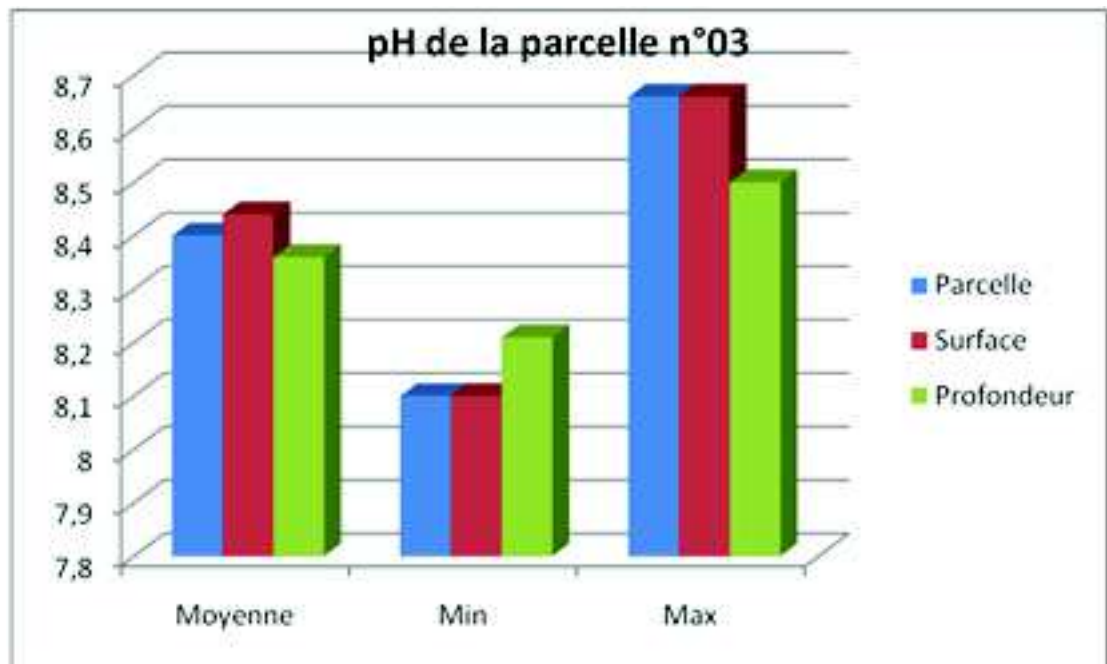


Figure 19 : le pH de l'échantillon (3eme parcelle)

Selon l'échelle du pH, on constate que les échantillons sont alcalins à très alcalins

La conductivité électrique

Introduction

La mesure de la conductivité électrique de la solution de sol constitue un assez bon indice de la salinité totale de ce sol. MATHIEU et PIELTAIN (2003) à classer la salinité du sol en fonction de la conductivité électrique (rapport 1 :5) en 5 classes.

Tableau 33: Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux rapport 1/5 à 25°C (Mathieu et Pieltain, 2003)

Echelle	0,6123 4				
CE1/5 (dS/m)	Non salé	Légèrement salé	salé	Très salé	Extrêmement salé

Cas de la parcelle N°1

Les résultats montrent que la moyenne est de 0,66, pour une gamme de données variant de 0,28 à 1,55 néanmoins, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieur à 0,59. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre les échantillons est grande. La salinité est très semblable en surface qu'en profondeur. Comparé aux témoins (0.33 en surface et 1.37 en profondeur), il semble que la salinité a augmenté un peu en surface après irrigation suite à l'évaporation mais a baissé en profondeur ce qui est du certainement à la remonté des solutions par capillarité.

Tableau 34: Statistiques descriptives de la conductivité électrique (Parcelle 1)

CEI/5 ds/cm		Moyenne	Médiane	Min	Max	N	CV
	Parcelle	0,66	0,59	0,28	1,55	10	54,40
	Ech surf	0,72	0,65	0,28	1,55	5	68,90
	Ech Prof	0,60	0,58	0,40	0,90	5	30,82

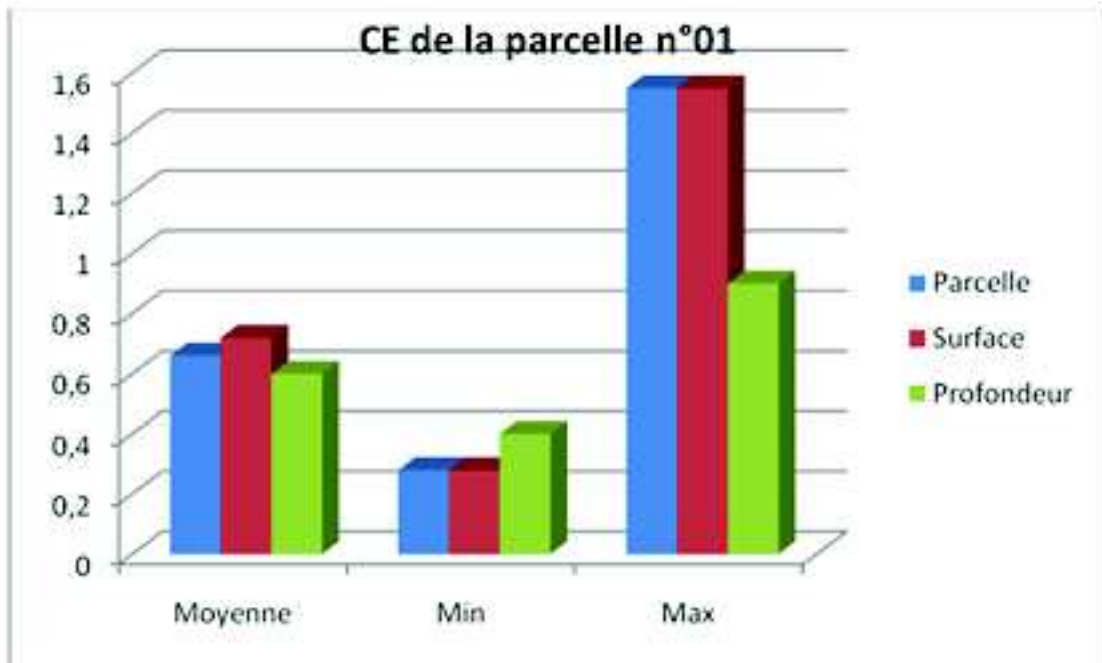


Figure 20: la CE de l'échantillon (1ere parcelle) Selon l'échelle de salinité (tableau 33)

On constate que 6 échantillons appartiennent à la classe des sols non salés, 3 échantillons à la classe des sols légèrement salés, et un seul échantillon appartient à la classe des sols salés

Tableau 35 : Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux rapport 1/5 à 25°C

Echelle	0,6	1	2	3	4
CEi/s dS/m	Non salé	Légèrement salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
échantillons	6	3	1	/	/

Cas de la parcelle N°2

Les résultats montrent que la moyenne est de 0,77, pour une gamme de données variant de 0,37 à 1,50 ; néanmoins, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieur à 0,60. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre les échantillons est très élevée. Comparé aux témoins (0.33 en surface et 1.37 en profondeur), il semble que la salinité a augmenté un peu en surface après irrigation suite à l'évaporation mais a baissé en profondeur ce qui est du certainement à l'ascension capillaire.

Tableau 36: Statistiques descriptives de la conductivité électrique (Parcelle 2)

CE1/5 ds/ cm		Moyenne	Médiane	Ecart-type	Min	Max	N	CV
	Parcelle	0,77	0,60	0,53	0,37	1,50	4	69,80
	Ech surf	0,60	0,60	0,32	0,37	0,82	2	53,48
	Ech Prof	0,94	0,94	0,80	0,37	1,50	2	85,46

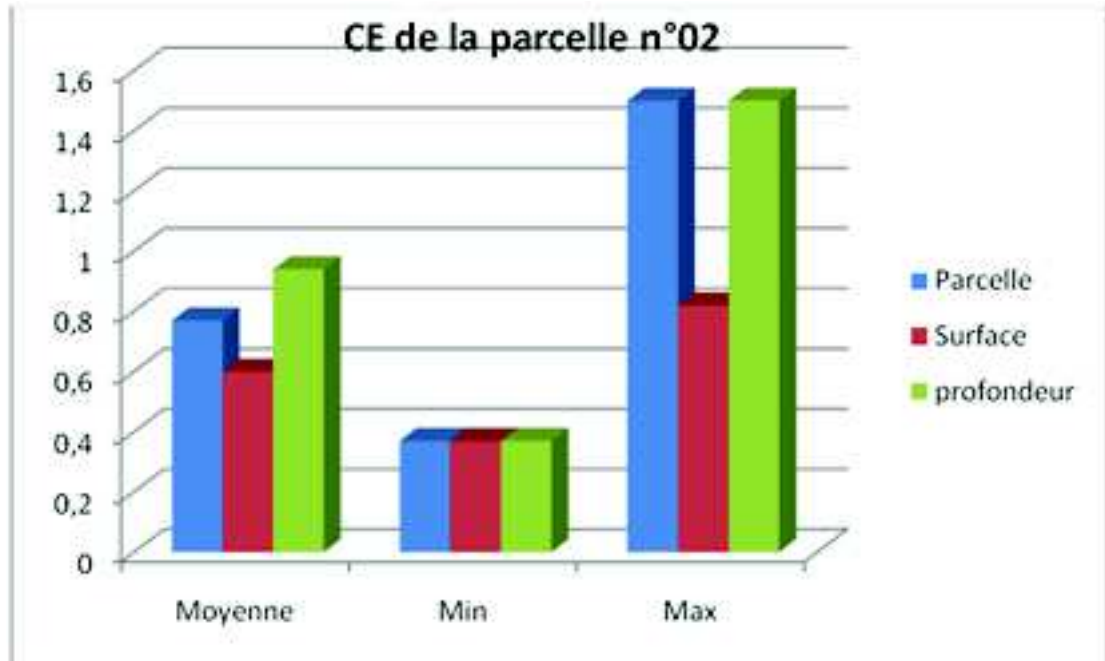


Figure 21: la CE de l'échantillon (2^Ème parcelle) Selon l'échelle de salinité

On constate que 2 échantillons appartiennent à la classe des sols non salés, un échantillon appartient à la classe des sols légèrement salés et un seul échantillon appartient à la classe des sols salés.

Tableau 37 : Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux rapport 1/5 à 25 °C

Echelle	0	1	2	3	4
CE1/5dS/m	Non salé	Légèrement salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
échantillons	2	1	1	/	/

Cas de la parcelle N°3

Les résultats montrent que la moyenne est de 2,05, pour une gamme de données variant de 0,93 à 3,26 néanmoins, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieurs à 1,93. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre les échantillons est élevée. Comparé aux témoins (0,51 en surface et 1,61 en profondeur), il semble que la salinité a augmenté en surface et en profondeur après irrigation par les eaux du barrage.

Tableau 38: Statistiques descriptives de la conductivité électrique (Parcelle 3)

	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Min.	Max.	N	CV%
Parcelle	2,05	1,93	0,79	0,93	3,26	10	38,42
Ech Surf	1,64	1,50	0,81	0,93	3,01	5	49,17
Ech Prof	2,45	2,36	0,57	1,90	3,26	5	23,43

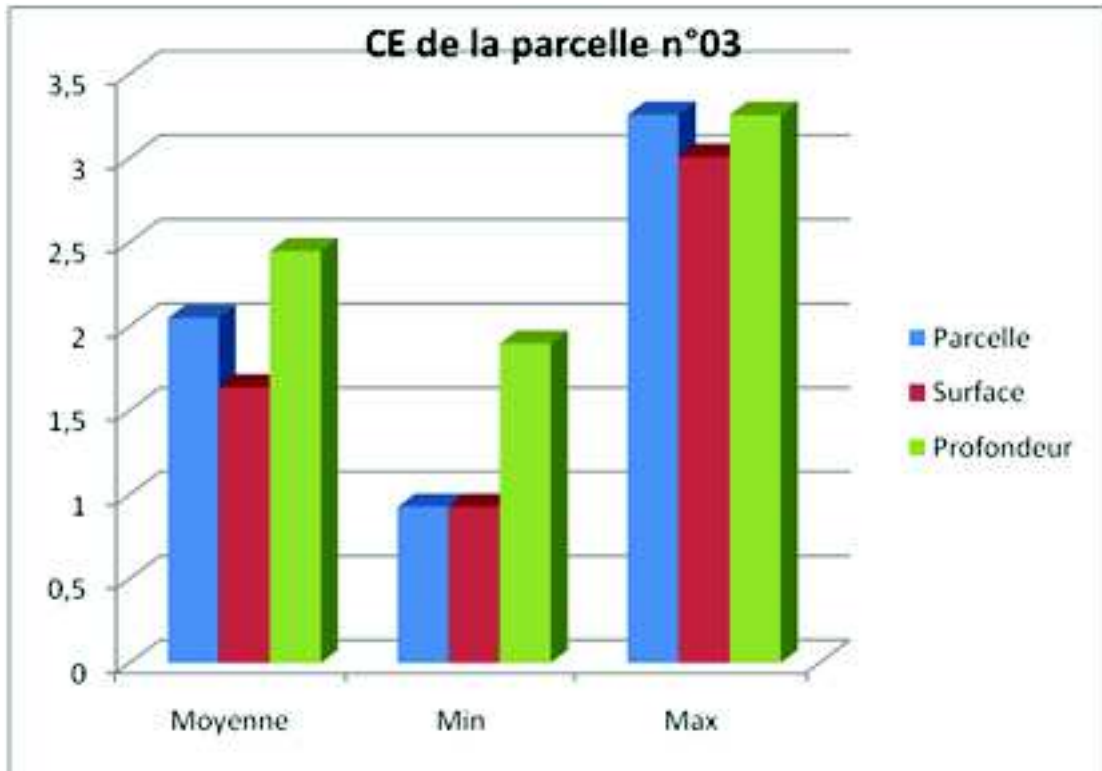


Figure 22: la CE de l'échantillon (3ème parcelle) Selon l'échelle de salinité (tableau 37)

On constate qu'un seul échantillon est classé comme légèrement salés, 5 échantillons comme sols salés et 4 échantillons comme très salés.

Tableau 39 : Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux rapport 1/5 à 25°C

Echelle	0,61	2	3	4	
CE1/5 dS/m	Non salé	Légèrement salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
échantillons	/	1	5	4	/

On peut faire les constatations suivantes : Le profil salin est relativement homogène dans la parcelle 1, il est descendant dans les parcelles 2 et 3.

Du point de vue taux de salinité, on constate que les parcelles 1 et 2 sont très semblables, alors que le taux le plus élevé se présente dans la parcelle irriguée par les eaux du barrage en surface qu'en profondeur.

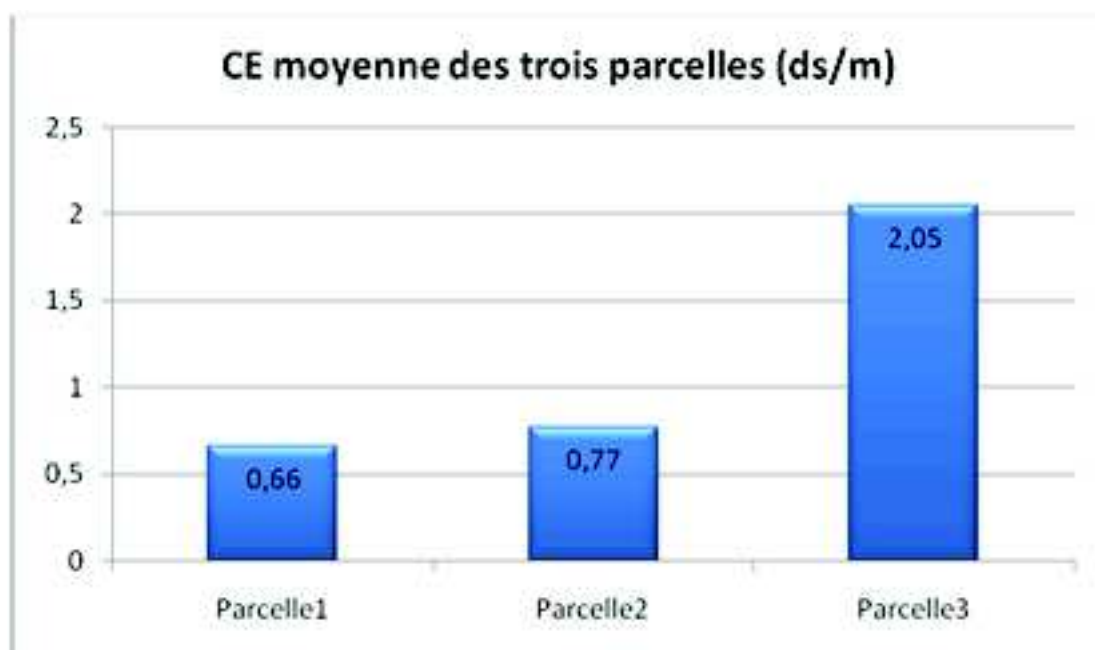


Figure 23: Salinité globale dans les 03 parcelles

Le calcaire total

Introduction

Le calcaire peut se trouver dans le sol à l'état de fragment de dimension quelconques depuis les blocs et les graviers jusqu'à la taille des particules argileuses. Dans les sols les teneurs en calcaire sont variables. Le tableau 40 présente l'échelle d'interprétation du taux du calcaire.

Tableau 40: Echelle de calcaire total (LOZET et MATHIEU, 1990)

Echelle (%)	0-2	2-10	10-25	25-50	50 -100
Interprétation	très faible	faible	moyenne	forte	Très forte

Le calcaire total dans la parcelle n°1

Les résultats montrent que la moyenne est de 40,64, pour une gamme de données variant de 33,84 à 47,29; néanmoins, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieurs à 40,37. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre les échantillons est faible.

Tableau 41: Statistiques descriptives du calcaire total (Parcelle 1)

Calcaire total		Moyenne	Médiane	Min.	Max.	N	CV%
	Parcelle	40,64	40,37	33,84	47,29	10,00	8,94
	Echantillons surface	37,99	38,83	33,84	39,60	5,00	6,16
	Echantillons Profondeur	43,29	42,68	41,14	47,29	5,00	5,94

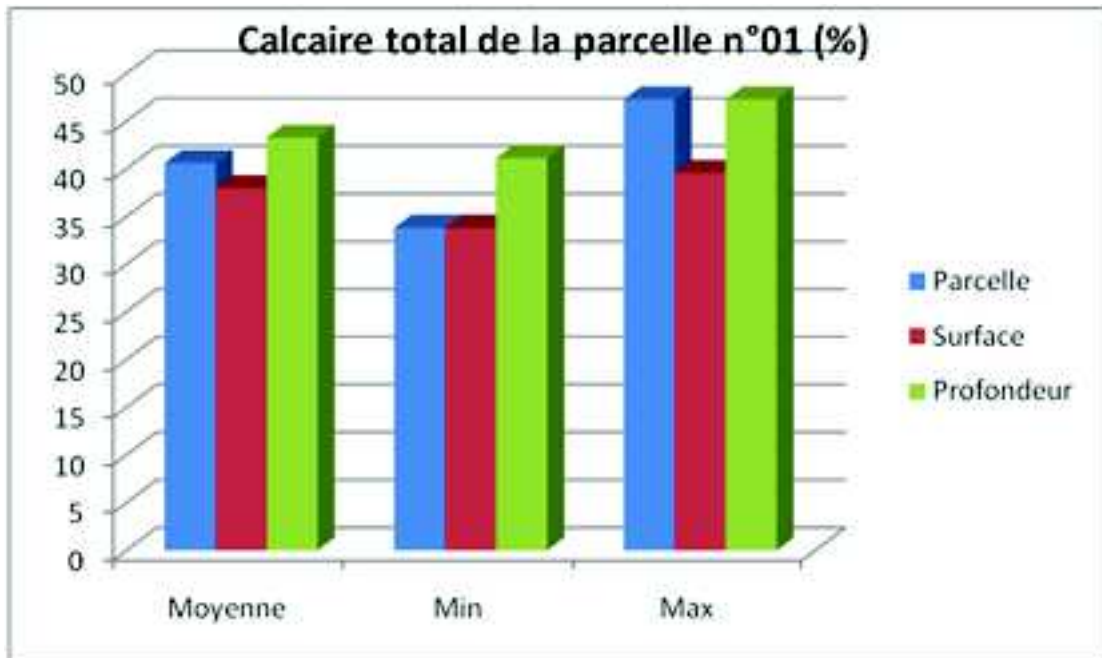


Figure 24: le calcaire total de l'échantillon (1ereparcelle)

Selon l'échelleci-dessus, on constate que tous les échantillons appartiennent à la classe des sols à forte calcaire.

Tableau 42 : Classes des sols en fonction de pourcentage de calcaire totale obtenue aux sols.

Echelle (%)	0-2	2-10	10-25	25-50	50-100
interprétation	très faible	faible	moyenne	forte	Très forte
échantillons	/	/	/	10	7"

Le calcaire total dans la parcelle N°2

Les résultats montrent que la moyenne est de 46,16, pour une gamme de données variant de 45,37 à 46,60 ; néanmoins, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieur à 46,33. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre les échantillons est faible.

Tableau 43: Statistiques descriptives du calcaire total (Parcelle 2)

Calcaire total		Moyenne	Médiane	Min.	Max.	N	CV%
	Parcelle	46,16	46,33	45,37	46,60	4,00	1,22
	Echantillon surface	45,76	45,76	45,37	46,14	2,00	1,19
	Echantillon Profondeur	46,56	46,56	46,52	46,60	2,00	0,12

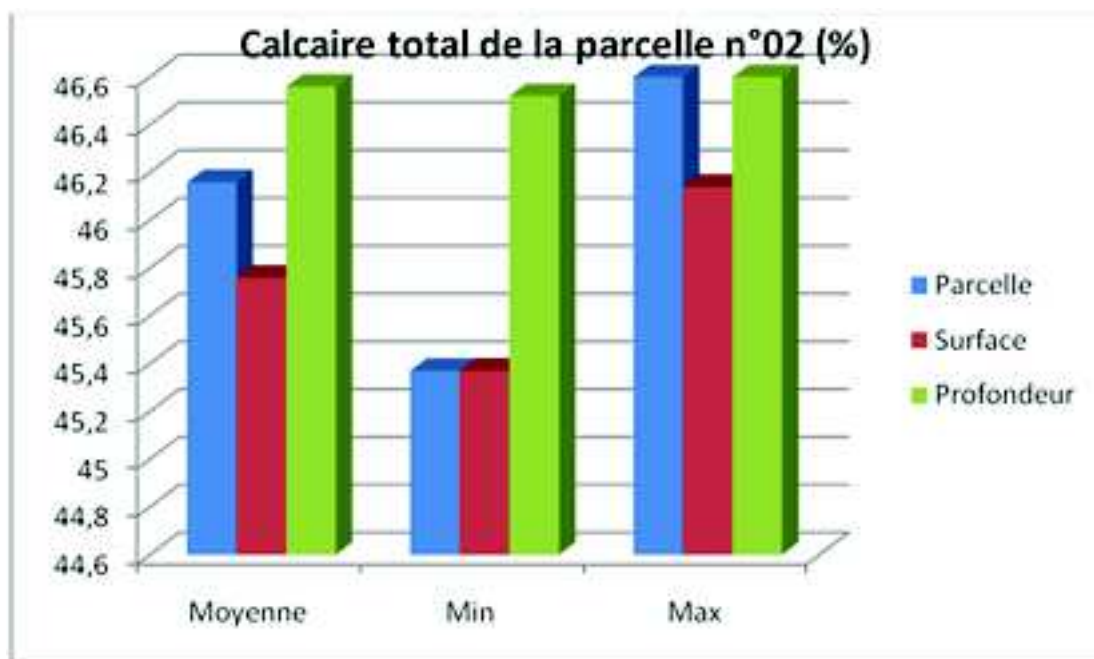


Figure 25: le calcaire total de l'échantillon (2ème parcelle)

Selon l'échelle précédente, on constate que tous les échantillons sont classés comme des sols à forte teneur en calcaire (tableau 44)

Tableau 44 : Classes des sols en fonction de pourcentage de calcaire totale obtenue aux sols

Echelle (%)	0-2	2-10	10-25	25-50	50-100
interprétation	très faible	faible	moyenne	forte	Très forte
échantillons	/	/	/	4	/

Le calcaire total dans la parcelle N°3

Les résultats montrent que la moyenne est de 44,49, pour une gamme de données variant de 41,14 à 45,75 ; cependant, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieur à 44,99. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre les échantillons est faible.

Tableau 45: Statistiques descriptives du calcaire total (Parcelle 3)

calcaire total	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	N	CV%
Parcelle	44,49	44,99	41,14	45,75	10	2,97
Echantillon Surface	44,29	44,99	41,14	45,75	5	4,18
Echantillon Profondeur	44,68	44,99	43,83	45,37	5	1,42

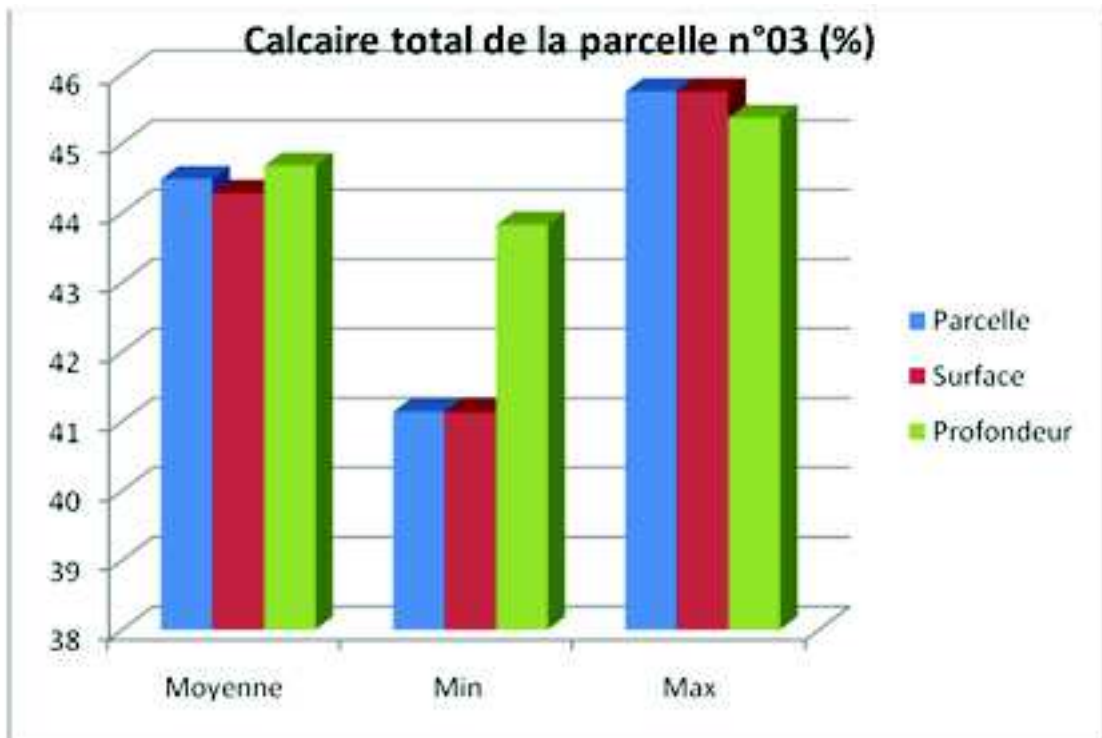


Figure 26: le calcaire t de l'échantillon (3eme parcelle)

Selon l'échelle du tableau 45, on constate que toutes les échantillons sont fortement calcaire (tableau 46)

Tableau 46: Classes des sols en fonction de pourcentage de calcaire totale obtenue aux sols

Echelle (%)	0-2	2-10	10-25	25-50	50-100
Interprétation	très faible	faible	moyenne	forte	Très forte
échantillons	/	/	/	10	/

Selon les données, on peut faire les constatations suivantes : Le taux du calcaire total est élevé dans toutes les parcelles, néanmoins, la parcelle 1 présente le taux le moins élevé.

Le calcaire dans ces régions ne semble pas d'origine pédogénétique. En effet, sur le terrain, on a pas décelé d'individualisations de calcaire même à des taux très élevés de calcaire, sa forme est diffuse ce qui suggère une origine détritique.

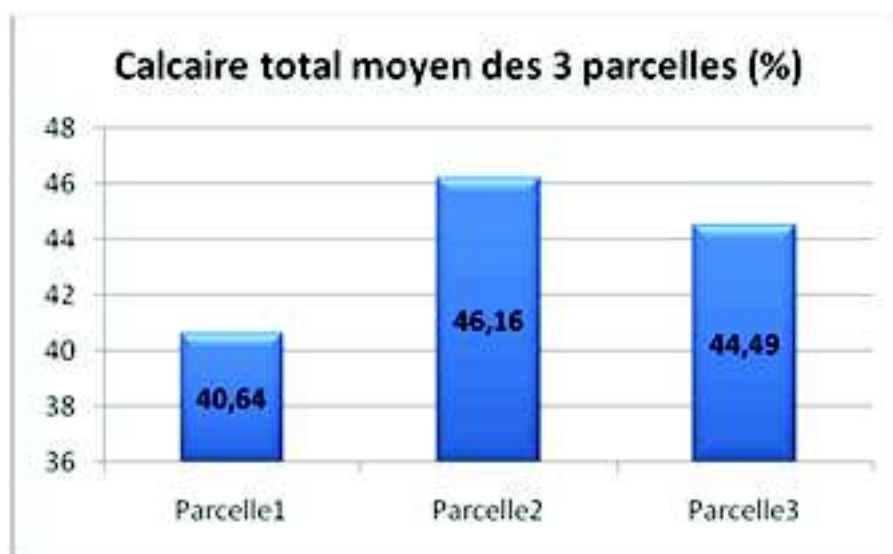


Figure 27: Taux du calcaire dans les 03 parcelles

Lacapacité d'échange cationique (CEC)

Introduction:

La CEC est la quantité totale de cation que ce sol peut adsorber sur son complexe et échanger avec solution environnante dans des conditions de pH.

Le tableau ci-dessous présente une échelle d'interprétation de la CEC.

Tableau 47: Echelle de la CEC (CHAMAYOU et LOGROS, 1989).

Echelle en meq /100g de sol	<10	10-15	15-20	20-25	>25
Interprétation	très faible	faible	moyenne	élevée	Très élevée

La CEC dans la parcelle N°1

Les résultats montrent que la moyenne est de 30.70, pour une gamme de données variant de 20 à 45 ; néanmoins, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieur à 29,50. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre les échantillons est relativement moyenne.

Tableau 48: Statistiques descriptives de CEC (Parcelle 1)

CEC	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	N	CV%
Parcelle	30,70	29,50	20	45	10	25,42
Echantillons surface	30,60	29,00	20	45	5	31,23
Echantillons profondeur	30,80	30,00	24	40	5	21,95

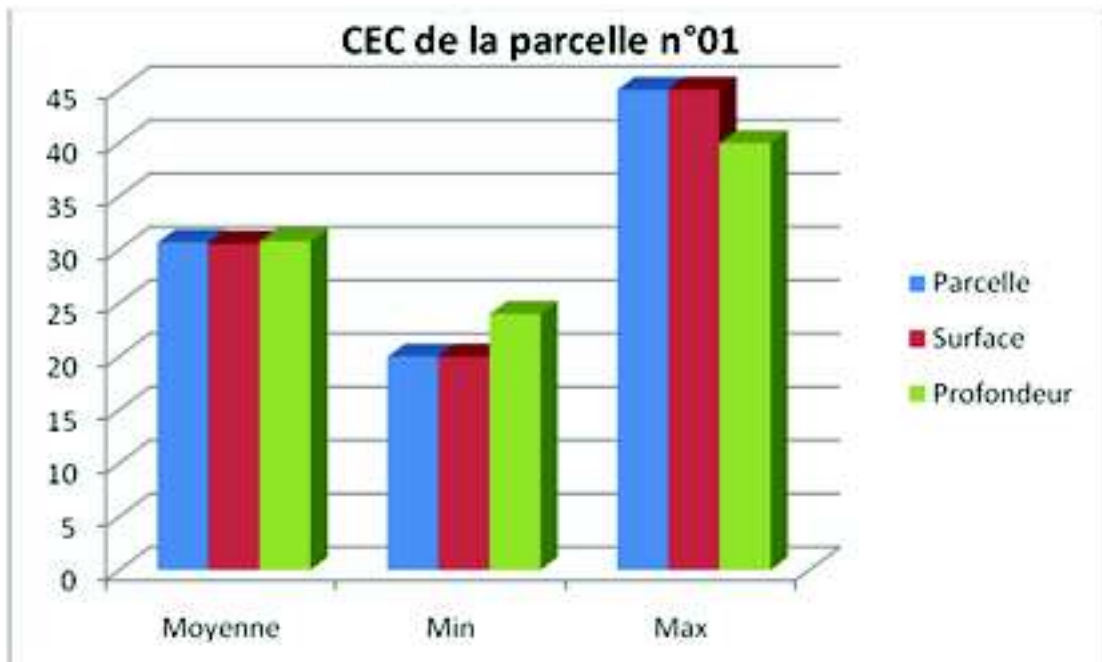


Figure 28: la CEC de l'échantillon (1ère parcelle)

Selon l'échelle, on constate que 4 échantillons présentent une capacité d'échange cationique élevée, et les autres échantillons une capacité d'échange cationique très élevée.

Tableau 49 : Répartition des échantillons de sol de la 1ère parcelle

Echelle en meq/100g sol	<10	10 à 15	15 à 20	20 à 25	>25
interprétation	très faible	faible	moyenne	élevée	Très élevée
Echantillons	/	/	/	4	6

LaCEC dans la parcelle n°2

Les résultats montrent que la moyenne est de 25,75, pour une gamme de données variant de 24 à 27 ; toutefois, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieurs à 26. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre les échantillons est faible.

Tableau 50: Statistiques descriptives de CEC (Parcelle 2)

CEC	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	N	CV%
Parcelle	25,75	26	24	27	4	5,83
Echantillons surface	25,50	25,50	24	27	2	8,32
Echantillons Profondeur	26,00	26	25	27	2	5,44

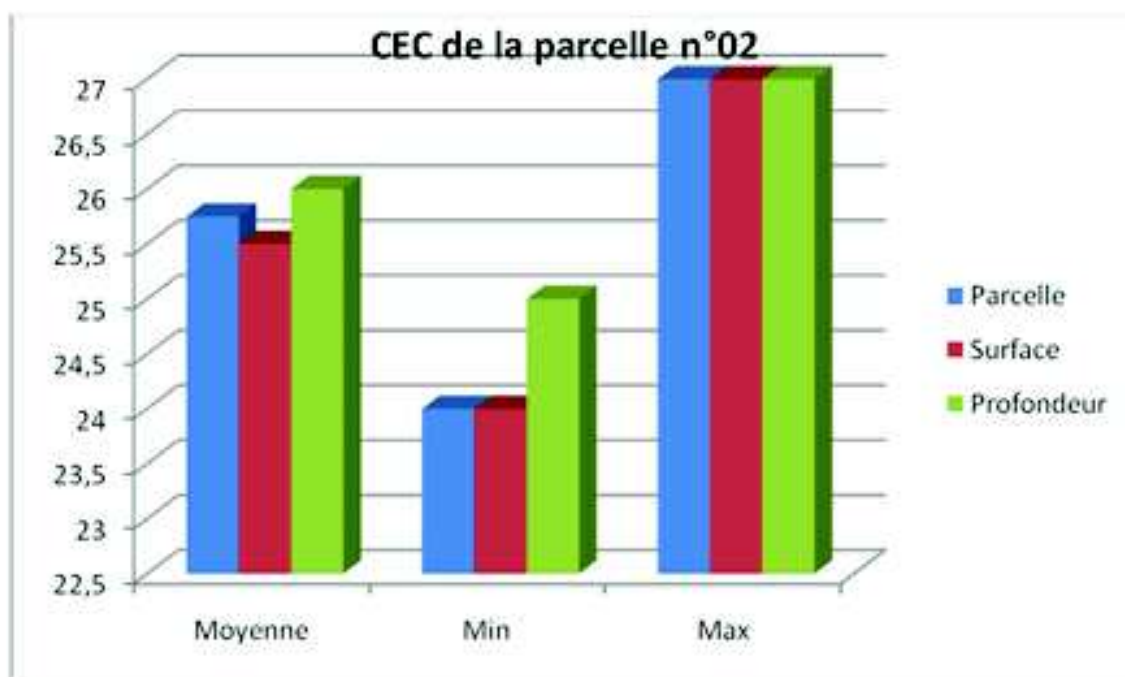


Figure 29: la CEC de l'échantillon (2eme parcelle)

Selon l'échelle, on constate qu'un échantillon présente une capacité d'échange cationique élevée, et les autres échantillons une capacité d'échange cationique très élevée.

Tableau 51 : répartition des échantillons de sol de la 1ere parcelle

Echelle en meq/100g sol	<10	10à15	15à20	20à25	>25
Interprétation	très faible	faible	moyenne	élevée	Très élevée
échantillons				1	3

La CEC dans la parcelle n°3

Les résultats montrent que la moyenne est de 30.40, pour une gamme de données variant de 22 à 55 ; cependant, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieur à 28,50. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre les échantillons est moyenne.

Tableau 52: Statistiques descriptives de CEC (Parcelle 3)

CEC	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	N	CV%
Parcelle	30,40	28,50	22	55	10	30,20
Echantillons Surface	26,80	28,00	22	31	5	13,81
Echantillons profondeur	34,00	30	26	55	5	35,23

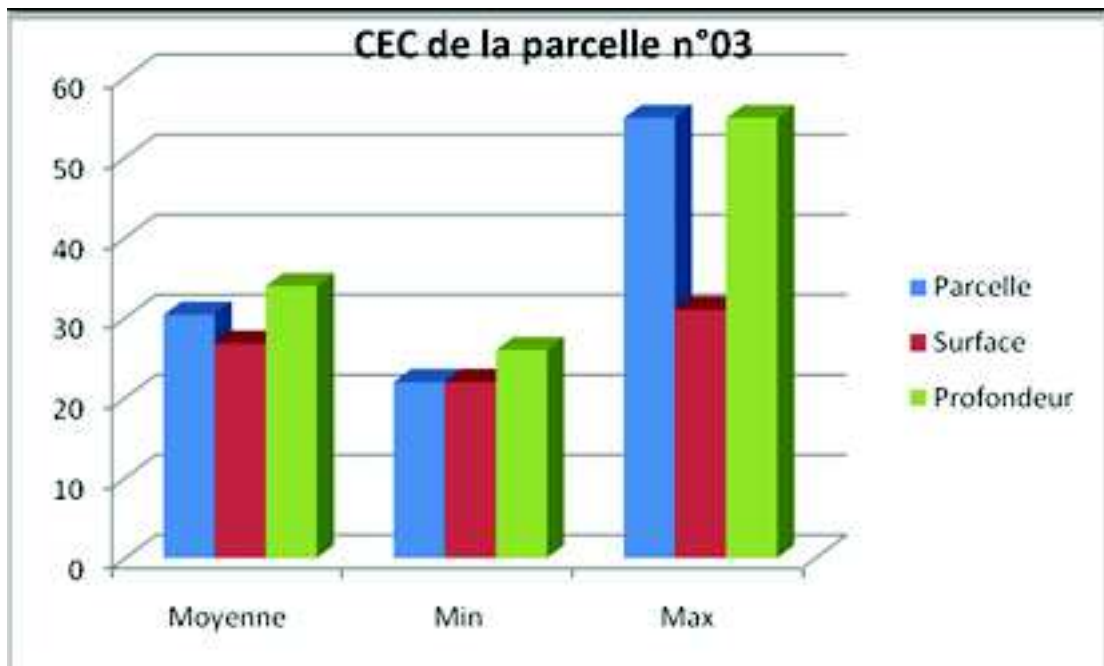


Figure 30: la CEC de l'échantillon (3eme parcelle)

Selon l'échelle, on constate que seulement 2 échantillons présente une capacité d'échange cationique élevée, et les autres échantillons une capacité d'échange cationique très élevée (tableau 53).

Tableau 53: Répartition des échantillons de sol de la 1ere parcelle

Echelle en meq /100g sol	<10	10à15	15à20	20à25	>25
Interprétation	très faible	faible	moyenne	élevée	Très élevée
échantillons	/	/		2	8

Le pourcentage du sodium échangeable (ESP)

Introduction

Il représente le pourcentage de sodium présent sur le complexe d'échange.

$E S P = 100 Na \text{ (enmeq/100g)}/CEC \text{ (en meq/100g)}$;

Le pourcentage du sodium échangeable (ESP) dans la parcelle N°1

Les résultats montrent que la moyenne est de 18.76, pour une gamme de données variant de 12,31 à 27,04 ; néanmoins, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieur à 17,07. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre les échantillons est moyenne.

Tableau 54: Statistiques descriptives d'ESP (Parcelle 1)

ESP (%)	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	N	CV (%)
Parcelle	18,76	17,07	12,31	27,04	10	26,17
Echantillons surface	18,67	15,21	12,31	27,04	5	34,05
Echantillons profondeur	18,86	17,23	14,77	23,84	5	19,70

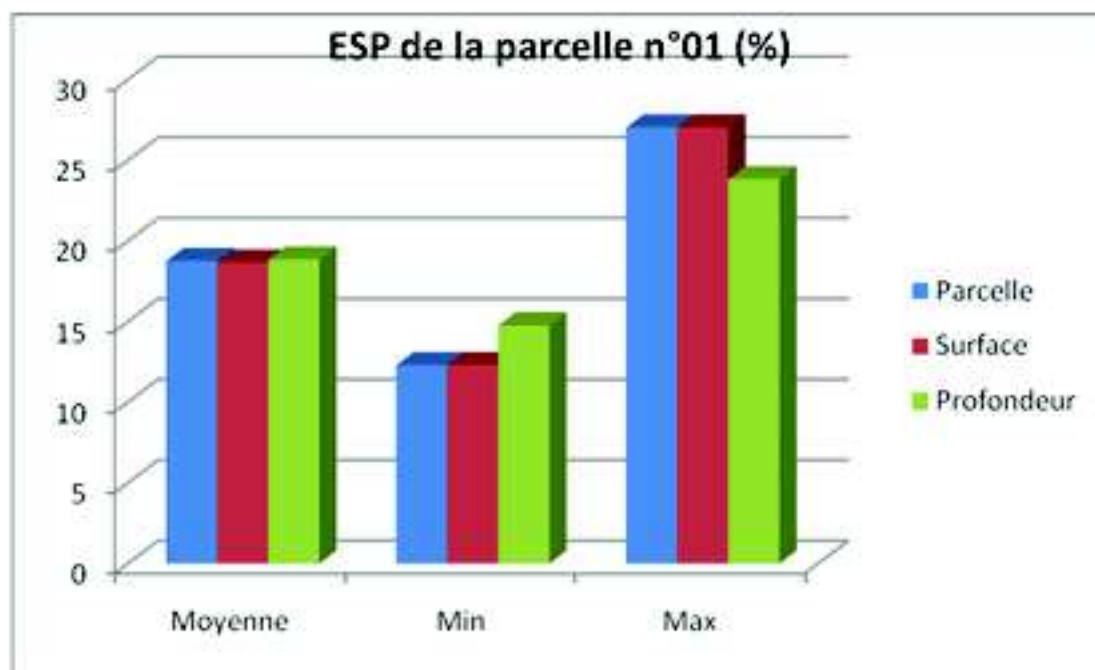


Figure 31: l'ESP de l'échantillon (1ère parcelle)

Le pourcentage du sodium échangeable (ESP) dans la parcelle N°2

Les résultats montrent que la moyenne est de 20,86, pour une gamme de données variant de 19,15 à 22,07 ; néanmoins, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieure à 21,11. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre les échantillons est faible.

Tableau 55: Statistiques descriptives d'ESP (Parcelle 2)

		Moyenne	Médiane	Min.	Max.	N	CV%
	Parcelle	20,86	21,11	19,15	22,07	4	6,12
ESP %	Echantillons surface	20,35	20,35	19,15	21,54	2	8,31
	Echantillons profondeur	21,38	21,38	20,68	22,07	2	4,60

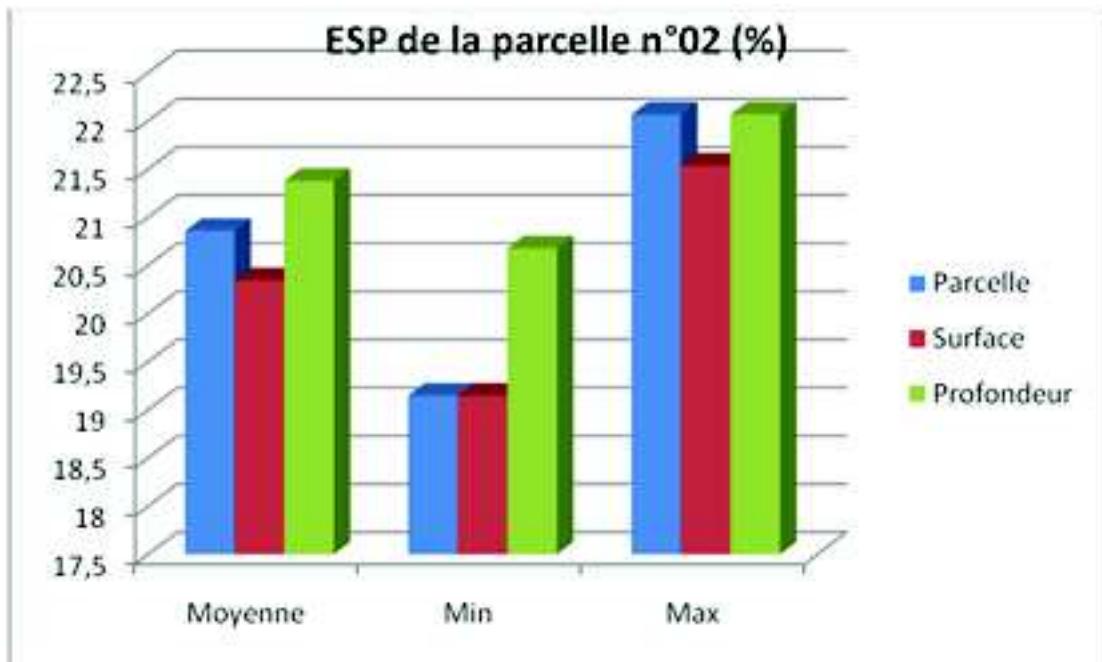


Figure 32: l'ESP de l'échantillon (2ème parcelle)

Le pourcentage du sodium échangeable (ESP) dans la parcelle N°3

Les résultats montrent que la moyenne est de 21,73, pour une gamme de données variant de 9,40 à 31,35; néanmoins, selon la médiane 50% des échantillons sont inférieur à 21,74. Le coefficient de variation indique que la variabilité entre les échantillons est moyenne. Selon

Tableau 56: Statistiques descriptives d'ESP (Parcelle 3)

ESP %	Moyenne	Médiane	Min.	Max.	N	CV%
Parcelle	21,73	21,74	9,40	31,35	10	32,66
Echantillons surface	24,41	23,50	18,46	31,35	5	21,82
Echantillons profondeur	19,05	16,16	9,40	30,93	5	42,97

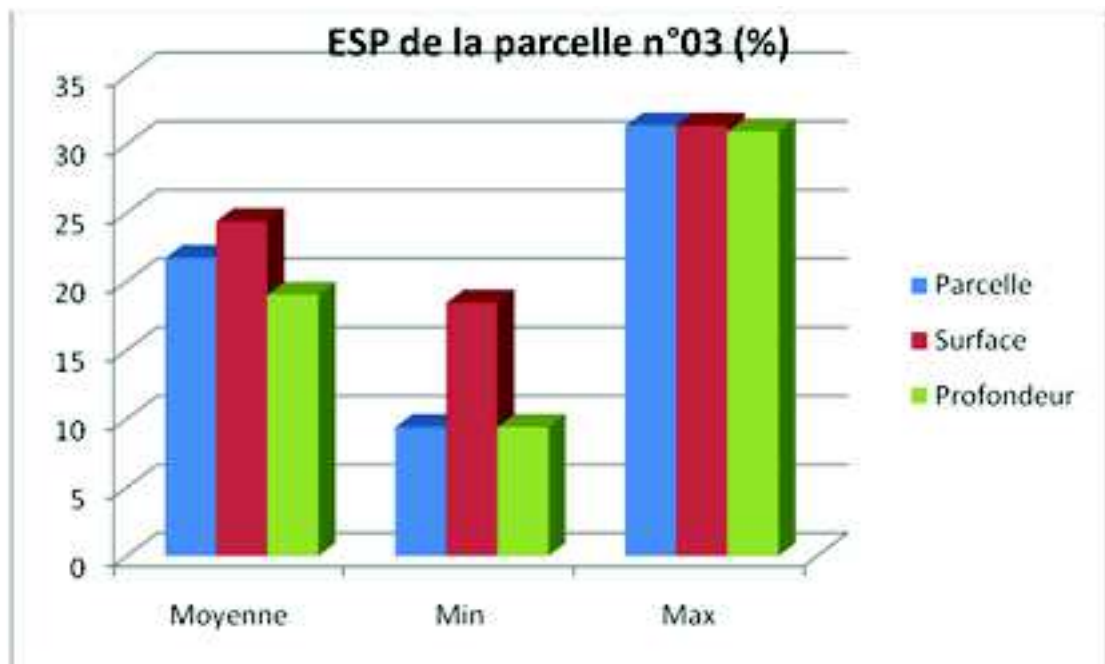


Figure 33: l'ESP de l'échantillon (3ème parcelle)

On peut faire les constatations suivantes :

L'ESP dépasse le seuil critique dans presque tous les échantillons, cependant, il est plus important dans la parcelle 2 qui a été irriguée pendant une certaine période avec l'eau du forage et la parcelle 3 qui est irriguée jusqu'à présent par les eaux du forage. Ceci peut s'expliquer par le faciès cationique des eaux du forage qui est sodique alors qu'il est magnésique pour les eaux du barrage. Toutefois, il faut signaler que les eaux souterraines sont les plus salées mais avec une variabilité spatiale élevée.

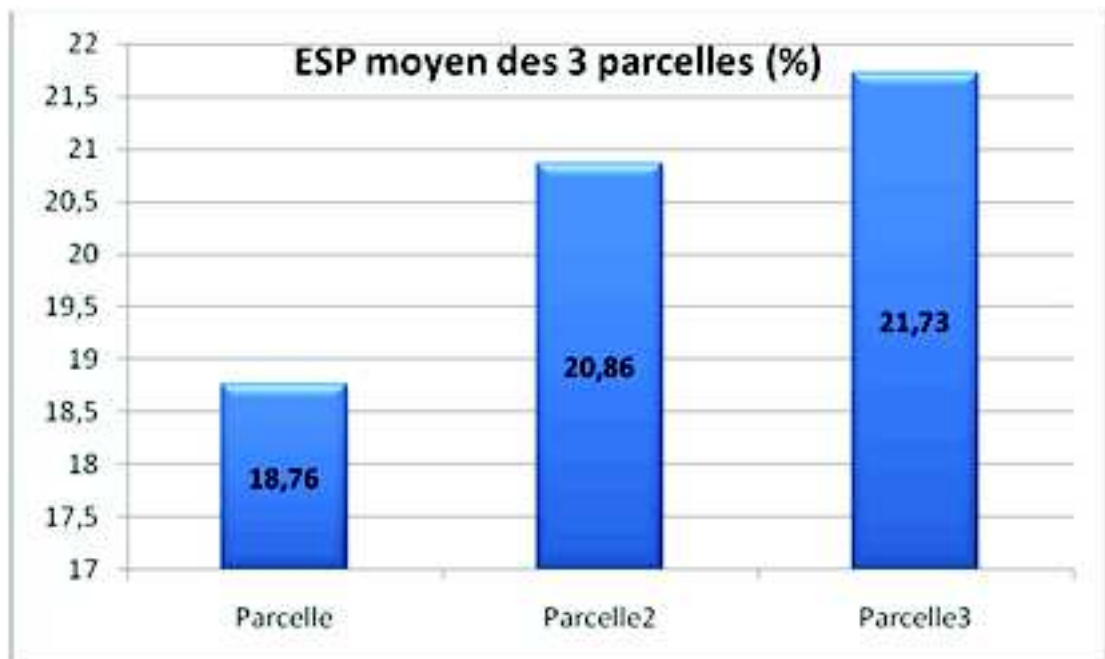


Figure 34: l'ESP dans les 03 parcelles

3- Synthèses

Tout d'abord, les conditions du terrain se résument ainsi :

La parcelle 1 (P1) est irriguée avec les eaux de barrage ; la parcelle 2 (P2) est irriguée avec les eaux de forage ; la parcelle 3 (P3) a été irriguée par les eaux de forage et actuellement elle est irriguée avec les eaux du barrage.

La conductivité électrique des eaux du barrage est de 2.5 dS/m. leur faciès chimique est chloruré magnésique. La conductivité électrique des eaux des forages d'El Outaya est variable, mais ces eaux sont plus salées que ceux du barrage. Pour l'échantillon présenté la CE = 3.9 dS/m et leur faciès chimique est chloruré sodique.

La texture lourde dominée dans la plupart des cas par la fraction fine peut aggraver le risque de dégradation des sols.

Selon les résultats, nous constatons que les caractéristiques physiques ne sont pas très différentes. Il s'agit là de valeurs moyennes. Le premier constat fait sur ces sols est en relation avec la dégradation de la structure notamment pour les sols irrigués par les eaux de forage. On a remarqué aussi une grande variabilité spatiale des paramètres pédologiques liée certainement au travail du sol, à l'itinéraire technique, à l'assolement et la rotation des cultures. Mais aussi à la qualité des eaux d'irrigation, au temps de la mise en eau et à la méthode d'irrigation.

Après les résultats précédents on peut faire les constatations suivantes :

3-1 Concernant l'état de compaction des sols

Les constatations suivantes sont appuyées par les analyses de la densité apparente. En effet, les mesures ont montré que la majorité des sols, quel que soit l'origine de l'eau d'irrigation, sont compactés à très compactés avec une moyenne de 1.47 à 165.

Le compactage est plus prononcé sur les horizons profonds de la parcelle 2, irriguée par l'eau du forage, ce qui laisse comprendre l'existence d'une semelle de labour dans les horizons profonds.

3-2 Concernant l'état de la stabilité des agrégats

L'analyse de la stabilité des agrégats selon la méthode d'Emerson modifiée (FIELD et *al.*, in DOUAOUI, 2007) a permis de montrer que les sols de la zone d'étude sont pour, la plupart, instables à très instable vis-à-vis de l'action destructrice de l'eau quel que soit l'origine de l'eau d'irrigation (Fig. n°34).

3-3 Concernant l'état de la perméabilité

Les sols de la zone d'étude sont peu perméable à modérément perméable. Cependant, on n'a pas trouvé de corrélation entre la fraction fine et la perméabilité (coefficient K). Le coefficient de corrélation $r = -0.32$ entre K et l'argile et $r = 0.20$ entre K et le limon. Ceci semble être en relation avec les types de pores qui existe, dominés certainement par les micropores ce qui explique le signe moins de la corrélation.

3-4 Concernant les eaux d'irrigation

L'augmentation de la salinité des eaux réduit de manière significative le "volume d'eau efficace" pour la croissance végétale. En effet, pour le même rendement d'une plante, plus l'eau est salée plus le volume nécessaire sera important.

Ainsi, avec l'augmentation de la salinité, un plus grand volume d'eau doit être appliqué pour obtenir le même résultat. Ce volume supplémentaire est plus important pour les plantes, plus sensible aux sels, que pour celles plus tolérantes à la salinité.

Une des conséquences à cette utilisation abusive de l'eau salée pour maintenir un rendement, est l'augmentation de la salinité des sols avec un cortège de dégradations de caractéristiques physiques et physico-chimiques.

CONCERNANT L'ETAT DE LA SALINITE

Selon les normes de qualité des eaux d'irrigation USSL (1954), les eaux d'irrigation (barrage et forage) présentent un risque de salinité élevé (C4) et un risque de sodisation élevé

pour les eaux de forage. Il faut signaler que les eaux de forage présentent une variabilité spatiale dès importante. On a enregistré sur terrain des valeurs variant entre 2.56 et 6.6 dS/m.

Ces eaux contiennent donc des quantités excessives de sels solubles qui se concentrent dans la zone racinaire, mais une très faible quantité de ces sels est extraite par les cultures. En d'autres termes, de tels milieux sont le siège d'une salinisation secondaire (DAOUD et HALITIM, 1994).

CONCERNANT L'ETAT DE SODICITE

Le calcul de l'ESP a montré que ces sols dépassent le seuil tolérable de 15%. Ces valeurs sont certainement liées à leur forte instabilité structurale. Leur texture argileuse augmente ce risque. Cependant, les sols de ces régions, sont développés sur des alluvions riches en calcaire, source importante en calcium qui agit comme ion flocculant du complexe d'échange. A cet effet, des études plus poussées sur les phénomènes d'échange en relation avec la minéralogie des sols peuvent donner des éléments de réponse au comportement de ces sols après irrigation.

CONCLUSION GENERALE

A titre de rappel, l'objet de notre travail porte sur le comportement des sols de la plaine d'ElOutaya sous irrigation. Les sols de cette plaine sont d'origine alluviale, à texture fine (argileuse à limono-argileuse) très calcaires, basiques, avec des teneurs faibles en gypse, légèrement salés, CEC élevée à très élevée.

Les indicateurs suivis sont :

- Le pH
- La structure et la stabilité structurale
- La densité apparente, la porosité et la perméabilité
- L'indice de battance et la Réserve Utile

Une expérimentation in-situ a été réalisée sur 2 sites localisés au niveau de cette plaine.

- **Site n°1** : localisé dans la ferme expérimentale du CRSTRA où trois profils ont été échantillonnés (P1 et P2) dont les parcelles sont irriguées par les eaux du barrage de Fontaine des Gazelles. Par contre, le profil nommé P6 représente une parcelle témoin non irriguée.
- **Site n°2** : situé dans une exploitation privée au lieu-dit LAHZIMA où trois parcelles ont été échantillonnées. Dans un premier temps, elles ont été irriguées par les eaux de forage pendant quatre campagnes agricole, puis par les eaux de forage du barrage de Fontaine des Gazelles depuis deux ans.

Les traitements qui conduisent notre démarche sont les suivants :

- Sol témoin (non irrigué)
- Sols irrigués par les eaux souterraines (forage)
- Sols irrigués par les eaux de surface (barrage Fontaine des Gazelles)

Il ressort de cette expérimentation les résultats suivants :

1°) Au niveau du site n° 1

Nos résultats ont révélé les faits suivants :

La CE varie de 1,02 à 4 ds/m dans les deux profils irrigués. Par contre, dans le profil n°6 (P6 non irrigué), la CE varie de 0,7 à 0,83 ds/m.

Ainsi, au niveau des horizons médians de ces deux profils irrigués, nous avons constaté un tassement important où la densité apparente varie de 1,68 à 1,79 g/cm³. Par contre, au niveau du profil 6, elle oscille entre 1,40 g/cm³ à 1,52g/cm³. Ceci induit une nette diminution de la porosité avec comme conséquence, une dégradation de la structure et de la stabilité structurale. Cet état structural a conduit à un disfonctionnement hydrique (baisse de la conductivité hydraulique), ce qui explique probablement la concentration de sel au niveau des horizons médians de tous les profils (quel que soit le site et quel que soit le traitement).

2°) Au niveau du site n° 2

Toutes les caractéristiques physiques et physico-chimiques que nous avons suivies, ont subi une légère dégradation en comparaison avec les deux profils irrigués du premier site (P1 et P2).

Citons comme exemple la densité apparente. Dans les trois parcelles irriguées, elle ne dépasse guère le $1,48\text{g/cm}^3$. Par contre, la parcelle n° 2 irriguée par les eaux de forage, voit sa densité apparente augmenter et varier de 1,64 à $1,88\text{g/cm}^3$.

Nos résultats révèlent une dégradation de la qualité des sols à texture fine quand ils sont mis en valeur en utilisant des moyens non appropriés tels que des eaux d'irrigation de qualité médiocre, une absence de lessivage ou de techniques culturales non adaptées à ce milieu saharien. Il s'avère donc nécessaire de maîtriser l'irrigation à travers des fractions lessivantes et la mise en place d'un réseau de drainage afin d'assurer la durabilité de ces périmètres très fragiles.

Du point de vue agronomique, il est observé que seules une exploitation rationnelle des ressources hydriques, la mise au point de techniques de drainage adéquates, une meilleure gestion des sols selon leur types et l'emploi de techniques modernes dans les exploitations agricoles permettront de lutter contre la salinité et assureront dans le long terme une pérennité de l'activité économique et la longévité des aménagements hydro-agricoles. Tout ceci doit être fait en fonction des caractéristiques climatiques, hydriques et des sols de la région.

Références bibliographiques

- ABDESSELAM S., 1998 : Contribution à l'étude des sols gypseux au nord et du Sahara Algérien : Caractérisation et genèse. Cas des oasis de Tolga (région des Zibans). Mém. Mag. INA.147p.
- AUBERT, G. 1978 : Méthodes d'analyses des sols. C.R.D.P.Marseille ,188p.
- AYERS RS, WESTCOT DW 1988 : La qualité d'eau en agriculture. Bulletin F.A.O d'irrigation et de drainage. N°29 F. A. O., Rome, 180p.
- AYERS, J. MARK,E et GRISMER ,D.1997 : Water quality as design Criterion in drainage water management system. Journal of irrigation and Drainage Engineering, Vol 123 n°03, pp : 154-158.
- BAHRI, A. , 1992Impact of sewage application on drainage water quantity and quality. Science des sols, 30, pp: 57-74.
- BARBAULT R., 2000:Ecologie générale, structure et fonctionnement de la biosphère 5^{ème} ED.DUNOD, 326p.
- BOUARFA, S. et HAMMANI, A., 2002 :Drainage design in the Gharb plain in Morocco.Kluwer AcademicPublishers Irrigation and drainage systems, Netherlands, pp89-110.
- BAIZE, D. 1988 : Guide des analyses courantes en pédologie. Choix, expression, présentation, interprétation .I.N.R.A.Paris, 172p.
- BAIZE D. et JABIOL B., 1995 : Guide pour la description des sols. Ed. Lavoisier, 375p.
- COQUE R. (1962) : Tunisie présaharienne, Paris, éd. COLIN, 262 p.
- CHAMAYOU H. et LEGROS J.P., 1989 : Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol.
- CHEVERY, C., 1995 : Comportement des plantes en milieu salé.Compte rendu de l'acad.d'agri. de France. Action n°04(1995) Rev. bimestrielle,Vol.81(2), Paris, pp 42-46.
- CHRISTEN E et DOMINIC S, 2001: Design and management of subsurface horizontal drainage to reduce salt loads.Journal of irrigation and drainage Engineering, Vol 127 n°03,pp 148-155.
- CORDARY D.; 1994: Mécanique des sols. Ed Lavoisier nTec et Doc., Paris, 375p.
- CSERNI I, 1998: Leaching of fluvisol under arid conditions in large scale farming and vegetable farming.16ème CongrèsMondial de Science des Sols. Montpellier.
- DUCHAUFFOUR Ph, 1976 : Pédogenèse et classification. Ed. Masson et Cie, 477 p.
- DUCHAUFFOUR Ph, 1988 : Abrégé de Pédologie. Ed. Masson et Cie. 477p.
- DURAND JH, 1953: Etude géologique, hydrogéologique, et pédologique des croutes en Algérie .S.E.S .Alger, 209p.

- FIES J.C., 1971 : Recherche d'une interprétation texturale de la porosité des sols. Ann. Agro. 22 (6) 655-685.
- HALITIM A 1995: Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes plaines steppiques de l'Algérie) .Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse doctorat, Uni. Rennes ,384p.
- HALITIM A : 1988 Sols des régions arides d'Algérie. O.P.U.Alger 384 p.
- HACHICHA M et BAHRI A 1999 : Utilisation des eaux saumâtres –problématique, acquis et perspective et recherche 6ème journées nationales sur les résultats de la recherche agronomique, Nabeul, Tunisie 6-7 décembre 1999 12p.
- HACHICHA M ET MRIHI a 2003-Utilisation des eaux salées et risque de salinisation en Tunisie. Congrès de : ADENIT Association des anciens de l'école Nationale d'Ingénieurs de Tunisie -, SHF : Société hydrotechnique de France- ENIT Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunisie –et INAT Institut national agronomique de Tunisie –et avec le soutien de la direction de l'eau du ministère de l'écologie et du développement durable de la république Française. Tunis, les 20-21 et 22 mai 2003, pp :185-1991.
- HALILET A., ROBERT M., TESSIER D. ET PROST R. ,1984 :Influence des cations échangeables (na⁺ ca⁺⁺ mg⁺⁺) –et la concentration saline sur le comportement physique rétention en eau. Conductivité hydraulique-delà montmorillonite. Agronomie 4(5).
- HAMDY A, LASRAM M et LACIRIGNOLA C, 1995-Les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne. Compte rendu Acad. d'agri de France –action (1) vol 81(2), Paris séance spécialisée du 22 mars 95-pp :47-60.
- HENIN S. ,1976 : Le profil cultural. Ed. Masson et Cie, Paris, 326p.
- HENIN S, 1977 : Cours de Physique du sol. Tome1 et 2. O.R.S.T.O.M., Edit. Test, 222p.
- HENIN S. et GRAS R et MONNIER G ,1969 :le profil culturale EditionMasson Paris 331p.
- HERRERO J 1992 : Dégradation des sols et salinité associées à l'irrigation. Correction apportée en Argon. In : Fosser C et Robert J. (eds) . Concilier l'agriculture et l'environnement Syros-Alternatives –Paris 127-138.
- HERRERO J et SYNDER L, 1997: Aridity and irrigation in Aragon Spain –journal of arid environments (35) Spain pp 535-547
- INSID ,1998 : Projet de la caractérisation de l'état actuel de la salinité Bas Cheliff. Rapports 1,2 et 3.
- LAMONARCA F, 1985-La culture des arbres fruitiers. Ed. VECCHI, S.A., Paris 221p.
- LAFFITE R. (1939) : Géologie des Aurès, 430 p.
- LESAFFRE B 1989-Fonctionnement hydrologique du drainage souterrain des sols temporairement engorgés. Thèse de doctorat Université Paris 4. Lemagregg.
- MEIZI A et PLAUT Z , 1985 – crop production management under saline conditions .Plant and soil (89) pp 253-271.

- MONNIER G. et PEDRO, 1971 : Rôle des propriétés d'origine texturale dans le processus d'organisation structurale des sols. Science du sol. Bull. de l'A.F.E.S. n°2.
- MOREL R. 1974 : les sols cultivés. Ed. Lavoisier, Paris, pp359 .
- OTHMANE T , 1997- Essai de corrélation entre les eaux de la nappe et les sols par l'étude de la conductivité électrique dans le réservoir d'OURELLAL (wilaya de Biskra). Mèm. Ing .INA EL HARRACH , pp65.
- RUELLAN A. (1967) : Individualisation et accumulation du calcaire dans les calcaires dans les sols et les dépôts du Quaternaire au Maroc, éd. Les cahiers de l'ORSTOM.
- REZKI M 2000 : La culture de blé en zones sahariennes : potentialités et contraintes .Actes du premier symposium International sur la filière blé – Enjeux et stratégie (blé 2000) , Algérie ,O.A.I.C-Alger 7-9 février 2000, pp221-228.
- SCOTT C et WEILER K, 2001 – modeling soluble phosphorus description kinetics in tile drainage .Journal of irrigation and drainage engeneering, vol 127 n°2pp70-76.
- SERVANT JM et SERVANT E ,1996 – Introduction a l'étude des sols salés littoraux du Languedoc-Roussillon. Ann. Argo .17 (1) pp 53-73.
- SERVANT J. M, 1970 :Etude expérimentale de l'influence des conditions salines sur la perméabilité des sols .Conséquences pédologique. Sci. du sol, 2pp 87-103.
- SERVANT JM ,1975 : Contribution à l'étude pédologique des terrains holomorphes. L'exemple des sols salés du sud et du sud-ouest de la France .Thèse d'état .Université de Montpellier, 2tomes.
- SERVANT JM, 1976 : La salinité dans le sol et les eaux .Caractérisation et problèmes d'irrigation drainage S.E.S N°310, Montpellier, pp 27.
- SERVANT JM 1986 : Dynamique des sels à la surface du globe : la salinisation des sols AFEID, sémi. Drainage et salinité, compte rendu, Montpellier, pp99-152.
- SLAMA F, BAHRI A ,BOUARFA S, CHAUMONT C, BOUHLILA R2003 : Modélisation du fonctionnement des ouvrages de drainage agricole dans le périmètre irrigué de KalaatLandelous (basse vallée du Mejerda).Gestion du risque en pays semi-aride. Congrès de : ADENIT, SHF, ENIT, INAT et avec le soutien de la direction de l'eau du ministère de l'Ecologie et du développement durable de la république française, Tunis, Les 20, 21 et 22 mai 2003, pp 163-170.
- SNOUSSI S A et HALITIM A., 1998 : Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées : Cas de la tomate et du haricot. Etude et gestion des sols, pp 289-298.
- SOLTNER D 2000 : Les bases de la production végétale.Tome1, le sol et son amélioration 22^{ème} éd., pp 472.
- STEWART P., 1969 : Quotidien pluviométrique et dégradation de la biosphère. Bull. Soc. Hist. Nat. du nord Algérie, pp14.
- TIERCELIN J.R. et VIDAL A., 2006 : Traité d'irrigation. Lavoisier Tec. Et Doc., Paris, pp 1266.
- VILLA J.M. (1977) : Notices explicatives des cartes géologiques des Aurès.