

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE

EL-HARRACH - ALGER

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة

الحراش - الجزائر

*MEMOIRE*

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Magister  
en Sciences Agronomiques

Ecole doctorale : Science du sol

THEME

**MORPHOLOGIE ET PROPRIETES DES  
SOLONCHAKS REFERENCES  
DE LA MINA**

*Présenté par : HADJ MILOUD Samir*

*Devant le jury:*

*Président du jury :* M. DAOUD Y. Professeur  
*Directeur de thèse :* M. DJILI K. Professeur  
*Examineurs :* M. DRIDI B. Maître de conférence  
M. HAMDI AÏSSA B. Maître de conférence

Le 18/04/2010

*Année Universitaire 2009-2010*

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	1
 <b>CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
Introduction	4
1. La salinisation des sols	4
2. La qualité des eaux d'irrigation en Algérie	6
3. Situation actuelle de la salinité en Algérie	9
4. Formation des sols salés	15
5. Dynamique des sels	15
6. Modélisation simplifiée des transferts des sels	18
7. Propriétés des sols salés	19
 <b>CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES</b>	
1. Matériel	39
2. Méthodologie	40
 <b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION</b>	
1. Les solonchaks de Relizane	44
1.1. Morphologie, et propriétés du profil 1	44
1. 1. 1. Les données générales	44
1. 1. 2. Description morphologique	45
1. 1. 3. Résultats des analyses	48
1. 2. Morphologie et propriétés du profil 2	60
1. 2. 1. Les données générales	60
1. 2. 2. Description morphologique	61
1. 2. 3. Résultats des analyses	64
1. 3. Morphologie et propriétés du profil 3	76
1. 3. 1. Les données générales	76
1. 3. 2. Description morphologique du profil 3	77
1. 3. 3. Résultats des analyses	79
2. Relations entre la conductivité électrique et les paramètres physiques et chimiques des sols étudiés	92

3. Les solonchaks du nord de l'Algérie	98
4. Discussion générale	104
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	109
Références bibliographiques	
Annexe	

## *Dédicaces*

*A mes parents, à qui je dois tous*

*A ma fiancée.*

*A mes frères et ma sœur.*

*A mes neveux.*

*A toute ma famille.*

*A tous mes amis.*

*A tous ceux qui m'ont aidé à élaborer  
ce travail.*

*Je dédie ce modeste travail*

*Samir*

## ***Remerciements***

Je remercie Dieu de m'avoir donné la force et la patience pour la réalisation de ce mémoire. Avant d'exposer ce travail, je tiens à remercier toute personne qui de près ou de loin a contribué à la réalisation de ce mémoire et en particulier :

**M. DAOUD Y.**, professeur au département de science du sol à l'INA d'El – Harrach, qui m'a fait l'honneur de présider ce jury. Aussi, je lui suis très reconnaissant pour l'aide précieuse qu'il m'a prodiguée tout au long de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

**M. DJILI K.**, professeur au département science du sol à l'INA d'El – Harrach, à qui j'adresse mes vifs remerciements, pour avoir accepté de diriger ce mémoire, pour son aide, sa disponibilité, ses conseils très utiles, sa patience et ses directives qui m'ont permis de mener à terme ce travail.

**M. DRIDI B.** maître de conférence au département science du sol à l'INA d'El – Harrach, et **HAMDI AÏSSA B.**, maître de conférence à l'université de OUARGLA, je les remercie pour avoir accepté de juger ce travail ainsi que pour leurs critiques constructives, à plus d'un titre.

Je remercie mon père pour son aide et ses conseils très utiles, pour la réalisation de ce travail.

J'exprime également ma profonde gratitude à M. HABILA, Directeur Général de l'INSID, qui m'a permis et facilité l'accès aux études doctorales.

Mes plus profonds remerciements vont également à :

A l'ensemble des enseignants (es) du département de science du sol, qui ont contribué à ma formation.

Sans oublier la bibliothécaire du département M<sup>elle</sup> LARBI, pour son aide et sa gentillesse et tous les techniciens du département (Redouane, Amar, Ahmed et Abd-elrahim).

Je ne saurais oublier M. Kessal, chef de département pour m'avoir autorisé d'accéder au laboratoire pour les analyses du sol. Je remercie également M M. Kradia et Gassame de l'INSID de Relizane pour leur accueil et leurs orientations. Je remercie M M. Abed et Aziz de l'INRA de HMADNA pour leur coopération, ainsi que mes amis et mes collègues Abdelouahb, Kellou, Amin, Hakim, Hafidi, Karim, Rabah, Mohamed, Moncef, Yacin, Karim, Ben ahmed, Ben khaled, Kidadtra, Zinou, Abdel malek, Moktar, Belkassem, Mamri, Oussama, Sonia, Aziza, Samia, Louisa, Daouia, Mounira, Adel, Rafik, Adel Tipaza, Menad, Abdelkrim et à tous mes camarades de l'Ecole doctorale.

## Liste des figures

Figure 1. a Premier type de profil salin (descendant)	16
Figure 1. b Deuxième type de profil salin (Ascendant)	17
Figure 1. c Troisième type de profil salin (Convexe)	17
Figure 2. Accumulation des sels sur les points hauts lorsque la texture est fine	18
Figure 3. Les flux d'ions dans les sols salés (Legros, 2007)	19
Figure 4. Liaison entre dispersion et teneur relative du complexe adsorbant en sodium	20
Figure 5. Essais de percolation avec de l'eau salée puis de l'eau distillée	21
Figure 6. La répartition des Solonchaks dans le monde.	37
Figure 7. Localisation des profils.	40
Figure 8. Répartition des fractions granulométriques dans le profil 1	50
Figure 9. Garniture cationique du complexe adsorbant du profil 1	51
Figure 10. Variation des taux d'humidité des horizons aux différents potentiels du profil 1	53
Figure 11. Combinaison entre la stabilité structurale et la perméabilité hydraulique du profil 1	54
Figure 12. Distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 1	55
Figure 13. Répartition moyenne des cations dans la solution du sol du profil 1	56
Figure 14. Répartition moyenne des anions dans la solution du sol du profil 1	57
Figure 15. Répartition des fractions granulométriques dans le profil 2	66
Figure 16. Garniture cationique du complexe adsorbant des horizons du profil 2	67
Figure 17. Variation des taux d'humidité aux différents potentiels du profil 2	69
Figure 18. Combinaison entre la stabilité structurale et la perméabilité hydraulique du profil 2	70
Figure 19. Distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 2	71
Figure 20. Répartition moyenne des cations dans la solution du sol du profil 2	72
Figure 21. Répartition moyenne des anions dans la solution du sol du profil 2	73
Figure 22. Répartition des fractions granulométriques dans le profil 3	81
Figure 23. Garniture cationique du complexe adsorbant des horizons du profil 3	82
Figure 24. Variation des teneurs en eau des horizons aux différents potentiels du profil 3	84
Figure 25. Combinaison entre la stabilité structurale et la perméabilité hydraulique du profil 3	85
Figure 26. Distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 3	86

<b>Figure 27. Répartition moyenne des cations dans la solution du sol du profil 3</b>	<b>88</b>
<b>Figure 28. Répartition moyenne des anions dans la solution du sol du profil 3</b>	<b>89</b>
<b>Figure 29. Relation entre la conductivité électrique et l'argile</b>	<b>93</b>
<b>Figure 30. Relation entre la conductivité électrique et le Na<sup>+</sup></b>	<b>94</b>
<b>Figure 31. Relation entre la conductivité électrique et le Mg<sup>++</sup></b>	<b>95</b>
<b>Figure 32. Relation entre la conductivité électrique et les ions Cl<sup>-</sup></b>	<b>95</b>
<b>Figure 33. Relation entre la conductivité électrique et les ions SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	<b>96</b>
<b>Figure 34. Relation entre la conductivité électrique et le SAR</b>	<b>96</b>
<b>Figure 35. Relation entre la conductivité électrique et l'ESP</b>	<b>97</b>
<b>Figure 36. Carte de classification des solonchaks dans la région nord de l'Algérie</b>	<b>99</b>
<b>Figure 37. Schéma des différents horizons diagnostics des solonchaks références.</b>	<b>103</b>
<b>Figure 38. Schéma du profil 1</b>	<b>105</b>
<b>Figure 39. Schéma du profil 2</b>	<b>106</b>
<b>Figure 40. Schéma du profil 3</b>	<b>106</b>

## Liste des tableaux

Tableau I : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation du barrage Essaâda de Sidi M'hamed Ben Aouda durant la période 1990-2000 (INSID , 2006)	6
Tableau II : Composition ionique de l'eau d'irrigation du barrage Essaâda de Sidi M'hamed Ben Aouda (laboratoire régional Ouest des analyses de sols, INSID – Matmar)	7
Tableau III : Composition chimique moyenne de vingt forages dans le Bas-Chélif (Agence des Bassins hydrographiques, Chlef-Zahrez (ABH-CZ), 2001)	7
Tableau IV: les résultats statistique des paramètres mesurés sur 93 puits échantillonnés dans la région de Reghiba wilya d'El Oued (INSID, 2006)	8
Tableau V. Présentation des résultats statistique	9
Tableau VI. Paramètres statistiques du taux de sodium échangeable (Touaf, 2002)	10
Tableau VII. Pourcentage et superficies des classes de salinité (INSID, 2006)	11
Tableau VIII. Superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'ouest d'Algérie (AGID, 2003).	12
Tableau IX. Superficie des classes de salinité du Bas-chélif (Douaoui , 2005)	12
Tableau X. Niveau de salinité dans le périmètre irrigué d'Abadla (INSID ; 1998)	14
Tableau XI : suffixe et préfixe des Solonchaks préconisés par la (WRB, 2006)	30
Tableau XII. Gypse, CaCO <sub>3</sub> , MO, N et granulométrie du profil 1	48
Tableau XIII. Statistiques descriptives des paramètres du profil 1	48
Tableau XIV. Complexe adsorbant du profil 1	50
Tableau XV. Résultats des analyses de la perméabilité hydraulique, stabilité structurale, et potentiel de l'eau du profil 1	52
Tableau XVI. Statistiques descriptives des paramètres étudiés du profil 1	52
Tableau XVII. Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 1	54
Tableau XVIII. Statistiques descriptives du pH et de la CE du profil 1	55
Tableau XIX. Critères diagnostiques du profil 1	58
Tableau XX. Gypse, CaCO <sub>3</sub> , MO, N, C/N, et granulométrie du profil 2	64
Tableau XXI. Statistiques descriptives des paramètres du profil 2	64
Tableau XXII. CEC et bases échangeables du profil 2	66

<b>Tableau XXIII. Résultats des analyses de la perméabilité hydraulique, stabilité structurale et potentiel de l'eau du profil 2</b>	<b>68</b>
<b>Tableau XXIV. Statistique descriptives des paramètres statistiques du profil 2</b>	<b>68</b>
<b>Tableau XXV. Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 2</b>	<b>70</b>
<b>Tableau XXVI. Statistiques descriptives du pH et CE du profil 2</b>	<b>71</b>
<b>Tableau XXVII. Critères diagnostiques du profil 2</b>	<b>74</b>
<b>Tableau XXVIII. Gypse, CaCO<sub>3</sub>, MO, N, C/N, et granulométrie du profil 3</b>	<b>79</b>
<b>Tableau XXIX. Statistiques descriptives des paramètres étudiés du profil 3</b>	<b>79</b>
<b>Tableau XXX. CEC et bases échangeables du profil 3</b>	<b>81</b>
<b>Tableau XXXI. Résultats des analyses de la perméabilité hydraulique, la stabilité structurale et le potentiel de l'eau du profil 3</b>	<b>83</b>
<b>Tableau XXXII. Statistiques descriptives des paramètres étudiés du profil 3</b>	<b>83</b>
<b>Tableau XXXIII. Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 3</b>	<b>85</b>
<b>Tableau XXXIV. Statistiques descriptives des paramètres étudiés du profil 3</b>	<b>86</b>
<b>Tableau XXXV. Critères diagnostiques</b>	<b>90</b>
<b>Tableau XXXVI. Corrélations entre la conductivité électrique et les différents paramètres physiques</b>	<b>92</b>
<b>Tableau XXXVII. Corrélations entre la conductivité électrique et les différents paramètres chimiques</b>	<b>94</b>
<b>Tableau XXXVIII. Classification et répartition des solonchaks par région</b>	<b>101</b>
<b>Tableau XL: Statistiques descriptives des critères diagnostique</b>	<b>102</b>

## Liste des photos

<b>Photo 1. Etat de surface</b>	45
<b>Photo 2. Végétation</b>	45
<b>Photo 3. Profil 1</b>	46
<b>Photo 4. Taches blanchâtres</b>	47
<b>Photo 5. Etat de surface</b>	60
<b>Photo 6. Végétation</b>	60
<b>Photo 7. Profil 2</b>	62
<b>Photo 8. Etat de surface</b>	76
<b>Photo 9. Végétation</b>	76
<b>Photo 10. Profil 3</b>	77
<b>Photo 11. Fente de retrait</b>	78

## Liste des abréviations

**CEC** : Capacité d'échange cationique (cmol(+)/kg).

**Is** : Indice d'instabilité structurale.

**INSID** : Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage.

**CE** : Conductivité électrique (dS/m).

**ESP** : Pourcentage de sodium échangeable (%).

**USSL** : United State Salinity Laboratorie

**CPCS**: Commission de Pédologie et de la Cartographie des Sols

**USDA**: United state department of agriculture.

**WRB**: World Reference Base for Soil Resources.

**SIG** : Système d'information géographique.

**FAO**: Food and agriculture organisation.

**AGID**: Agence de Gestion de l'Irrigation et du Drainage.

**E**: Epaisseur de l'horizon salique.

## **Introduction**

Les superficies de terres affectées par le phénomène de salinisation dans le monde sont estimées à environ 400 millions d'hectares (Bot et al., 2000). D'après FAO in Legros (2007), les sols salés représentent à eux seuls 2% environ des terres cultivables à l'échelle mondiale, ce qui correspond approximativement à 300 millions d'hectares. Dans ce sens, la salinité affecte au Moyen-Orient près de 92 millions d'hectares, soit 5% environ de la totalité des terres cultivées et près de 40 millions d'hectares en Afrique, ce qui représente près de 2 % de la surface totale (Mashali et al. 2005).

Sur les six millions et demi d'hectares cartographiés en Algérie, un million d'hectares environ est constitué de sols salés (Chabane et Benreda, 1997). De même, 4 % de la surface agricole utile (S.A.U.) affectés par la salinité secondaire est en constante augmentation (M.A.P, 1998). Vue l'importance de ce phénomène, de nombreux travaux ont étudié la salinité et la sodicité des sols d'Algérie (Durand, 1954 ; Halitim, 1973 ; Daoud, 1983 ; Daoud et al., 1993 ; Djili, 2000 ; Touaf, 2002). Il ressort de ces travaux que la salinité en Algérie est d'origine primaire et que la salinisation secondaire contribue à l'extension spatio-temporelle de la salinité. De même, les différents travaux concordent sur le fait qu'il s'agit de sols salés par la voie saline neutre et que la salinité des sols s'accompagne généralement d'une sodisation du complexe adsorbant.

L'essentiel des recherches sur les sols salés a été axée principalement sur leur fonctionnement salin et les processus physico-chimiques qui les régissent, reléguant au second plan les aspects morphologiques et typologiques de ces sols. Ainsi, malgré l'importance des sols salés en Algérie et leur impact sur la production agricole, peu de travaux se sont intéressés à leur typologie et à leur caractérisation morphologique et analytique fine en vue de leur rattachement à des sols références nationaux ou internationaux. La conséquence est qu'aujourd'hui les sols salés d'Algérie ne sont connus et classés que par un seul paramètre, en l'occurrence leur conductivité électrique (CPCS, 1967), les autres paramètres étant relégués au second plan, sinon purement négligés. De ce fait, nous connaissons approximativement la distribution spatiale d'un paramètre pédologique qui est la conductivité électrique plutôt que la distribution d'un solum.

De ce fait, le pédologue cartographe éprouve actuellement des difficultés à classer et délimiter les unités pédologiques. Ceci n'est pas sans effet sur le classement des terres et la mise en valeur agricole.

Aujourd'hui, nous estimons que l'inventaire des sols références permet d'effectuer un pas qualitatif dans la connaissance des sols d'Algérie. Cet inventaire de sols références sera un outil de base qui permet au pédologue prospecteur de mieux cartographier ses sols dans des délais plus courts et à l'agronome de mieux appréhender les aspects de classement des terres et de mise en valeur agricole.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente recherche qui s'intéresse aux sols salés d'Algérie, en particulier aux solonchaks selon le concept de la WRB (2006).

Pour ce faire, la présente étude a été scindée en deux volets :

- Le premier volet a pour objectif d'identifier dans la région de Relizane quelques solonchaks qui seront étudiés en détail en vue d'examiner la possibilité de leur attribuer le statut des sols références dans le système de la WRB (2006).

- Le deuxième volet consiste en l'exploitation d'une base de données pédologiques pour en extraire tous les profils correspondant aux critères diagnostiques des solonchaks. Les profils répondant à la définition des solonchaks (WRB, 2006) seront spatialisés dans le nord de l'Algérie et regroupés en sols références.

Pour présenter les résultats de cette recherche, nous avons organisé ce document en trois chapitres

- Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique dans laquelle nous montrons l'état des connaissances sur l'origine, les propriétés et la classification des sols salés ainsi que sur les méthodes d'étude des solonchaks. Nous tenterons de mettre également en valeur l'état de connaissance des niveaux de salinité de quelques régions de l'Algérie, en particulier la région de Fetzara (Annaba), la Plaine du Bas-Chélif, le périmètre irrigué de la Mina, le périmètre irrigué d'Abadla (Wilaya de Béchar) et d'une manière générale, l'ensemble du nord de l'Algérie.
- Le deuxième chapitre porte sur la méthodologie adoptée et le matériel utilisé pour réaliser cette recherche.
- Le troisième chapitre est consacré à la présentation, l'analyse et la discussion des résultats obtenus.

Ce document se termine par une conclusion dans laquelle nous reprenons les principaux résultats et les suites à donner à cette recherche.

## **Chapitre I**

### **Etude bibliographique**

#### **Introduction**

La salinisation est définie comme étant le processus pédologique suivant lequel le sol s'enrichit anormalement en sels solubles, acquérant ainsi le caractère salin. La salinité est un état qui résulte de l'accumulation des sels solubles dans le sol (Aubert, 1976). Cette salinisation dont l'état ponctuel est caractérisé par la salinité du sol, provoque une diminution de la production végétale (Cherbuy, 1991). Cette diminution n'est pas un problème d'appauvrissement des sols mais plutôt celui d'un enrichissement des sols en éléments chimiques dans leur partie superficielle. Malheureusement, ces éléments chimiques que l'on appelle sels et qui sont très solubles sont très particuliers. Ils engendrent par la suite une dégradation chimique réelle et une stérilisation des sols (Cheverry, 1998) dues à une dégradation de leur structure.

L'appellation « sols salés » s'applique de façon trop restrictive aux sels solubles et au chlorure de sodium en particulier, celle de sols halomorphes ne prend pas en compte les cations adsorbés (Loyer, 1990). Le terme sols salsodiques, proposé par Servant (1970) est souvent préféré car il rend compte de deux principales manifestations de la salinité, la présence de sels solubles en quantités importantes dans la solution du sol, et l'importance du sodium au niveau du complexe d'échange. (Des sels de sodium, de magnésium, et parmi les anions présents comme les chlorures, et les sulfates). Souvent, ces sels proviennent des eaux d'irrigation.

Les sels solubles sont les sels dont la solubilité est supérieure à celle du gypse, soit à 2g/l à 20°C (U.S.S.L, 1954).

#### **1. La salinisation des sols**

La salinisation des sols peut avoir une origine primaire ou une origine secondaire (Aubert, 1975)

##### **1. 1. La salinisation primaire**

Les sels solubles responsables de la salinisation primaire d'un sol ont diverses origines. Ainsi, l'altération des roches contenant des minéraux sodiques, potassiques ou magnésiques donne des sels souvent solubles, en particulier les chlorures, les

sulfates, les carbonates, les bicarbonates et parfois les silicates de ces métaux (Zahow et Amrhein, 1992 ; Aubert, 1976). Lorsque la roche est gypso-salifère, c'est souvent des sulfates et des chlorures qui sont libérés. Cette phase de salinisation correspond à la salinisation primaire (Gaucher et Burdin, 1974). En Algérie, il existe des couches géologique salifères comme le Trias qui est formé d'argiles schistosées gypseuses et salées et qui constituent une source importante de sels solubles et de gypse dans les régions arides. Le rocher de sel au Nord de Djelfa en est un exemple typique à côté de nombreux petits massifs des séries jurassiques. Le Trias apparaît en diapir ou en injection dans les fractures au niveau des hautes plaines steppiques entre l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Il existe d'autres couches géologiques salifères comme l'Helvétien par exemple qui se localise dans la vallée du Cheliff. Ou encore le Pliocène continental, l'Albien, le Sénonien et d'autres couches qu'on rencontre dans d'autres endroits d'Algérie (Gaucher, 1947).

La salinisation peut être aussi provoquée par une invasion marine liée aux marais du territoire concerné. Dans ces conditions, la solution du sol présente une composition proche de celle de l'eau de mer, donc riche en NaCl et peut provoquer par des phénomènes d'échange cationique un enrichissement du complexe d'échange en sodium (Cherbouy, 1991).

## **1. 2. La salinisation secondaire**

La salinisation secondaire est un processus ultérieur à la formation du sol et le caractère salin du sol est induit par plusieurs mécanismes. En effet, la salinisation peut être due à la remontée d'une nappe salée peu profonde, ou à la remonté capillaire et pendant les périodes sèches (Durand, 1983). L'halomorphie peut provenir aussi des eaux d'irrigation salines en milieu mal drainé (Durand, 1983). Dans le grand Sud de l'Algérie, la non maîtrise des techniques d'irrigation par pivot, et l'absence de systèmes de drainage (Daoud et Halitim, 1994 ; Mouhouche, 2000 ; Djili et Daoud 2003) sont souvent les causes qui provoquent la diminution de la productivité agricole. De même la salinisation secondaire se produit lorsque l'eau d'irrigation est distribuée en quantité trop faible pour qu'il y ait percolation ; le terrain retient alors toute l'eau distribuée qui y dépose ses sels (Durand, 1974).

Les superficies irriguées ont connu un accroissement très rapide depuis 1950 et, malgré un ralentissement observé depuis 1980, elles atteignent aujourd'hui près de 300 millions d'hectares dans le Monde. Les évaluations indiquent que, selon les

situations, de 15 à 50% des terres aménagées et environ 50% des systèmes d'irrigation sont affectés par la salinité et plus particulièrement dans les zones arides (Rhoades, 1997).

Au-delà des risques spécifiques liés à la qualité des eaux d'irrigation, les mécanismes de salinisation sont la résultante du fonctionnement hydrologique du milieu et des processus de concentration des sels apportés par l'irrigation, ou présents dans les nappes aquifères (Gupta, 2000). La répartition des sels qui en découle n'est pas homogène en raison des interactions complexes entre les propriétés variables des sols et des aquifères, et de l'existence de modalités et performances variables de la gestion de l'irrigation et du drainage aux différentes échelles dans les périmètres irrigués. Ces évolutions ne sont pas linéaires et sont soumises à d'incessantes modifications et adaptations dans la gestion hydraulique et agronomique des périmètres irrigués (Marlet, 2004).

Enfin, la salinisation secondaire peut être provoquée par une incursion de la mer vers les plaines littorales et même si le contact est direct, cette salinisation affecte des sols dont la pédogénèse est déjà prononcée.

## **2. La qualité des eaux d'irrigation en Algérie**

En général, il est admis que les eaux d'irrigation, par leur qualité, peuvent exercer une action plus au moins néfaste sur la qualité des sols cultivés. En Algérie ce phénomène est illustré par l'exemple de deux grands périmètres irrigués, à savoir celui de la Mina-Bas Chélif et celui de la vallée d'El oued.

Les données du tableau I montrent que la qualité de l'eau pour l'irrigation est moyenne à médiocre, elle est à utiliser avec précaution et nécessite un drainage. En effet, les valeurs de la CE se situent entre 1.28 et 2.02 dS/m avec une moyenne générale de 1.48 dS/m. L'irrigation avec cette eau présente donc un risque important de salinisation secondaire pour les sols lourds à drainage déficient comme c'est le cas des sols des périmètres de la Mina et de Relizane.

**Tableau I : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation du barrage Essaâda de Sidi M'hamed Ben Aouda durant la période 1990-2000 (INSID, 2006)**

<b>période</b>	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
<b>CE (dS/m)</b>	1.35	1.39	1.67	2.02	1.28	-	1.33	1.64	1.59	1.29	1.33

Le tableau II montre que cette eau appartient à la classe C3S1.

**Tableau II : Composition ionique de l'eau d'irrigation du barrage Essaâda de Sidi M'hamed Ben Aouda (laboratoire régional Ouest des analyses de sols, INSID – Matmar)**

Types d'analyses	Cl <sup>-</sup> (meq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (meq/l)	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (meq/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	Ca <sup>++</sup> (meq/l)	Mg <sup>++</sup> (meq/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)	Na <sup>+</sup> (meq/l)	SAR	CE (dS/m)
Décembre 2005	7.6	7.65	0.24	2.2	4.72	6.09	0.19	6.39	2.74	1.71

L'analyse des eaux d'irrigation de vingt forages (tableau III) révèle que la valeur moyenne de la CE est de 4 dS/m. Cette CE indique que l'eau d'irrigation est très saline et impropre à l'irrigation. Ce niveau de salinité affecte donc la disponibilité de l'eau pour les plantes.

En prenant en considération les valeurs moyennes de la CE et du SAR (tableau III), l'eau d'irrigation est affectée dans la classe C4-S2. D'après le diagramme de classification des eaux d'irrigation (USSL Staff, 1954), elle est de mauvaise qualité et qualifiée de très mauvaise dans les sols lourds comme au Bas-chélif. De ce fait, il y a d'une part le risque de réduire la disponibilité de l'eau, et d'autre part, il y a celui de la sodicité. De même, le pourcentage moyen en sodium de cette eau dépasse 50% par rapport à la somme totale des cations (Ca, Mg,Na,K), le risque de sodicité dans l'Algérie du Nord devient effectif à partir de 45 à 50 % de Na (Durand, 1960).

**Tableau III : Composition chimique moyenne de vingt forages dans le Bas-Chélif (Agence des Bassins hydrographiques, Chlef-Zahrez (ABH-CZ), 2001)**

	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	CE (dS/m)	SAR	pH
<b>Moy</b>	208	149	782	15	1323	646	287	80	4	11	8.3
<b>Min</b>	58	31	193	3	191	72	149	16	1	2	7.8
<b>Max</b>	371	524	2898	61	3983	2640	529	350	8	26	8.7

(Douaoui, 2005)

D'après le diagramme de détermination de la qualité de l'eau d'irrigation (USSL Staff, 1954) relative à la CE et au SAR des eaux d'El oued, (tableau IV), les résultats de classement de l'ensemble des points d'eau révèlent l'existence des cinq classes :

$C_5 S_4$ ,  $C_5 S_3$ ,  $C_4 S_3$ ,  $C_4 S_4$ ,  $C_5 S_1$ . Ces classes expriment respectivement ce qui suit :

$C_5 S_4$ ,  $C_4 S_4$  : déconseillée pour l'irrigation ;

$C_5 S_3$ ,  $C_4 S_3$  : qualité très mauvaise, à n'utiliser que dans les circonstances exceptionnelles ;

$C_5 S_1$  : qualité médiocre à mauvaise. Exclure les plantes sensibles et les sols lourds, utilisable avec beaucoup de précautions dans des sols légers et bien drainés avec doses de lessivage.

Les classes ainsi obtenues montrent que l'eau de la nappe superficielle d'El Oued est très fortement salée.

**Tableau IV: Résultats statistique des paramètres mesurés sur 93 puits échantillonnés dans la région de Reghiba wilya d'El Oued (INSID, 2006)**

Paramètres	Moy	Min	Max	Variance	CV (%)
CE (dS/m)	6.88	3.26	12.95	5.58	34.3
SAR	11.35	1.55	26.69	11.17	29.42
pH	7.51	6.84	8.15	0.04	2.66
Ca <sup>++</sup>	36.81	7.05	49.35	48.5	26.02
Mg <sup>++</sup>	33.61	13.92	57.28	91.86	28.5
Na <sup>+</sup>	65.35	9.3	122.56	343.23	28.33
K <sup>+</sup>	0.56	0	1.82	0.21	80.35
HCO <sub>3</sub>	1.97	0.78	4.14	0.69	42.13
Cl <sup>-</sup>	32.21	2.6	76.2	313.45	54.95
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	34.53	4.29	72.88	139.97	34.26

De ces données, il ressort que la qualité des eaux d'irrigation en Algérie est relativement médiocre, d'où sa contribution à une salinisation secondaire des sols.

### 3. Situation actuelle de la salinité en Algérie

Le niveau de la salinité en Algérie est variable, il diffère d'une région à une autre en fonction de plusieurs paramètres tels que la géologie, les pratiques culturales et la qualité des eaux d'irrigation.

#### 3. 1. Le niveau de la conductivité électrique des sols du Nord de l'Algérie

Le tableau V présente l'analyse statistique de 2081 données de la C.E.(Touaf, 2002).

D'après Touaf (2002), les sols du Nord de l'Algérie ont une C.E. qui varie entre 0.1 et 99 dS/m, avec une valeur moyenne de 4.4 dS/m. Les valeurs les plus importantes de la variance (80.71) et du coefficient de variation (204%) révèlent une grande variabilité de la C.E. Le tableau V montre aussi que 50% des sols ont une C.E inférieure à 1.4 dS/m. Cependant, 75% des horizons sont non salés (C.E. < 4 dS/m), et 24.51% des horizons sont salés à excessivement salés sur la base de la classification de l'U.S.S.L. (1954).

**Tableau V. Présentation des résultats statistiques**

<b>Nombre d'horizons</b>	2081
<b>Moyenne</b>	4.4
<b>Médiane</b>	1.4
<b>Variance</b>	80.71
<b>Ecart – type</b>	8.98
<b>C.V. %</b>	204.09
<b>C.E. maximum</b>	99
<b>C.E. minimum</b>	0.1

(Touaf, 2002)

### **3. 2. Distribution du taux de sodium échangeable dans les sols du nord de l'Algérie**

Touaf (2002) montre que les taux de sodium échangeable des sols de l'Algérie du Nord varient entre 0.2 et 57.81%, la valeur moyenne étant de 8.5% pour un effectif de 1856 horizons. La moitié des horizons ont un E.S.P égale à 5.88% comme le montre le tableau VI, avec une forte variabilité ( $C.V > 100\%$ ) de ce paramètre. Par ailleurs, il s'avère que 72% des horizons des sols du Nord d'Algérie sont non ou peu sodiques. De ce fait le tiers des horizons est sodique à excessivement sodiques. Ce résultat confirme celui de Djili (2000) qui a montré que plus de 75% des sols du Nord d'Algérie sont faiblement à très faiblement sodiques avec une augmentation de la sodicité en profondeur.

Les principaux paramètres statistiques des taux de sodium échangeable extraits de la banque des données sont indiqués dans le tableau VI.

**Tableau VI. Paramètres statistiques du taux de sodium échangeable (Touaf, 2002)**

<b>Nombre d'horizons</b>	1856
<b>Moyenne</b>	8.56
<b>Médiane</b>	5.88
<b>Ecart – type</b>	8.63
<b>Variance</b>	74.59
<b>C.V %</b>	100.81
<b>E.S.P. maximum</b>	57.81
<b>E.S.P. minimum</b>	0.28

### 3. 3. Situation de la salinité au Nord ouest de l'Algérie

- **Le périmètre irrigué de la Mina**

Le tableau VII montre les différentes classes de salinité la répartition en superficie et en pourcent des sols, du périmètre irrigué de la Mina.

**Tableau VII. Pourcentage et superficies des classes de salinité (INSID, 2006)**

Classes de Salinité (dS/m)	Superficie (ha)	Pourcentage
< 2	290.16	23.18
2 – 4	654.43	52.28
4 – 8	158.68	12.68
8 – 16	89.84	7.18
16 – 20	32.73	2.61
20 – 24	23.68	1.89
> 24	2.34	0.19

L'analyse de la situation actuelle du périmètre de la Mina fait ressortir trois problèmes majeurs qui sont la salinité élevée des sols et la texture argileuse qui favorisent la remontée capillaire. Par ailleurs, la présence d'une nappe superficielle salée combinée à un système de drainage défectueux, aggrave le phénomène de salinisation du périmètre.

L'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda est insuffisante pour couvrir les besoins des cultures. La salinité des sols étant élevée, la classe des sols dont la salinité est comprise entre 2 et 4 dS/m représente 52% des terres du périmètre sauf pour les 290.16 ha, 23.18 % qui ne soit pas salées.

Cette salinité affecte fortement les sols des différents périmètres irrigués de l'ouest d'Algérie. En effet, le tableau VIII révèle que les superficies affectées par la salinité constituent 32 à 67 % du périmètre irrigué.

**Tableau VIII. Superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'ouest d'Algérie (AGID, 2003).**

Périmètres irrigués	Superficie irrigables (ha)	Superficies affectées (ha)	%
Haut Cheliff	20200	6400	32
Moyen Cheliff	21800	8700	40
Bas chliff	22500	15000	67
Mina	9600	4190	44
Habra	19600	8100	41
Sig	8600	3200	37

D'après le tableau VIII, les superficies affectées par la salinité dans les périmètres irrigués de l'ouest du pays sont estimées à plus de 45000 ha.

- **La plaine du Bas-chélif**

Douaoui (2005) a déterminé les superficies des classes de salinité de la plaine du Bas-chélif (tableau IX).

D'après le tableau IX Douaoui (2005) avance un chiffre double par rapport aux données (AGID, 2003), car 81% des sols de la plaine sont salés soit 32518 ha, cependant 19% de ces sols, soit 7600 ha, ne sont pas salés.

**Tableau IX. Superficie des classes de salinité du Bas-chélif (Douaoui, 2005)**

Classes de salinité	0 – 4	4 – 8	8 – 16	16 – 25	>25
	(dS/m)	(dS/m)	(dS/m)	(dS/m)	(dS/m)
Superficies (ha)	7600	6184	11148	8091	6400
(%)	19	16	28	21	16

### **3. 4. Situation de la salinité dans la région Saharienne**

Après avoir donné quelque niveau de salinité dans la région Nord de l'Algérie, il est nécessaire d'aborder le niveau de salinité dans la région Saharienne ce qui va être illustré par l'exemple du périmètre irrigué d'Abadla.

- **Le périmètre irrigué d'Abadla (Wilaya de Bechar)**

D'après l'INSID (1998), la plaine d'Abadla est une zone très fertile. Pourtant, plus de 50% des terres ne sont plus cultivées à cause de leur dégradation très avancée. Parmi les causes de cette dégradation, il y a lieu de noter l'évolution en permanence du taux de salinité ; cette augmentation continue et a obligé certains agriculteurs d'abandonner leurs terres.

Le périmètre irrigué est découpé en zones de la façon suivante :

- Zone 1 : la classe de salinité dominante est située entre les niveaux 5 et 15 dS/m,
- Zone 2 : les sols appartiennent à la classe de salinité supérieure à 20 dS/m. Ils présentent une dégradation très accentuée qui se manifeste par des dépôts de sel en surface. La partie Est de la zone présente une salure variable à 5 dS/m et d'après la même étude la majorité des sols se situent dans la classe de salinité supérieure à 15 dS/m. Il faut noter que la CE de l'eau d'irrigation est de 3 dS/m.

Le tableau X présente les différents niveaux de salure dans le périmètre irrigué.

Tableau X. Niveau de salinité dans le périmètre irrigué d'Abadla (INSID, 1998)

N° de profil	CE (dS/m) Pâte saturée	Classification de Servant
1	87.03	Sols hyper salés, de Classe 7
2	22.39	Sols très fortement salés, de Classe 5
3	20.27	Sols très fortement salés, de Classe 5
4	77.39	Sols hyper salés, de Classe 7
5	5.46	Sols moyennement salés, de Classe 2
6	4.32	Sols faiblement salés, de Classe 1
7	23.16	Sols très fortement salés, de Classe 5

D'après le tableau X, 28 % des profils du périmètre irrigué sont hyper salés et environ 42 % sont très fortement salés, ce pendant 14 % des profils sont faiblement à moyennement salés.

En général, nous constatons que le niveau de salinité dans le périmètre irrigué d'Abadla est très élevé.

### 3. 5. Etat de salinité des sols dans la région Nord Est d'Algérie

- **Fatzara, (wilaya d'Annaba)**

Les résultats obtenus par Djamai (1993) montrent que la salinité est toujours élevée au niveau des différentes unités réalisées par L'A.N.R.H. (1981). La salinité est importante au Nord, à l'est et au sud-est du lac. L'ouest et le centre du lac semblent être les zones les moins affectées par les sels. La CE moyenne est de 7.55 dS/m avec des valeurs dépassant parfois 23 dS/m, particulièrement au nord et à l'est du lac. Le

faciès chimique est chloruré-sodique. Les sols affectés par le phénomène de la salinisation dans la région en question appartiennent en majorité à la sous-classe des sols salins à complexe sodique (C.P.C.S, 1967), correspondant aux solontchaks sodiques de la classification russe et aux sols salés à alcalis de l' U.S.S.L. (1954). Ce type de sols salés correspond au même faciès que celui décrit dans les zones arides et semi-arides algériennes. Il s'agit donc de sols salés de la voie saline neutre (Djamai ; 1993).

#### **4. Formation des sols salés**

Les sols salés sont formés à partir de trois processus physico-chimiques qui sont la salinisation, la sodisation et l'alcalinisation que Girard et al. (2005) définissent comme suit :

- ¾ La salinisation, processus produit lorsque la minéralisation de la solution du sol dépasse un certain seuil sous l'influence d'un mécanisme physique (évaporation, drainage interne insuffisant, altération de minéraux) ;
- ¾ La sodisation, processus produit lorsque le complexe organo-minéral d'échange est progressivement saturé par l'ion  $\text{Na}^+$ , les agrégats deviennent instables à partir d'un certain seuil et la dégradation des propriétés physiques du sol est potentielle;
- ¾ L'alcalinisation, intervient lorsqu'un sol à complexe saturé en sodium se transforme physiquement par suite d'échange entre l'ion  $\text{Na}^+$  et les protons au moment d'une humectation.

#### **5. Dynamique des sels**

Les sels solubles dans le sol sont en perpétuelle évolution, leur évolution dépend de plusieurs facteurs à savoir les saisons, le climat et la présence d'une nappe salée.

##### **5. 1. Evolution spatiale et temporelle de la salinité**

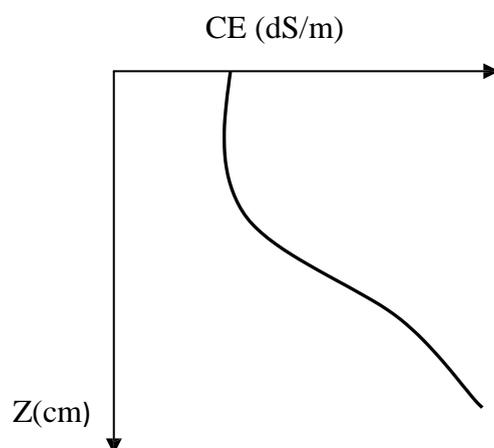
###### **a) - Rôle des saisons**

Des études de terrain réalisées en milieu méditerranéen sur des sols naturels couverts d'une végétation clairsemée ont montré une évolution de la salinité au cours de l'année (Servant, 1975). Dans ce cas, les sels ont pour origine une nappe marine.

D'après Halitim (1988), il existe trois types de profils salins en zone aride de l'Algérie semblables aux profils salins décrits par Servant (1975), les profils descendant, ascendant, convexe.

### Profil descendant

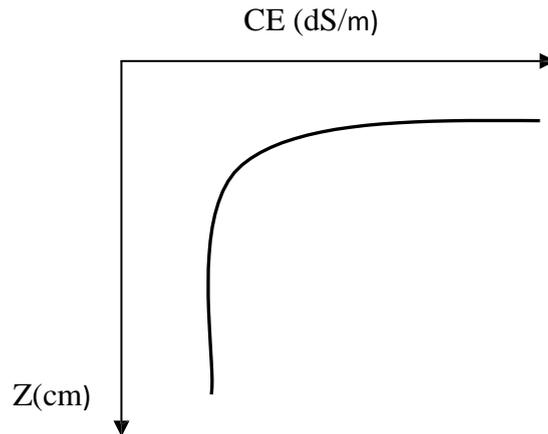
Le maximum de salinité se situe dans la partie inférieure du profil. Ce type de distribution est observé dans les sols à croûtes et encroûtement calcaires et dans les sols à encroûtement gypseux de surface des parties amont et médiane de la séquence du Zehrez. Ce type de profil salin a été qualifié de descendant par Servant (1975). Il indique qu'en général, le profil a subi une phase de lixiviation des sels solubles (figure 1. a).



**Figure 1. a** Premier type de profil salin  
(descendant)

### Profil ascendant

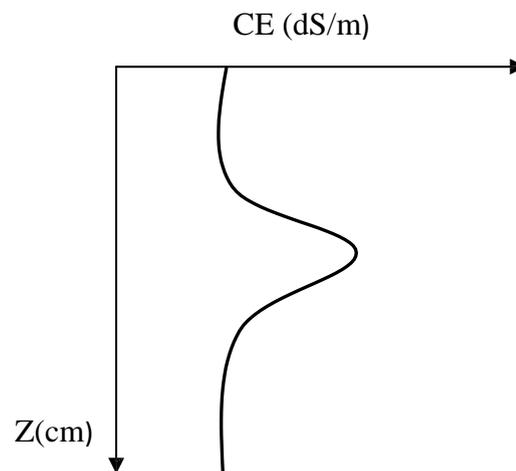
Le maximum de salinité s'observe dans la partie supérieure du profil. Il correspond aux sols influencés par une nappe salée peu profonde et qui sont en général localisés dans les zones basses et déprimées des séquences. Les horizons les plus salés se localisent alors au-dessus des horizons gypseux et calcaires quand ces derniers sont présents. C'est le profil salin ascendant ou type A (Servant, 1975). Quand la concentration en sels est très forte et que la texture est argileuse, nous observons à la surface du sol une texture en pseudo-sables et des efflorescences salines. Cependant, la texture en pseudo-sables peut exister même s'il n'y a pas de nappe, à condition que les autres caractéristiques (une texture argileuse et une forte salinisation) soient présentes (figure 1. b).



**Figure 1. b** Deuxième type de profil salin (Ascendant).

### Profil convexe

La partie médiane du profil correspond à un maximum de salinité. Les profils concernés par ce mode de distribution des sels sont en général des sols dont la dynamique saline est caractérisée par une remontée capillaire et une lixiviation des sels. Ils correspondent au type B (Servant, 1975) et peuvent aussi caractériser une phase de désalinisation des profils du deuxième type (figure 1. c).



**Figure 1. c** Troisième type de profil salin (Convexe)

**b) - Rôle du climat**

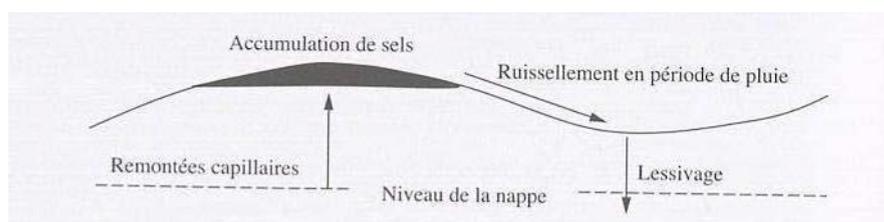
Même si les sels peuvent remonter en période sèche, les profils salins sont généralement du type D dès que la pluviométrie annuelle acquiert une certaine importance. En d'autres termes, la salinité s'accroît avec la profondeur en relation avec la lixiviation du sodium par les pluies. Le rapport entre les conductivités électriques du haut et du bas des profils est alors voisin de 1/5 (Morizet et al., 1970). C'est le même phénomène qui se produit dans la partie nord de l'Algérie (Djili, 2000). En revanche, dans les zones sub-désertiques, les sels restent en surface.

**c) - Rôle de la nappe**

Dans le cas d'une nappe salée, le processus d'accumulation des sels est d'autant plus marqué dans les sols des cas suivants :

- 9 La nappe est proche de la surface,
- 9 Elle est fortement minéralisée,
- 9 Le bilan P-ETP est en faveur de l'évapotranspiration potentielle, donc négatif.

Si le terrain est très légèrement ondulé et la texture fine, les sels s'accumulent dans les points hauts comme le montre la figure 4 (Franzeb, 2005). En revanche, dans les zones sableuses, les remontées capillaires sont limitées, et l'altitude au-dessus du niveau la nappe joue un rôle important dans ces remontées.



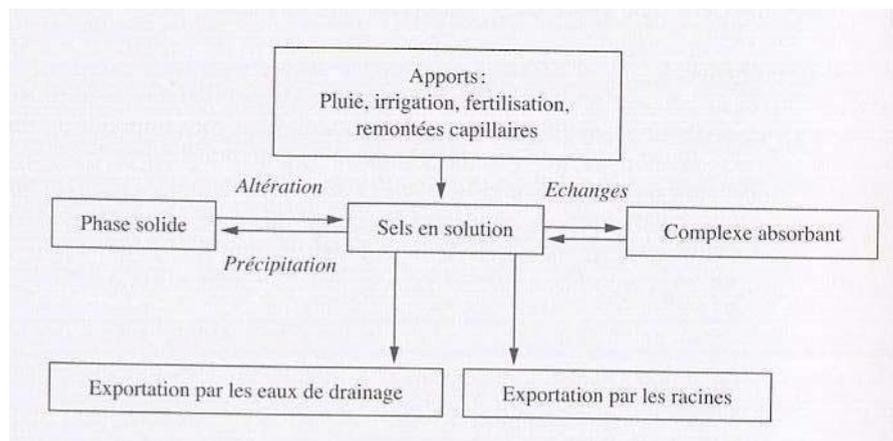
**Figure 2.** Accumulation des sels sur les points hauts lorsque la texture est fine (Franzeb, 2005).

**6. Modélisation simplifiée des transferts des sels**

Deux mécanismes qui interviennent dans les sols salés, mis en cause dans les transferts des principaux flux au sein du sol, à savoir le transfert des ions (figure 3) qui interviennent dans les sols salés :

- La diffusion moléculaire à l'intérieur de la solution immobile, en relation avec un gradient de concentration des sels. Ce mécanisme intervient surtout quand le sol est humide.
- La dispersion hydrodynamique encore appelée transfert convectif ou advectif. Il y a déplacement des sels avec la solution. Ce mécanisme joue surtout en sol saturé lorsque la vitesse d'écoulement de la solution du sol est importante. Le déplacement s'exerce vers le bas ou même vers le haut par ascension capillaire de l'eau, lorsque les conditions favorise la remonté capillaire (Legros, 2007).

La modélisation des transferts est intéressante pour prédire la salinisation du sol sous l'effet d'une eau d'irrigation de mauvaise qualité ou sa désalinisation sous l'effet d'une eau pure.



**Figure 3.** Les flux d'ions dans les sols salés (Legros, 2007).

## 7. Propriétés des sols salés

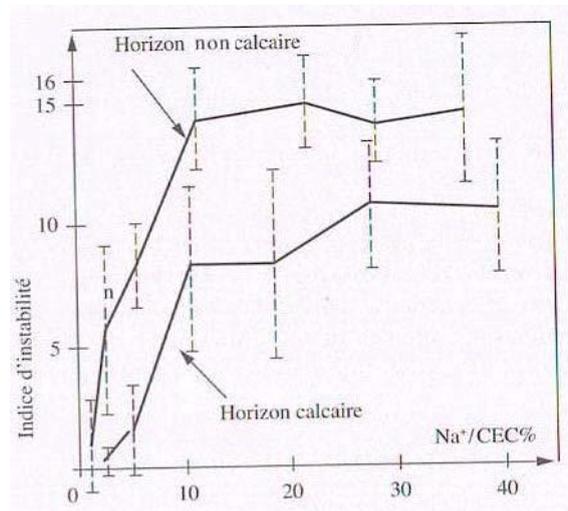
La salinisation des sols, qui est un problème agricole environnemental, a des conséquences parfois irréversibles sur les propriétés physico-chimiques des sols.

### 7. 1. Faible stabilité structurale

Le test Emerson est une méthode qualitative qui permet de classer un échantillon parmi cinq classes de comportement.

Ce test permet d'apprécier facilement en 16 classes la tendance à la dispersion d'agrégats terreux. Il a été utilisé sur des sols des marais (Pons et Gerbaud, 2005), il est illustré par la figure 4.

Nous observons que l'instabilité de la structure, appréciée par le test d'Emerson, augmente avec la proportion de sodium sur le complexe adsorbant. L'augmentation est plus rapide et l'instabilité plus grande quand le sol n'est pas calcaire (moins de  $\text{Ca}^{++}$  sur le complexe).



**Figure 4.** Liaison entre dispersion et teneur relative du complexe adsorbant en sodium (Pons et Gerbaud, 2005).

## 7. 2. Faible perméabilité hydraulique

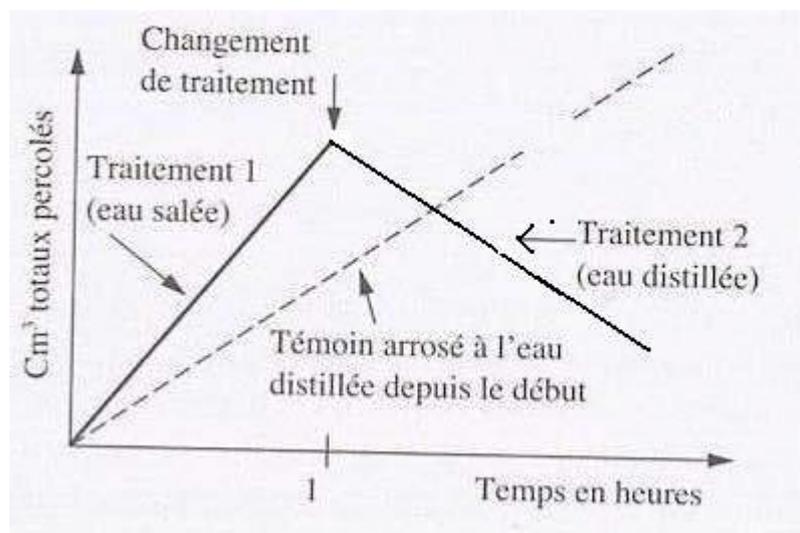
Servant (1970) a réalisé l'expérience simple et spectaculaire suivante :

- Il fait percoler une eau salée sur un échantillon d'une terre argileuse. La quantité d'eau qui filtre est constante par unité de temps et s'accroît donc linéairement avec le temps (figure 5). On note que la perméabilité est plus forte que si l'on emploie une eau distillée.
- Après une heure, l'eau salée est remplacée par l'eau distillée. L'échantillon s'imperméabilise aussitôt et l'eau ne passe pratiquement plus. La courbe devient subhorizontale (figure 5).

Les mécanismes impliqués sont les suivants :

- Rôle direct de la concentration saline : Plus la concentration saline est élevée, plus l'argile a tendance à flocculer (écrasement de la double couche diffuse). La perméabilité est donc plus grande qu'avec une eau non salée. Mais, dans l'échantillon, cette percolation avec une eau saline a pour corollaire le remplacement des cations  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  par  $\text{Na}^+$ .

2. Gonflement : Les argiles sodiques de type 2/1, même peu gonflantes, accroissent leur volume lorsqu'elles sont saturées par l'eau. Dans l'échantillon soumis, en deuxième lieu, à l'essai de percolation avec l'eau pure, il y a expansion généralisée des argiles sodiques et donc diminution de la porosité.
3. Dispersion et explosion osmotique : Dans l'échantillon, et au moment où on introduit l'eau pure, les agrégats sont riches en sel. Il y a osmose. L'eau pure pénètre rapidement ces agrégats et les fait exploser, ce qui détruit la porosité interstitielle résiduelle (Amezketta et al., 1995).



**Figure 5.** Essais de percolation avec de l'eau salée puis de l'eau distillée

(Servant, 1970).

## 8. La relation solution du sol - complexe adsorbant

Du fait de la présence de charges négatives à leur surface, les colloïdes adsorbent les ions chargés positivement tels que le calcium, le magnésium, le sodium et le potassium. Les cations adsorbés neutralisent les charges négatives des colloïdes à travers une association électrostatique. Ces cations sont en partie remplacés ou échangés par les cations de la solution du sol. Chaque sol est caractérisé par une capacité d'échange cationique et une garniture cationique (F.A.O., 1990).

Le sodium, le calcium et le magnésium sont facilement échangeables, alors que cet échange est plus contraignant pour l'ammonium et le potassium à cause du phénomène de rétrogradation exercé par les argiles (USSL., 1954).

La solution des sols salés des régions arides se concentre par évaporation ou par absorption de l'eau par la plante induisant progressivement la précipitation des sels les moins solubles tels que le gypse, le carbonate de calcium, le carbonate de magnésium. Cette précipitation provoque une augmentation relative de la concentration du sodium dans cette solution.

Dans ces conditions, une partie du calcium et du magnésium échangeables est remplacée par le sodium au niveau du complexe adsorbant (U.S.S.L., 1954).

Les sites occupés par le sodium échangeable au niveau du complexe adsorbant sont exprimés par le pourcentage de sodium échangeable (ESP : Exchangeable Sodium Pourcentage) (U.S.S.L., 1954).

$$ESP = Na^+_e \times 100 / C.E.C.$$

La quantité du sodium fixée sur le complexe adsorbant est en équilibre avec la concentration du calcium, du magnésium et du sodium présents dans la solution du sol, cet état est exprimé par le S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio) (U.S.S.L., 1954) :

$$S.A.R. = Na^+ / ((Ca^{++} + Mg^{++})/2)^{1/2}$$

$Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  : en meq/l

C'est par ce paramètre qu'il est possible d'évaluer les risques d'alcalinisation des sols.

## **9. Minéralogie et micromorphologie des sols salés**

La micromorphologie détaillée des sols salés généralement, et des croûtes salines spécialement a attiré des attentions limitées. Cela est dû à leur inaccessibilité relative et aux problèmes rencontrés lors de leurs analyses de routine causées par la solubilité des minéraux. Girard et al. (2005) suggèrent la présence de trois groupes de sels recensés dans les efflorescences salines :

- Pour la voie acide : la rozeinite ( $Fe_2(SO_4) \cdot 4H_2O$ ), l'alunogène ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 17H_2O$ ), la tamarugite ( $Na Al(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ), et la natrojarosite.

- Pour la voie saline neutre : la calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), le gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), les sulfates magnésiens ( $\text{Mg}(\text{SO}_4) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), l'halite ( $\text{NaCl}$ ) et la sylvinite ( $\text{KCl}$ ).

- Pour la voie alcaline : la calcite ou la calcite magnésienne, la fluorine ( $\text{CaF}_2$ ), la thénardite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), la mirabilite ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), les silicates magnésiens, le natron ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), le trôna ( $\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

L'étude de Shahid et Jenkins (1994) sur 25 croûtes salines a donné des compositions minéralogiques dominées ou co-dominées par la thénardite dans 13 échantillons, la mirabilite dans 8 échantillons et l'halite dans 4 échantillons. Cependant, Mess et Stoops (1991) ont trouvé l'assemblage halite – trôna – thénardite – burkcite. La déposition de la halite ( $\text{NaCl}$ ) dans les déserts a été toujours interprétée comme évaporites lagunaires ou lacustres qui se trouvent généralement dans les Sebkhas (Watson, 1989).

## **10. Méthodes de mesure de la salinité du sol**

Plusieurs méthodes ont été développées pour mesurer et évaluer la salinité du sol. Parmi elles, nous citons les méthodes suivantes :

### **10. 1. Conductivité électrique sur échantillon de terre**

La conductivité électrique, symbolisée par la CE, exprimée en (dS/m) et mesurée sur un échantillon de sol remanié et homogénéisé dépend de la quantité de sel dans la solution du sol, mais aussi de la température et de sa teneur en eau. Donc, la conductivité doit être mesurée dans des conditions standards, c'est à dire à 25°C et à humidité constante. En général, on se réfère à un extrait de pâte saturée (USSL, 1954). Le principe consiste à ramener progressivement le sol à saturation par malaxage avec l'eau déminéralisée, c'est-à-dire à sa limite de liquidité. Après un repos de 24h, on extrait la solution du sol sur laquelle on opère la mesure (Mathieu et Pieltain, 2003).

Cette technique devient très contraignante (méthode destructrice, effort physique important, lente) quand il s'agit de mesurer la salinité d'un grand nombre d'échantillons du sol (Mathieu et Pieltain, 2003), surtout lorsqu'il s'agit de répéter les mesures dans le temps.

La méthode des extraits de pâte saturée est utilisée d'une manière internationale pour la classification des sols salés.

La seconde méthode consiste à faire des extractions aqueuses de rapports sol/eau (m/v) fixes pour obtenir des fortes dilutions (sol/eau de 1/5 le plus utilisé). Elle est plus rapide et moins consommatrice de quantité d'échantillons.

Lorsque le nombre d'échantillons est très important, nous pouvons réaliser des extraits dilués à 1/5 après avoir établi une corrélation entre  $CE_{1/5}$  et CE sur un échantillonnage représentatif. On peut également établir une relation entre le taux de saturation d'un échantillon et de la CE de son extrait dilué pour trouver la correspondance avec la CE d'extrait de pâte saturée.

### **10. 2. Résistivité électrique (dispositif de Wenner)**

Cette méthode utilise deux jeux d'électrodes. L'un sert à injecter un courant dans le sol et l'autre est utilisé pour mesurer la différence de potentiel induite, en application de la loi d'Ohm, on a  $V = RI$ . ( $V$  : tension électrique,  $R$  : résistance (ohm),  $I$  : Intensité du courant électrique). En tenant compte de la géométrie du système (écartement des électrodes), nous pouvons en déduire la résistivité électrique moyenne du sol. Les chercheurs de Riverside (U.S.A) ont proposé avec succès l'installation en surface d'un quadripôle d'électrodes de configuration Wenner pour mesurer la conductivité électrique apparente du sol à la capacité au champ (Michot, 2003).

La calibration des valeurs de la conductivité apparente du sol était assurée par des mesures de la conductivité électrique d'extrait de pâte saturée d'échantillons de sol prélevés sous le dispositif d'électrodes. L'inconvénient de cette méthode est que les mesures doivent être réalisées à de fortes teneurs en eau (à la capacité au champ) (Rieu et Chevry, 1976) et qu'elles sont influencées par les cations échangeables du sol. Un autre inconvénient est que l'épaisseur concernée du sol est du même ordre que l'écartement entre les électrodes d'où la difficulté de réaliser les mesures en profondeur (Rieu et Chevry, 1976).

### **10. 3. Conductivité électromagnétique**

Le sol est soumis à un champ électromagnétique de haute fréquence créé par une spire primaire. Plus le sol est conducteur, donc salé, plus les courants induits dans les différents horizons sont importants. Ces courants déterminent à leur tour un champ secondaire qui est mesuré dans une spire secondaire. La profondeur prospectée

dépend de l'écartement des spires et de leur orientation mais elle ne dépasse pas 2 m d'épaisseur de profil. Elle n'est pas destructrice, et en même temps elle permet de réaliser facilement une cartographie de la salinité (Boivin et al., 1988 ; Job, 1992). Cette méthode se base sur l'utilisation de deux dipôles électromagnétiques correspondant à deux bobines ou spires espacées d'une distance inter-spires « S », l'une étant émettrice et l'autre réceptrice. L'appareillage, en prospection électromagnétique comprend une alimentation en courant alternatif à une ou deux fréquences, des bobines d'émission et de réception, un amplificateur récepteur réglé sur la fréquence émise et un enregistreur (un écouteur, un lecteur analogique ou numérique, un disque ou encore une bande magnétique d'enregistrement etc.).

Pour certaines mesures, on doit ajouter un potentiomètre en courant alternatif (ou un compensateur de phase et d'amplitude) pour comparer le signal du champ primaire avec celui du champ secondaire (Telford et al, 1982). La source d'alimentation utilisée en prospection électromagnétique est soit un groupe électrogène, soit un petit oscillateur transitoire fonctionnant sur des batteries légères avec un amplificateur de puissance de faible impédance de sortie. L'estimation de la salinité par induction électromagnétique est très satisfaisante au regard des coefficients de variation rencontrés pour la salinité ( Vauclin, 1982, Iddir, 2006).

### **11. Télédétection de la salinité des sols**

La présence de sels à la surface des sols peut être mise en évidence par la télédétection soit de façon directe soit de façon indirecte. La détection directe peut avoir lieu lorsque les sels s'accumulent à la surface du sol soit sous forme de croûte soit sous forme d'efflorescence. La détection indirecte peut se faire par la reconnaissance de la végétation naturelle halophyte et de certaines cultures connues pour leur résistance aux sels (Mougenot et al., 1993).

Les teneurs et la nature des sels sont les principaux facteurs qui influencent la réflectance des sels par le biais de la couleur, de l'humidité et de la rugosité qu'il confèrent à la surface des sols (Mougenot et al, 1993). La croûte formée par des cristaux de sel (0.5 – 5 mm) peut varier de 1 mm à 1 m d'épaisseur selon la quantité des sels disponibles à la surface des sols qui façonnent l'état de surface du sol par une rugosité généralement plus faible (Metternicht et Zink, 2003). La nature

minéralogique influe aussi sur la rugosité à la surface, telle que les sulfates de sodium qui provoquent une structure gonflée des cristaux tandis que la dominance des chlorures induit des surfaces plus lisses (Driessen et Schoorl, 1973 ; Eghbalm et al., 1989).

Les différences d'absorbance aux différentes bandes dues à la nature des sels déterminent le comportement spectral des types de sel. A titre d'exemple, les carbonates montrent une absorbance élevée dans la bande thermique et les sulfates ont des préférences d'absorbance proche de 10.2 micromètres. L'humidité liée à l'hygroscopicité des sels augmente l'absorbance et diminue par conséquent la luminance.

La télédétection constitue une aide certaine dans la délimitation des grandes unités agro-pédo-paysagiques. La combinaison des données de la télédétection avec les données de terrain (états de surface, occupation du sol, carte des sols ) et celles du laboratoire (mesure de la CE) a abouti à une bonne qualité de perception de la salinité aux valeurs de CE > 10 dS/m pour les sols de la plaine du Bas-Chéiff (Douaoui, 2005).

## **12. Classification des sols salés**

Les différentes classifications des sols ont accordé une importance relative aux sols riches en sels. Ainsi la CPCS (1967) et la WRB (2006) placent cette catégorie de sols au sommet de leur hiérarchie, classe pour la CPCS (1967) et groupe référence pour la WRB (2006), tandis que soil taxonomy (2006), sans en faire un ordre à part, accorde une importance capitale à leur propriétés (CE, ESP et SAR).

Selon l'intensité des processus mis en jeu et leurs caractéristiques physico-chimiques, on définit plusieurs types de sols salés (Servant, 1970 ; Loyer, 1995). Leur classification pose encore des problèmes et la majorité des systèmes recommandent une subdivision en quatre catégories (Dogar, 1980 ; Daoud, 1993). On parle de sols salés, sols salins, sols alcalins et de sols alcalins non salés que l'on distingue en recourant au pH, à la CE, à l'ESP et au SAR (USSSL, 1954 ; CPCS, 1967).

- ¾ Les sols salés sont des sols dont la conductivité électrique (CE) de l'extrait de la pâte saturée est supérieure à 4ds/m à 25°C et dont le pourcentage de sodium

échangeable (ESP) est inférieur à 15 %. Généralement, le pH est inférieur à 8,5.

Ces sols correspondent aux « solonchaks » à cause de la présence de sels en excès et de l'absence de quantité suffisante de sodium échangeable, les sols salés sont généralement floculés, et en conséquence la perméabilité est supérieure ou égale à celle des sols similaires non salés (Dogar, 1980).

Quand un système de drainage adéquat est installé, les sels solubles en excès peuvent être éliminés par lessivage et les sols deviennent normaux.

- <sup>3</sup>/<sub>4</sub> Les sols salins à alcalis ont une conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée à 25°C supérieure à 4ds/m et un ESP supérieur à 15%. Ces sols sont le résultat de processus continus de salinisation et d'alcalinisation. Dans les conditions où les sels sont en excès, le pH augmente rarement au dessus de 8,5 et les particules restent floculées, sinon il peut atteindre la valeur 9. Si les sels en excès sont lessivés, les propriétés de ces sols peuvent changer d'une manière déterminante et devenir semblables à celles des sols alcalins non salés.

D'après Aubert (1983), les sols salins à alcalis s'observent dans les oasis du Sud Algérien comme Touggourt et aussi dans le Tell (Vallée du Cheliff). Leur perméabilité dépend du rapport entre la CE et l'ESP, de la teneur et de la nature de la fraction argileuse du sol (Daoud, 1993).

- <sup>3</sup>/<sub>4</sub> Les sols alcalins non salés sont les sols ayant une valeur de l'ESP supérieure à 15 %, une CE inférieure à 4dS/m à 25°C et un pH qui varie habituellement de 8,5 à 10.

Dans la légende F.A.O. de la carte du Monde (1998), les sols salés du Maghreb sont pour la plupart des solonchaks. Les solonetz y sont rarement représentés.

### **12. 1. Classification (WRB) des solonchaks**

La WRB (2006) est constituée par deux catégories principales. Les groupements principaux (32 groupes) sont définis par un horizon (ou des propriétés) diagnostic, et chaque groupement principal est divisé en unités de second ordre.

Cette classification est basée sur les propriétés des sols définis en termes d'horizons et de caractéristiques diagnostiques qui doivent, autant que possible, être mesurables et observables sur le terrain ; elle se base également sur le matériau diagnostique.

Le Groupe de référence du sol « solonchaks » se situe à un niveau hiérarchique le plus élevé ; il comprend les sols qui ont une forte concentration en sels solubles à un moment donné de l'année. Le terme solonchaks, antérieurement solontchaks, est d'origine russe. Il signifie sol (sel) et chak (secteur salé). Cette dénomination commune et internationale désigne «les sols salins», c'est à dire les sols affectés par la salinité. Les solonchaks se localisent essentiellement en zones arides et semi-arides et en régions côtières sous tous les climats.

La version de W.R.B. (2006) se distingue par rapport la version précédente (WRB, 1999) par la présence d'un produit de l'épaisseur en (cm) et de la CE en (dS/m) ( $E \times CE$ ) pour la reconnaissance des solonchaks

D'après W.R.B. (2006) , les solonchaks sont tous les sols ayant un horizon salique débutant dans les 50 cm du sol et absence d'un horizon thionique (sulfurique) dans les 50 premiers cm du sol et n'ayant aucun horizon diagnostique autre qu'un horizon histique, mollique, ochrique, takyrique, yermique, calcique, cambique, durique, gypsique, ou vertique.

#### **a)- Description générale de l'horizon salique**

L'horizon salique est un horizon situé en surface ou à une faible profondeur et qui se caractérise par un enrichissement secondaire en sel facilement solubles, c'est-à-dire en sels plus solubles que le gypse.

#### **Critères diagnostiques**

Un horizon salique doit avoir sur toute sa profondeur :

1. Une conductivité électrique (CE) de l'extrait de pâte saturée supérieur à 15dS /m à 25°C à un moment de la l'année ; ou  
Une CE de plus de 8 dS/m à 25°C si le pH (H<sub>2</sub>O) de l'extrait de pâte saturée dépasse 8.5 (pour les sols carbonatés alcalins) ou est inférieur à 3.5 (pour les sols acides) ;
2. Une épaisseur d'au moins 15 cm.

3. Un produit de l'épaisseur en (cm) et de la CE en (dS/m) supérieur ou égal à 450 ou plus ;

4. Absence d'un horizon sulfurique (thionic).

**a)- Identification des solonchaks sur le terrain**

La présence d'un horizon salique peut être déduite à partir d'indices indirects. Une végétation halophyte telle que le *Tamarix* sp. et des cultures tolérantes aux sels sont les premiers indicateurs. Les couches affectées par les sels montrent souvent une structure « soufflée ». Les sels ne précipitent qu'après évaporation de l'humidité du sol. Si le sol est humide ou détrempé, ces précipitations ne doivent pas avoir lieu.

Les sels peuvent précipiter en surface ('Solonchaks externes') ou en profondeur ('Solonchaks internes'). Une croûte de sels en surface fait partie de l'horizon salique.

**b)- Description générale de l'horizon sulfurique (thionic) :**

**Horizon sulfurique ou thionic :** est un horizon subsuperficiel extrêmement acide dans lequel l'acide sulfurique se forme par oxydation des sulfures.

Un horizon sulfurique doit avoir les caractéristiques suivantes :

- 1- Un pH inférieur à 3.5 dans une suspension 1/1 d'eau ;
  - soit des taches jaune orange de jarosite ou brun jaunâtre de schwertmannite, soit des concentrations dont hue Munsell est d'au moins 2.5Y et un chroma d'au moins 6 ; ou
  - Une suspension sur des matériaux sulfidiques ; ou
  - Au moins 0.05 % (en poids) de sulfates solubles dans l'eau ; et
- 2- Une épaisseur d'au moins 15cm.

**e)- Suffixes et préfixes des solonchaks préconisé par la WRB**

La WRB (2006) donne une liste de qualificatifs (préfixe et suffixe) possibles rangés par ordre de priorité (tableau XI) qui permettent à l'utilisateur de construire les unités de second ordre.

Tableau XI : suffixe et préfixe des Solonchaks préconisés par la (WRB, 2006)

Préfixe	Suffixe
Petrosalic	Sodic
Hypersalique	Aceric
Puffic	Chloridic
Folic	Sulphatic
Histic	Carbonatic
Technic	Gelic
Vertic	Oxyaquic
Gleyic	Takyric
Stagnic	Yermic
Mollic	Aridic
Gypsic	Arenic
Duric	Siltic
Calcic	Clayic
Haplic	Novic

Les préfixes et les suffixes sont utilisés quand le solonchak se caractérise par un autre horizon ou propriété diagnostique.

- **Les préfixes** : préfixes servant de qualificatifs uniques (ou modificateurs), qui sont ajoutés aux groupes des sols de référence, permettant des caractérisations et classifications très précises des profils individuels de sols

- **Horizon hypersalic** : ayant une conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée supérieure à 30 dS/m à 25°C dans au moins un sous-horizon situé dans les 100 premiers cm du sol.

- **Horizon folic** : est un horizon de surface ou subsuperficiel présent à faible profondeur, qui consiste en un matériau de sol organique bien aéré.

- **Horizon histic** : est un horizon de surface, ou subsuperficiel apparaissant à faible profondeur, constitué de matériaux organiques sous aération médiocre.

**Le préfixe histic** : ayant un horizon histic dans les 40 premier cm du sol.

- **Horizon vertic** : c'est un horizon subsuperficiel argileux qui, suite à des contractions et gonflements répétés, présente de fentes de retraits.

**Le préfixe vertic** : ayant un horizon vertique dans les 100 premier cm du sol

**Propriétés gleyic** : à moins que le sol ne soit drainé, les matériaux ont des propriétés gleyic s'ils sont complètement saturés par la nappe phréatique pendant une période

qui permet à des conditions réductrices de régner (cela peut aller de quelques jours sous les tropiques à quelques semaines dans les autres régions) et s'ils présentent un modèle de couleur gleyic.

**Critères diagnostiques**

Les propriétés gleyics doit montrer l'une ou des deux couleurs suivantes :

- 1- Plus de 90% de couleur de réduction, comprise entre la couleur blanche neutre et le noir (Munsell N1/ au N8/) ou bleuâtre à verdâtre (Munsell 2.5 Y, 5 Y, 5 G, 5 B) ;  
ou bien,
- 2- Plus de 5% de taches de couleur d'oxydation ne comprend aucune couleur à l'exception celle qui montre une réduction.

**Le préfixe gleyic** : ayant des propriétés gleyic dans les 100 premiers cm du sol.

**Propriétés stagnic** : à moins qu'ils ne soient drainés, les matériaux de sols ont des propriétés stagnic s'ils sont complètement saturés par l'eau de surface au moins temporairement, pendant une période suffisamment longue pour permettre l'installation des conditions réductrices (la période peut aller de quelques jours sous les tropiques à quelques semaines dans les autres régions), et s'ils présentent un modèle de couleur stagnic.

**Critères diagnostiques** : les conditions réductrices sont mises en évidence par une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- 1- Une valeur de rH inférieure ou égale à 19 dans la solution du sol ; ou
- 2- La présence de  $Fe^{2+}$  libres se manifestant soit par :
  - Une couleur bleu foncé nette sur une surface fraîchement brisée d'un échantillon de sol prélevé humide sur le terrain, après pulvérisation d'une solution à 1 % de cyanure ferrique de potassium ; ou
  - Une couleur rouge fort sur une surface fraîchement brisée d'un échantillon de sol prélevé humide sur le terrain, après pulvérisation d'une solution à 0.2 % de dipyridyl dans de l'acide acétique à 10 % ; et
- 3- Un horizon albique ou modèle de couleurs stagniques soit :
  - Dans plus de 50 % de volume de sol s'il n'est pas perturbé ; soit

- Dans 100 % de volume du sol si l'horizon de surface du sol est perturbé par un labour.

**Le préfixe stagnic:** ayant des propriétés stagnic dans les 50 premiers cm du sol.

- **Horizon mollic :** l'horizon mollic est un horizon de surface bien structuré, de couleur foncée, dont la saturation en bases est élevée et la teneur matière organique modérée à élevée.

Un horizon mollic doit avoir un certain nombre de critères diagnostiques, à savoir.

- 1- Une structure suffisamment affirmée que l'horizon ne soit ni massif ni dur ou très dur à l'état sec.
- 2- Un chroma Munsell inférieur à 3.5 à l'état humide, et une valeur plus foncée que 3.5 à l'état humide et que 5.5 à l'état sec.
- 3- Une teneur en carbone organique d'au moins 0.6 % ;
- 4- Un taux de saturation en base de 50 % ou plus sur la moyenne pondérée de toute l'épaisseur de l'horizon ;
- 5- L'épaisseur suivante :
  - a- 10 cm ou plus s'il repose directement sur une roche dure, un horizon pétrocalcique ou pétrogypique ou s'il recouvre un horizon cryique ; ou
  - b- Au moins 20cm et plus d'un tiers de l'épaisseur du solum si celui-ci moins de 75cm d'épaisseur ; ou
  - c- Plus de 25cm si le solum a plus de 75cm d'épaisseur.

**Préfixe mollic :** ayant un horizon mollique.

- **Horizon calcic :** l'horizon calcique est un horizon dans lequel du carbonate de calcium secondaire ( $\text{CaCO}_3$ ) s'est accumulé sous forme de distributions diffuses (carbonate de calcium présent uniquement sous forme de fines particules de 1mm ou moins dispersées dans le fond matriciel), soit sous forme de concentrations discontinues (pseudo-mycélium, cutanes, nodules tendres et durs, veines). L'accumulation peut se situer dans le matériau originel ou dans des horizons subsuperficiels, mais peut également se présenter sans les horizons de surface suite à une érosion. Si l'accumulation de carbonates tendres devient telle que toutes ou la plupart des structures pédologiques et/ou lithologiques disparaissent et que dominant

des concentrations continues de carbonate de calcium, alors l'horizon est dénommé horizon hypercalcic.

Critères diagnostiques : un horizon calcique doit avoir

- 1- Une teneur en équivalent carbonate de calcium de 15% ou plus, dans la fraction terre fine, (pour les horizons hypercalcic, plus de 50% d'équivalent carbonate de calcium dans la fraction terre fine ; et
- 2- Une épaisseur d'au moins 15cm ; même épaisseur requise pour l'horizon hypercalcic.

**Préfixe calcic** : ayant un horizon calcic ou des concentrations de carbonates secondaires dans 100 premiers cm.

- **Horizon duric** : c'est un horizon subsuperficiel présentant des nodules faiblement cimentés ou indurés dont le ciment est de la silice ( $\text{SiO}_2$ ), probablement sous forme d'opale ou de microcristaux de silice (durinodes).

**Préfixe duric** : ayant un horizon duric dans les 100 premiers cm du sol.

**Préfixe haplic**: exprime certains caractères de manière typique (typique dans le sens qu'il n'y a pas de caractérisation supplémentaire ou significative). Il est utilisé si un qualificatif n'a pas été appliqué précédemment.

- **Horizon gypsic** : l'horizon gypsic est un horizon non cimenté contenant des accumulations secondaires de gypse ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) sous différentes formes.

**Préfixe gypsique** : ayant un horizon gypsic dans les 100 premiers cm du sol.

**Préfixe pétrosalique** : ayant, dans les 100 premiers cm du sol, un horizon de 10 cm ou plus, épaisseur qui est cimentée par des sels plus solubles que le gypse.

• **Les suffixes** : sont utilisés pour constituer les unités de second ordre.

- **Suffixe sodic** : ayant plus de 15 % de sodium échangeable ou plus de 50% de sodium et magnésium échangeables sur le complexe d'échange dans les 50 premier cm de profondeur.
- **Suffixe acéric** : ayant un pH compris entre 3.5 et 5 et des taches de jarosite dans les 100 premiers cm du sol (uniquement dans les Solonchaks).

- **Suffixe chloridic** : ayant une solution du sol avec  $\text{Cl} \gg \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$  (dans les Solonchaks uniquement).

- **Suffixe sulfatic** : ayant une solution de sol avec  $\text{SO}_4 \gg \text{HCO}_3 > \text{Cl}$  (uniquement dans les Solonchaks).

- **Suffixe carbonatic** : ayant une solution du sol le pH est supérieur à 8.5 avec  $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 \gg \text{Cl}$  (uniquement dans les Solonchaks).

- **Suffixe gélif** : ayant un permagel endéans les 200 premiers cm du sol.

- **Suffixe oxyac** : saturé en eau pendant la période de dégel et n'ayant pas de caractères rédoximorphies endéans les 100cm du sol (uniquement dans les Cryosol).

- **Suffixe takyric** : ayant un horizon takyric (de l'Ousbek takyr, terre stérile).

Description générale : l'horizon takyric est un horizon de surface de texture lourde comprenant une croûte de surface et une partie inférieure de structure lamellaire. Il se forme sous conditions arides dans des sols périodiquement inondés.

- **Suffixe yermic** : ayant un horizon yermic comprenant un pavement de désert.

Description générale : l'horizon yermic (de l'Espagnol yermo, désert) est un horizon superficiel qui est constitué généralement, mais pas toujours, d'accumulations en surface de fragments de roche ('pavement du désert') enveloppé dans une couche mince de sable éolien ou de loess.

- **Suffixe aridic** : ayant des propriétés aridic sans horizon takyric ou yermic.

Description générale : les propriétés aridic combinent un certain nombre de propriétés communes aux horizons de surface des sols présents en conditions arides et là où la pédogenèse se développe plus vite que les nouvelles accumulations de surface dues à l'activité éolienne ou alluviale.

- **Suffixe arénic** : ayant la texture d'un sable fin loameux ou plus grossière sur toute l'épaisseur des 50 premiers cm.

- **Suffixe siltic** : ayant 40 % ou plus de limon dans un horizon de plus de 30cm d'épaisseur situé dans les 100 premiers cm du sol.

- **Suffixe clayic** : ayant une couche de texture argileuse de 30cm ou plus, dans les 100 premiers cm du sol

- **Suffixe drainic** : ayant un horizon histic avec un drainage artificiel débutant dans les 40 premiers cm du sol.

## **12. 2. La classification française CPCS (1967)**

La classification française est une classification hiérarchisée. Elle est morphogénétique, est englobée des niveaux suivant la classe, la sous-classe, le groupe, sous-groupe, la famille, la série, le type et la phase.

Les sols salés constituent une classe subdivisée en deux sous classes, une sous classe caractérisée par une forte salinité et une alcalinité faible ou bien inexistante (sols salins), et une autre sous classe marquée par une faible salinité et une alcalinisation plus ou moins importante (sols alcalins).

<sup>3</sup>/<sub>4</sub> La sous classe des sols salins.

- Sols salins à complexe calcique (solontchaks calciques) : caractérisé par un profil de type AC, absence de sodisation et d'alcalinisation ( $CE > 7$  dS/m à 25°C; ESP < 10 %).

- Sols salins à complexe sodique (solontchaks sodique) : ces sols comportant un profil de type du type AC avec une sodisation et une alcalinisation modérée ( $CE > 7$  dS/m à 25°C; ESP > 10 %).

<sup>3</sup>/<sub>4</sub> La sous classe des sols alcalins.

Ces sols sont pourvus d'un profil du type A (B) C ou ABC, ce sont les solonetz et les soloth ( $CE < 7$  dS/m à 25°C ; pH > 8,5 ; ESP > 15 %).

- Sols alcalins non lessivés (solontchak – solonetz) : ce sont des sols peu différenciés, ce sont des sols alcalins salés et des sols alcalins peu ou non salés.

- Sols alcalins lessivés (solonetz).

-Sols alcalins dégradés (soloth ou solod) : ils présentent une dégradation de la structure en A2 et B2 par acidification (remplacement du  $Na^+$  par  $Al^{++}$  et  $H^+$ ).

## **12. 3. La classification américaine (soil taxonomy, 2006)**

La classification américaine est une classification hiérarchisée basée sur la morphologie et certaines analyses de laboratoire : c'est une classification morpho-analytique.

Les critères diagnostiques sont représentés par les horizons diagnostiques (épipedon), le pédoclimat, et par des critères secondaire (propriétés pédologique bien distinctes).

Dans la classification américaine, il n'y a pas un ordre des sols salés, par contre il y a l'horizon salique, un horizon d'accumulation des sels plus solubles que le gypse.

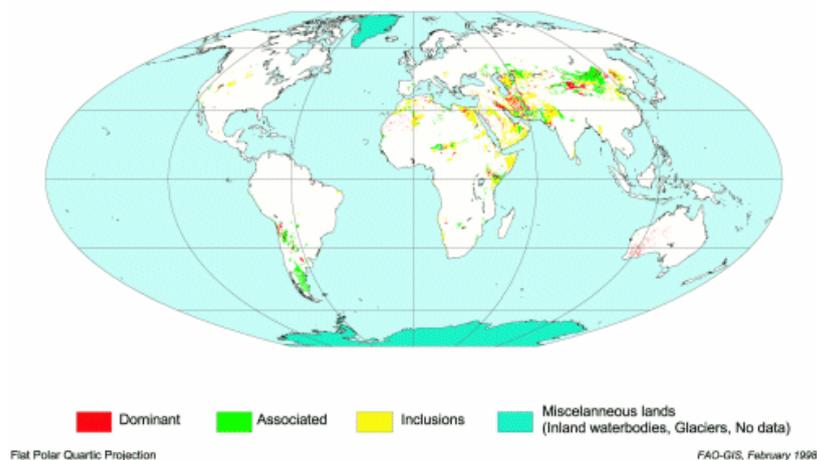
**a)- Caractéristiques de l'horizon salique selon soil taxonomy :**

- 1- L'horizon salique est de 15cm d'épaisseur ou plus,
- 2- La CE supérieure ou égale à 30dS/m pour un extrait de pâte saturée, pendant 90 jours consécutifs ou plus au cours des années normales ;
- 3- Un produit de la CE en dS/m et de l'épaisseur de l'horizon en cm, égal 900 ou plus.

Cependant, malgré l'ordre de priorité et les clés d'identification établies par les différentes classifications hiérarchisées, il subsiste néanmoins un certain nombre de confusions car elles ne rendent pas compte, dans certains cas, suffisamment bien de la réalité (Duchaufour, 1998).

### **13. Répartition des solonchaks dans le Monde**

L'étendue totale des solonchaks dans le Monde est estimée entre 260 millions (Dudal, 1990) et 340 millions d'hectares (Szabolcs, 1989) en fonction du niveau de salinité qui est pris comme critère diagnostique. Les solonchaks sont les plus vastes dans l'hémisphère Nord, notamment dans les zones arides et semi-arides du Nord de l'Afrique, du Moyen-Orient, d'ex-URSS et de l'Asie centrale, mais ils sont également très répandus en Australie et dans les Amériques. La figure 6 montre les principales occurrences de solonchak dans le Monde.



**Figure 6. La répartition des Solonchaks dans le monde.**

#### **14. Répartition des sols salés en Algérie**

Les travaux effectués par différents auteurs (Halitim, 1973 ; Bouteyre, 1991) démontrent que la grande majorité des sols agricoles en Algérie sont affectés de sels ou susceptibles de l'être. La plupart des sols salés algériens sont situés en région aride et semi-aride, mais on les rencontre également sous bioclimat sub-humide.

Les cartes d'ensembles réalisées au 1/5.000.000 par la F.A.O. (1974) montrent que les sols en Afrique du nord sont essentiellement des sols salins et des sols très salés à alcali rassemblés sous le nom de solontchaks, parfois des sols peu salés à alcali mais très rarement des solonetz (Aubert, 1976).

Ces sols sont abondants en Algérie dans les basses plaines et vallées d'Oranie, la vallée de la Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au Sud de Sétif et de Constantine, et aux bords des chotts. Les solontchaks à salant hygroscopique ont été décrits principalement sur les hauts plateaux algériens. Les solontchaks gleyiques ou hydromorphes sont surtout abondants dans quelques zones très basses des plaines littorales et des vallées inférieures ainsi que dans les zones centrales des régions de chotts et Sebkhass sur les hauts plateaux algériens.

Enfin, les solontchaks takyriques sont signalés sur la carte mondiale des sols, principalement dans la zone du Hodna (Aubert, 1976, Dogar, 1976).

Les sols à alcali, moyennement ou peu salés, s'observent par taches dans les plaines littorales et les vallées du Tell comme c'est le cas entre la Mina et le Cheliff (Aubert, 1976).

D'après Aubert (1976) en Algérie la superficie des solontchaks serait de l'ordre de 1.123 millions d'hectares.

Par ailleurs, Djili (2000) montre que la majorité des sols du Nord de l'Algérie sont non sodiques, et que la sodicité aurait un caractère azonal bien que l'isohyète 450 mm constituerait la limite supérieure des fortes accumulations du sodium sur le complexe adsorbant.

## Chapitre II Matériels

### et méthodes

Notre travail comporte deux volets, les solonchaks de Relizane et la base de données de sols de la région Nord de l'Algérie.

#### 1. Matériel

Les sols étudiés se situent dans la région de Relizane à environ 300 km à l'ouest d'Alger.

Le climat de cette région, de type méditerranéen est très rude et très contrasté, dans la mesure où les précipitations annuelles moyennes sont de l'ordre de 250 mm celui de l'ETP de 1500 mm/an combiné à des températures très élevées en été (38°C), d'où l'importance du déficit hydrique annuel.

La région de Relizane est connue par ses deux grands périmètres irrigués, le périmètre de la Mina et celui du Bas-Chélif.

Ces deux plaines alluviales sont confrontées aujourd'hui à un problème de salinisation secondaire en plus d'une salinisation primaire (Boulaine, 1956). Cette salinisation secondaire est due à l'eau d'irrigation qui est de mauvaise qualité (voir partie bibliographique) mais aussi à la remontée capillaire, le tout étant aggravé par un système de drainage défaillant.

C'est dans ce contexte que nous avons étudié trois profils :

- ¾ Le profil P1 se trouve dans la plaine de la Mina qui constitue la limite ouest du Bas-Chélif ;

Cordonnées géographiques : Longitude 0° 29' 31.2'' E

Latitude 35° 44' 17.0'' N

- ¾ Le profil P2 se trouve à Gaâ c'est une dépression fermée qui se trouve sur la rive droite de l'oued Mina ;

Cordonnées géographiques : Longitude 0° 33' 22.0'' E

Latitude 35° 47' 44.33'' N

- ¾ Le profil P3 se trouve dans la station de L'INRA de Hmadna dans la partie Est du Bas-Chélif (figure 7).

Cordonnées géographiques : Longitude  $0^{\circ} 44' 59,6''$  E

Latitude  $35^{\circ} 57' 47,5''$  N

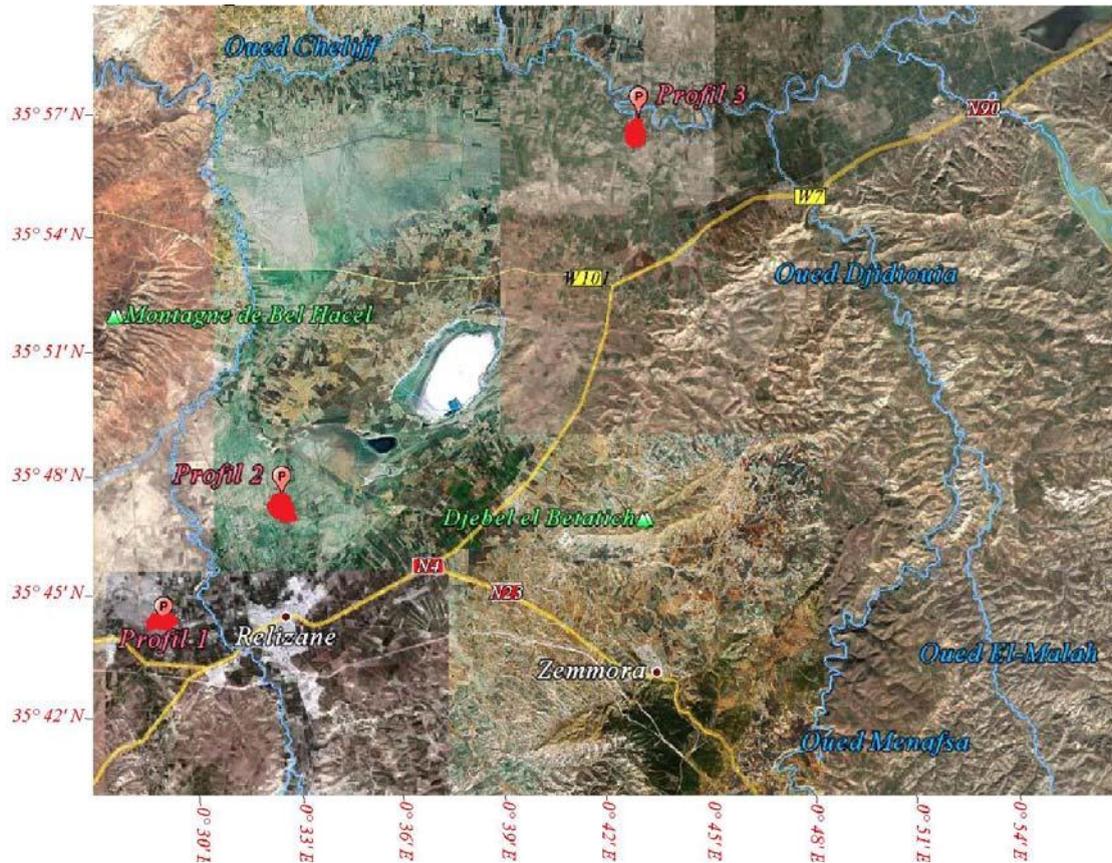


Figure 7. Localisation des profils.

Le deuxième matériel qui fait l'objet de notre étude, est constitué d'une base de données englobant des études d'inventaire pédologique réalisées dans la région Nord de l'Algérie et que nous tentons d'exploiter.

## 2. Méthodologie

L'objectif visé par cette recherche est double. Il s'agit dans un premier temps, de déterminer des profils références de solonchaks dans les périmètres irrigués du Bas-Chélif et de la Mina (Relizane). Connaissant la forte salinité qui caractérise les sols irrigués de cette région d'Algérie, il s'agira surtout de voir dans quelle mesure les

propriétés morphologiques et analytiques de ces sols concordent avec la définition du groupe solonchak tel qu'il est défini par la W.R.B. (2006).

Pour rappel, un solonchak doit se caractériser, entre autres, par la présence d'un horizon salique. Celui-ci doit avoir sur toute sa profondeur :

- Une conductivité électrique (CE) de l'extrait de pâte saturée supérieure à 15dS /m à 25°C à un moment de la l'année ; ou

Une CE de plus de 8 dS/m à 25°C si le pH (H<sub>2</sub>O) de l'extrait de pâte saturée dépasse 8.5 (pour les sols carbonatés alcalins) ou est inférieur à 3.5 (pour les sols sulfatés acides) ;

- Une épaisseur d'au moins 15 cm.
- Un produit de l'épaisseur en (cm) et de la CE en (dS/m) supérieur ou égal à 450 ou plus ;
- Absence d'un horizon sulfurique (thionic).

Sur la base d'une carte de salinité (INSID, 2006), nous avons repéré deux profils parmi les plus salés de la région de Relizane. La forte salinisation de ces profils a été confirmée par la présence d'une végétation halophyte telle que *Sueda fruticosa*, *Salsola vermiculata* et par la présence des pseudos sables.

En ce qui concerne le choix du profil de Hmadna, il a été fait sur la base des recommandations de la station de recherche (INRA) et de la végétation naturelle halophyte présente.

Par la suite, les profils ont été creusés, décrits et analysés au laboratoire.

### **2. 1. Les méthodes d'analyse**

Les échantillons de sol prélevés sont d'abord séchés à l'air libre puis tamisés à 2 mm, la terre fine a fait l'objet d'analyses concernant la solution du sol et le sol lui même avec deux ou trois répétitions.

**2. 1. 1. Analyses du sol**

Pour le sol nous avons utilisé les méthodes suivantes :

**a. Analyses physiques**

- pF : méthode utilisée de la presse à membrane (pF 2, pF2.5, pF 2.7 et pF 4.2).
- L'indice d'instabilité : test de Hénin.
- Perméabilité : test de percolation.
- L'analyse granulométrique : méthode internationale à la pipette de Robinson.

**b. Analyses chimiques**

- La conductivité électrique (pâte saturée) : méthode électrique.
- Le pH : le rapport (1/2.5) méthode potentiométrique
- Calcaire total : méthode volumétrique au calcimètre de Bernard (Dupuis, 1969).
- La capacité d'échange cationique (CEC) : méthode Bower, saturation à l'acétate de sodium, pH= 8.2.
- Les bases échangeables : déplacement des cations par une solution de chlorure de Baryum. Dosage des bivalents ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ) par spectrophotométrie à absorption atomique, les monovalents ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) par spectrophotométrie à flamme.
- L'azote total : méthode de Kjeldahl.
- Le carbone organique : méthode Anne.
- Le gypse : dosage par attaque puis précipitation, par le chlorure de baryum.

**2. 1. 2. Analyses de la solution du sol**

La solution du sol : nous avons utilisé l'extrait de pâte saturée correspondant à la méthode de référence préconisée par l'U.S.S.L. (1954). La solution du sol extraite a été analysée en vue de déterminer les six paramètres suivants :

- La conductivité électrique : méthode électrique.
- Les sulfates : méthode gravimétrique par précipitation par le chlorure de baryum.

- Les carbonates et les bicarbonates : méthode volumétrique, dosage par une solution acide.
- Les chlorures : méthode volumétrique au nitrate d'argent.
- Le sodium et le potassium : par photométrie de flamme.
- Le calcium et le magnésium : par photométrie d'absorption atomique.

Enfin pour l'analyse statistique des résultats, nous avons adopté la méthode des corrélations 2×2 en nous basant sur la valeur du coefficient de corrélation « r », comparée à celles de la table de Pearson. Cette approche nous permet d'apprécier la nature et l'intensité des relations existant entre la conductivité électrique et les différents paramètres chimiques (Na<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SAR, ESP, pH) d'une part, et physiques (les teneurs en eau aux différents potentiels pF 2.5, pF 2.7, pF 4.2, le taux d'argile, l'indice d'instabilité structurale et la perméabilité hydraulique) d'autre part. Lorsque l'analyse statistique donne lieu à un pourcentage d'explication suffisamment élevé il nous sera possible de tracer des droites de régressions illustrant les liaisons entre paramètre explicatif et paramètre à expliquer.

Le deuxième objectif de cette recherche consiste en l'exploitation d'une base de données englobant des études d'inventaire pédologique réalisées dans la région Nord de l'Algérie pour en extraire tous les profils correspondant aux critères diagnostiques des solonchaks d'après la W.R.B. (2006), le niveau d'avancement dans la classification étant fonction des données consignées dans la base de données.

Dans un premier temps, nous avons extrait 89 profils références correspondant au groupe de référence en question (voir annexe).

Dans un deuxième temps, nous avons procédé à une localisation de ces profils dans l'espace pour examiner leur répartition dans la région Nord de l'Algérie en utilisant un système d'information géographique (SIG) grâce au logiciel MAPINFO qui nous a permis de réaliser les différentes analyses thématiques pour la localisation des solonchaks dans l'espace.

Enfin dans un troisième temps, nous avons classé ces profils sous la même classification en question, avec une représentation graphique réalisée par le SIG.

## **Chapitre III Résultats**

### **et discussion**

Ce chapitre comporte deux volets distincts que nous présentons de la manière suivante :

- Le premier volet est réservé à la présentation et la discussion des paramètres morphologiques et analytiques des solonchaks de Relizane ;
- Le deuxième volet est un essai de valorisation d'une base de données pédologique pour déterminer les solonchaks références d'Algérie selon la classification W.R.B. (2006).

#### **1. Les solonchaks de Relizane**

Dans ce qui suit, nous présentons successivement les trois solonchaks de Relizane ; les caractéristiques morphologiques et analytiques de chacun d'eux seront présentées et discutées en détail.

##### **1. 1. Morphologie, et propriétés du profil 1**

###### **1. 1. 1. Les données générales**

Le profil se situe au nord ouest du périmètre irrigué de la Mina, à proximité de la ferme Koubibi Djilali, dans une parcelle délimitée au nord par la ligne de chemin de fer, à l'est par un drain primaire et à l'ouest par un canal d'irrigation.

Les coordonnées géographiques sont 0° 29' 31.2'' de longitude Est et 35° 44' 17.0'' de latitude Nord.

Date de description: 10/11/2008

Temps : ciel clair.

Précédent climatique : il a plu environ 25 mm dans la région les jours précédents.

Altitude : 63m +ou- 4m

Topographie : terrain plat.

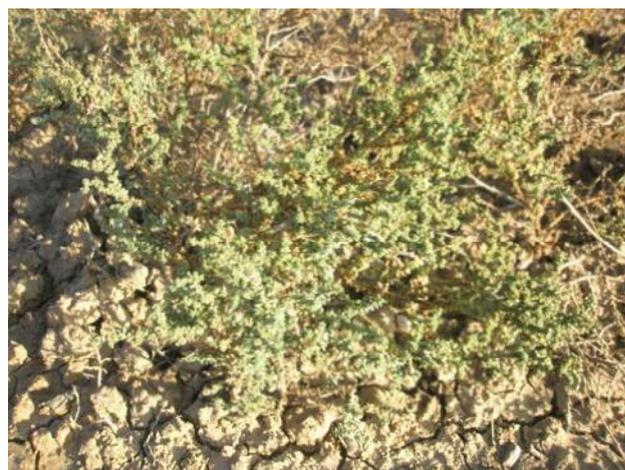
Matériaux originels : alluvions.

Etat de surface : Terrain non cultivé, apparition d'une fine croûte de battance ayant tendance à se soulever probablement à cause de la présence de pseudo sables qui étaient très présents avant les pluies (photo 1).



**Photo 1. Etat de surface**

Végétation : Végétation très dense constituée exclusivement de *Salsola vermiculata* (photo 2).



**Photo 2. Végétation**

### **1. 1. 2. Description morphologique**

Le profil 1 est montré par la photo 3.

**Anz** : 0 - 17cm : frais ; couleur à l'état humide 7.5 YR 5/ 2.5 ; argileux ; structure polyédrique angulaire fine à moyenne ; poreux ; plastique ; collant ; peu compacte ; friable ; absence d'éléments grossiers ; présence de quelques fissures ; moyennement organique ; présence de racines fines à moyennes ; faible activité biologique ; environ 30% de la

matrice constitués de taches blanchâtres hétérogènes ; vive effervescence à l'HCl généralisée ; transition nette et régulière.

**BCnz** : 17 - 33 cm : frais ; couleur 7.5 YR 4/4 à l'état humide ; argileux ; structure prismatique anguleuse ; collant ; compact ; friable ; non fragile ; importante porosité structurale ; absence d'éléments grossiers ; présence de fente verticale ; présence de racines mortes ; peu organique ; faible activité biologique ; plastique ; présence de taches blanchâtres autour des éléments structuraux sous forme de nervures ou bien sous forme de pseudo-mycéliums 3 à 4 % par plage et de 20 à 30 % de tache le long du profil ; vive effervescence à l'HCl généralisée ; transition régulière et nette.

**Cnz1** : 33 - 45 cm : légèrement humide ; couleur 7.5 YR 4/4 à l'état humide ; argilo-limoneuse ; structure massive à éclat anguleux ; poreux, friable ; plastique ; collant ; absence d'éléments grossiers ; faible activité biologique ; présence de racines mortes ; peu organique ; présence de nombreuses nervures blanchâtres ; vive effervescence à l'HCl généralisée ; transition régulière et nette.

**Cgnz2** : 45 - 110cm : frais ; couleur 10YR 6/4 à l'état humide ; argilo-limoneuse ; structure massive à éclat anguleux ; peu compact ; très friable ; collant ; plastique ; très poreux ; très fragile ; absence d'éléments grossiers ; non organique ; présence de traces noirâtres correspondant à des anciennes racines, faible activité biologique ; présence de petites taches blanchâtres (sels probablement) de 1mm de diamètre de forme allongée ; présence de taches d'hydromorphie (oxydoréduction) de couleur grisâtres et ocre, qui deviennent très nombreuses vers la base ; diminution des taches blanchâtres vers le bas du profil ; vive effervescence à l'HCl, généralisée ; transition régulière et nette.



**Photo 3. Profil 1**

**Cgnz3** : 110 - 150 cm: frais à légèrement humide ; couleur 10YR 6/4 à l'état humide ; et plus texture argilo-limoneuse ; structure massive à éclat anguleux ; très friable ; peu compact ; collant ; plastique ; très fragile ; poreux ; absence d'éléments grossiers ; non organique ; absence d'activité biologique ; présence de taches d'hydromorphie avec une prédominance de taches grisâtres qui deviennent plus importantes vers la base ; présence de moins de 2% de tache blanchâtre correspondant à du sel probablement ; vive effervescence à l'HCl, généralisée.

Ce profil est développé sur les alluvions de l'oued Mina, sa profondeur est supérieure à 150 cm.

Accumulations salines

L'horizon de surface est bien différencié, apparemment organique, il est marqué surtout par la présence de nombreuses taches blanchâtres à la surface des éléments structuraux qui correspondraient probablement aux accumulations salines ; le deuxième horizon se distingue du premier par sa structure qui est prismatique grossière qui devient massive vers le bas et par la présence de taches blanchâtres. Cet horizon a été subdivisé en deux sous-horizons, le deuxième sous-horizon se distingue du premier par l'abondance de taches blanchâtres (photo 4).



**Photo 4. Taches blanchâtres**

Le troisième horizon est très épais et se caractérise par une structure massive à éclats anguleux. A la base de cet horizon, nous trouvons des taches d'hydromorphie (oxydoréduction). Le dernier horizon est marqué par une alternance de couches argilo-limoneuses et de couches sableuses qui se transforme vers la base en une alternance de couches de sables grossiers et de sables fins assez compactes. La structure est massive à éclat anguleux et les taches d'hydromorphie sont nombreuses.

**1. 1. 3. Résultats des analyses**

**1. 1. 3. 1. Les constituants du profil 1**

Les paramètres analysés sont présentés dans le tableau XII, et les résultats statistiques ont présentés dans le tableau XIII.

**Tableau XII. Gypse, CaCO<sub>3</sub>, MO, N et granulométrie du profil 1**

Horizons	profondeur (cm)	gypse (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	MO (%)	N (%)	C/N	Argiles (%)	Limons (%)	Sables (%)
<b>Anz</b>	0-17	1.1	18.5	1.3	0.03	25.7	52.1	42.4	1.3
<b>BCnz</b>	17-33	1.2	19.4	0.3	0.1	1.5	57.9	35.3	1.7
<b>Cnz</b>	33-45	2.6	19.4	0.2	/	/	48.1	42.3	5.4
<b>Cgnz1</b>	45-110	2.4	20.2	0.03	/	/	30.6	58.4	5.9
<b>Cgnz2</b>	110-150	2.2	20	0.03	/	/	22.4	51.5	21

**Tableau XIII. Statistiques descriptives des paramètres du profil 1**

Paramètres	gypse (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	MO (%)	N (%)	C/N	Argiles (%)	Limons (%)	sables (%)	CEC (cmol (+)/kg)	ESP (%)
<b>Maximum</b>	2.6	20.2	1.3	0.1	24	57.9	58.4	21	22.13	36.62
<b>Minimum</b>	1	18.5	0.03	0.03	1.5	22.4	35.3	1.3	12.35	21.92
<b>Moyenne</b>	2	19.5	0.3	0.07	12.8	42.2	46	7.1	17.38	27.59
<b>CV(%)</b>	35	3	166	71	123	35	17	113	21	22

**- Le gypse**

Les teneurs en gypse sont faibles dans l'ensemble du profil ; ses valeurs oscillent entre 1 et 2.6 % avec une moyenne du profil de 2% (tableau XIII). D'une manière générale le gypse est très faiblement représenté dans la région d'étude.

**- Le calcaire**

Les teneurs en carbonate de calcium sont homogènes au niveau du profil ( $18\% < \text{CaCO}_3 < 20\%$ ). Le profil, est moyennement calcaire.

**- La matière organique**

La teneur en matière organique diminue dans le sens de la profondeur, elle varie entre 0.03 et 1.3 %, la moyenne étant de 0.3 %. Les horizons de surface et de sub-surface renferment des taux relativement élevés, par contre, les horizons de profondeurs en sont presque dépourvus de cet élément.

**- La teneur en azote total**

La teneur en azote total est moyenne dans l'ensemble du profil avec un minimum de 0.03 % et un maximum de 0.1 %. Sa distribution est plus ou moins liée au taux de matière organique. Dans les horizons de profondeur, l'azote total se trouve à l'état de traces. Le rapport C/N indique une minéralisation très lente de la matière organique pour l'horizon de surface (C/N=24).

**- La granulométrie**

Nous remarquons que les fractions granulométriques prédominantes sont les fractions argileuses et limoneuses (figure 8). Dans l'horizon de surface, les argiles et les limons ont pratiquement les mêmes taux qui sont respectivement de 45 et 46 %. Dans les horizons médians, la fraction argileuse prédomine avec des taux qui varient entre 48 et 58 %. La fraction sableuse est très peu représentée et varie entre 3 et 6 %. Nous observons au niveau des horizons profonds une diminution de la fraction argileuse et une augmentation appréciable de la fraction limoneuse (42 à 58 %), et de la fraction sableuse (21 %). Tous les horizons ont des textures argilo-limoneuses sauf l'horizon Cgnz2 où elle est limono-argileuse et l'horizon de profondeur où elle est limoneuse.

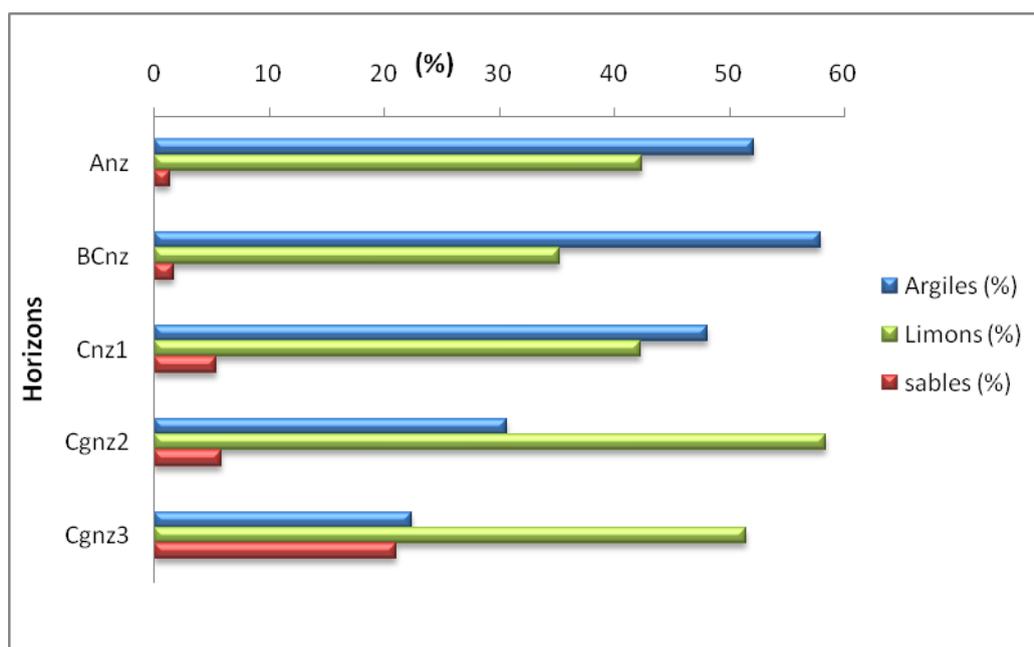


Figure 8. Répartition des fractions granulométriques dans le profil 1

1. 1. 3. 2. Le complexe adsorbant

Les résultats du complexe adsorbant sont présentés dans le tableau XIV.

Tableau XIV. Complexe adsorbant du profil 1

Horizons	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Σ	Taux de saturation	ESP	CEC
	Cations échangeables (cmol)(+)/kg)					(%)	(cmol (+)/kg)	
Anz	4,61	7,75	1,5	1,28	15.14	85	25,85	17,83
BCnz	6,87	8,75	3,17	0,69	19.48	88	31,04	22,13
Cnz1	3,87	8,25	2,25	0,44	14.81	84	21,92	17,65
Cgnz2	3,83	7,85	2,83	0,41	14.92	88	22,56	16,96
Cgnz3	4,52	7,6	2,08	0,31	14.51	100	36,62	12,35

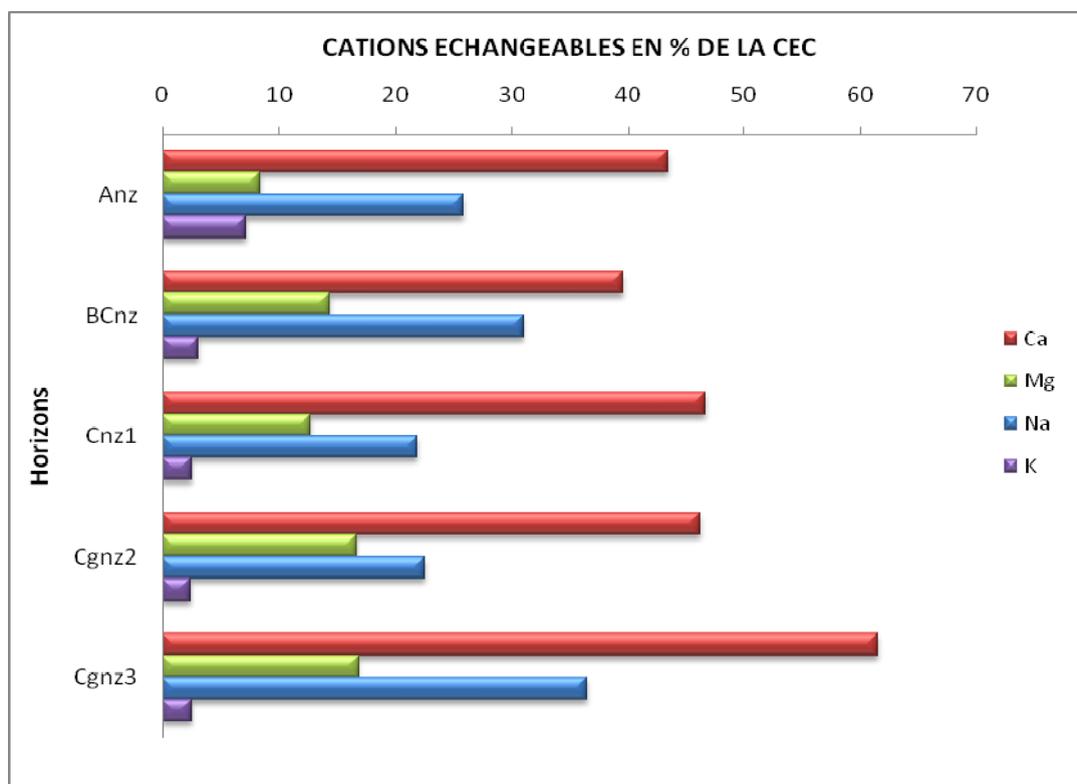
- La capacité d'échange cationique (CEC)

Les valeurs de la capacité d'échange cationique varient au niveau du profil en fonction des taux d'argile et de la nature minéralogique ; ses valeurs sont comprises entre 12 et 22 cmol (+)/kg de terre.

### - Les bases échangeables

La garniture cationique du complexe adsorbant (tableau XIV et figure 9) révèle que le calcium échangeable constitue l'essentiel du complexe adsorbant avec des taux qui oscillent entre 40 et 62 % de la CEC. Le magnésium présente des teneurs appréciables de la capacité d'échange cationique ( 8 à 20 %) alors que les teneurs du potassium sont relativement faibles (2 à 16%). Le taux de saturation en bases échangeables varie entre 84 et 117 % de la CEC, normalement il doit être égal ou bien supérieur à la CEC parce que le taux de carbonate de calcium est assez élevé. Paradoxalement on constate une sous estimation des bases échangeables ; ceci est dû aux lavages répétés à l'alcool qui sont préconisés par le protocole d'analyse afin de diminuer la conductivité électrique qui est très élevée.

Les pourcentages de sodium échangeable sont forts et varient entre 21 et 36 % au niveau de chaque horizon. Cette configuration cationique  $ESP > 15 \%$  suggère que tous les horizons sont sodiques (USSSL, 1954).



**Figure 9. Garniture cationique du complexe adsorbant du profil 1**

### 1. 1. 3. 3. Le Potentiel de l'eau, stabilité structurale et perméabilité hydraulique

Les analyses statistiques concernant le potentiel de l'eau, la stabilité structurale et la perméabilité hydraulique sont représentés dans les tableaux XV et XVI.

**Tableau XV. Résultats des analyses de la perméabilité hydraulique, stabilité structurale, et potentiel de l'eau du profil 1**

Horizons	K (cm/h)	Log 10 K	Is	Log 10 Is	pF 2.5	pF 2.7	pF 4.2
Anz	2.66	1.43	2.17	1.34	46.60	39.92	28.42
BCnz	1.7	1.24	18.55	2.27	47.75	39.17	29.12
Cnz1	1.81	1.26	6.37	1.8	42.18	39.08	27.04
Cgnz2	0.76	0.88	26.35	2.42	41.83	35.77	27.29
Cgnz3	1	1	14.03	2.15	40.10	33.10	26.47

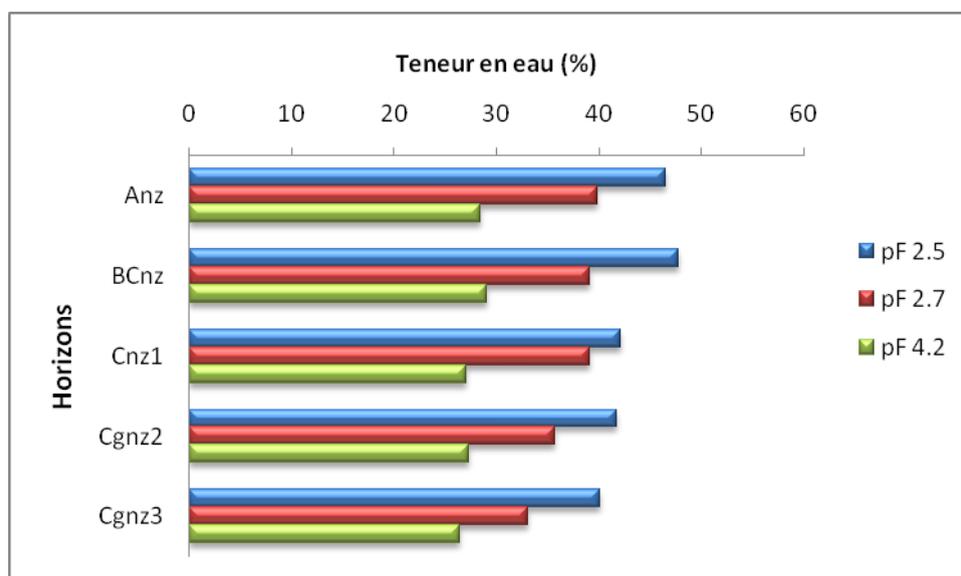
**Tableau XVI. Statistiques descriptives des paramètres étudiés du profil 1**

Paramètres	K (cm/h)	Log 10 K	Is	Log 10 Is	pF 2.5	pF 2.7	pF 4.2
Maximum	2.66	1.43	26.35	2.42	47.75	39.92	29.12
Minimum	1	0.88	2.17	1.34	40.1	33.1	26.47
Moyenne	1.6	1.16	13.49	2	43.69	37.41	27.67
CV(%)	47	19	71	21.5	7.55	8	4

#### - La teneur en eau aux différents potentiels

Le tableau XV et la figure 10 révèlent que les teneurs en eau varient entre 40 et 47% pour le pF 2.5, entre 33.1 et 40 % pour le pF 2.7 et entre 26 et 29 % pour le pF 4.2. Ces différences semblent liées au taux d'argile, la matière organique n'ayant pas d'effet notable à cause de sa faible teneur. Cependant, la variation des taux d'argile a peu d'effet sur la rétention en eau à pF 4.2 car pour les taux d'argile 22 et 58 %, nous avons respectivement des teneurs en eau de 26 et 29 %, ce qui signifie qu'une élévation de 36% d'argile n'engendre qu'une augmentation de teneur en eau de 3 %. Ceci suggère

que les mécanismes mis en jeu pour la rétention en eau à bas et moyen potentiels ne sont pas les mêmes. La nature des cations échangeables, la salinité globale et la nature minéralogique des argiles éventuellement peuvent avoir une influence particulière sur la rétention en eau à pF 4.2. (Ben hassine et al., 2003)



**Figure 10. Variation des taux d'humidité des horizons aux différents potentiels du profil 1**

#### - La stabilité structurale et la perméabilité hydraulique

La combinaison du test de la stabilité structurale et de la perméabilité hydraulique (figure 11) révèle que la majeure partie des horizons ont une stabilité structurale médiocre. Néanmoins, l'horizon Anz et l'horizon Cnz1 ont une stabilité qui est respectivement bonne, moyenne. Ceci s'explique par le fait que la CE de ces horizons est très élevée ce qui provoque une floculation, mais à la moindre pluie ces sols deviennent instables parce qu'il y a une dilution de la solution du sol et les forces de rétention du sodium deviennent très importantes par rapport aux forces de répulsion, ce qui provoque une dispersion des éléments texturaux qui détruit la porosité intersticielle (Amezketta et al., 1995) donc il y a une obturation des pores et par conséquent le sol s'imperméabilise (Servant, 1970). Dans ces conditions, ces horizons restent stables car il y a un équilibre entre la solution du sol et le complexe adsorbant.

De même, en tenant compte des normes (Aubert, 1979) les résultats montrent que la perméabilité hydraulique de l'horizon Anz est moyenne (2.66 cm/h) alors que celle des autres horizons est assez lente .

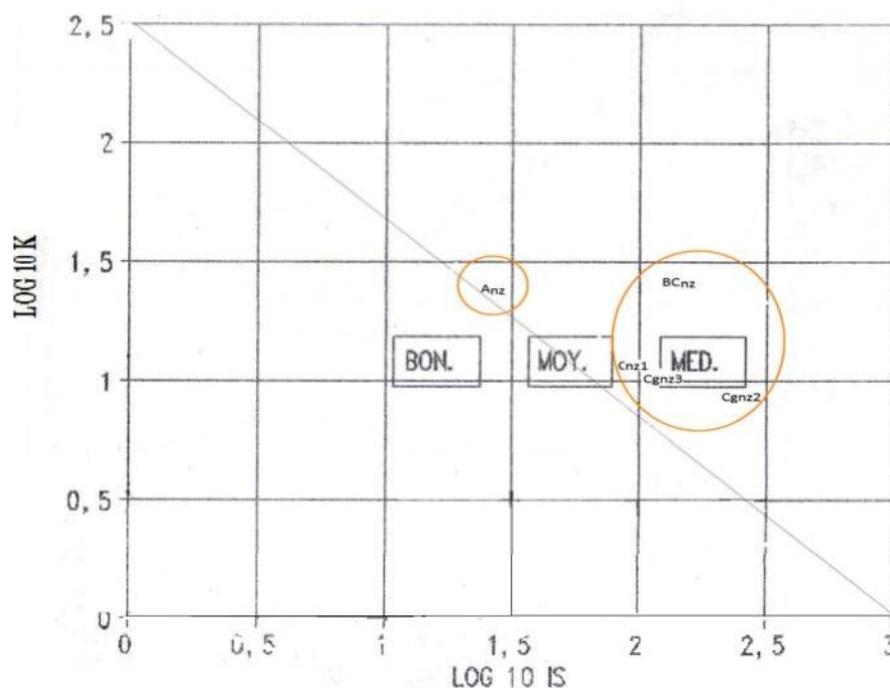


Figure 11. Combinaison entre la stabilité structurale et la perméabilité hydraulique du profil 1

### 1. 1. 3. 4. La solution du sol

Les résultats analytiques et statistiques des différents paramètres de la solution du sol sont indiqués dans les tableaux XVII et XVIII.

Tableau XVII. Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 1

Horizons	pH	CE (dS/m)	Na <sup>+</sup> (meq/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)	Ca <sup>++</sup> (meq/l)	Mg <sup>++</sup> (meq/l)	Σ <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup> (meq/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	SO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	Σ <sup>-</sup>	SAR
Anz	8.17	43.8	212.7	6.77	83.82	140.63	443.9	405	6	25.7	436	20
BCnz	8.44	61.6	330.74	4.53	38.5	230.17	603.9	510	7	93	610	28.5
Cnz1	8.17	57.5	322.04	3.37	36.92	215.08	577.4	480	8	94.2	582	28.6
Cgnz2	8.25	69.2	350.83	7.15	31.6	263.63	653.2	570	9	80.6	660	28.8
Cgnz3	8.41	86.2	370.78	5.21	30.07	292.75	698.8	630	7	50.6	688	29

Tableau XVIII. Statistiques descriptives du pH et de la CE du profil 1

Paramètres	pH	CE (dS/m)
Maximum	8.44	86.2
Minimum	8.17	43.8
Moyenne	8.28	63.66
CV (%)	1	23

### - La conductivité électrique

La distribution des sels en fonction de la profondeur (tableau XVII et figure 12) révèle une forte salinité de l'horizon de surface (CE= 43 dS/m). Cependant, cette CE est relativement faible par rapport à celle des autres horizons du profil. Ce phénomène serait dû à une lixiviation des sels provoquée par les pluies (la description a été réalisé en plein saison humide) et qui se seraient accumulés au niveau de l'horizon de sub-surface provoquant une augmentation de la CE (CE=61dS/m). La salinité augmente sensiblement dans les deux horizons BCnz et Cnz1 pour atteindre respectivement les valeurs de 61.6 et 57.5 dS/m. En revanche les horizons de profondeur sont marqués par une très forte salinité qui atteindra respectivement les valeurs de 69.2 dS/m et 86.2 dS/m le maximum de salinité étant observé dans la partie inférieure du profil. Ce résultat indique que le profil salin est descendant.

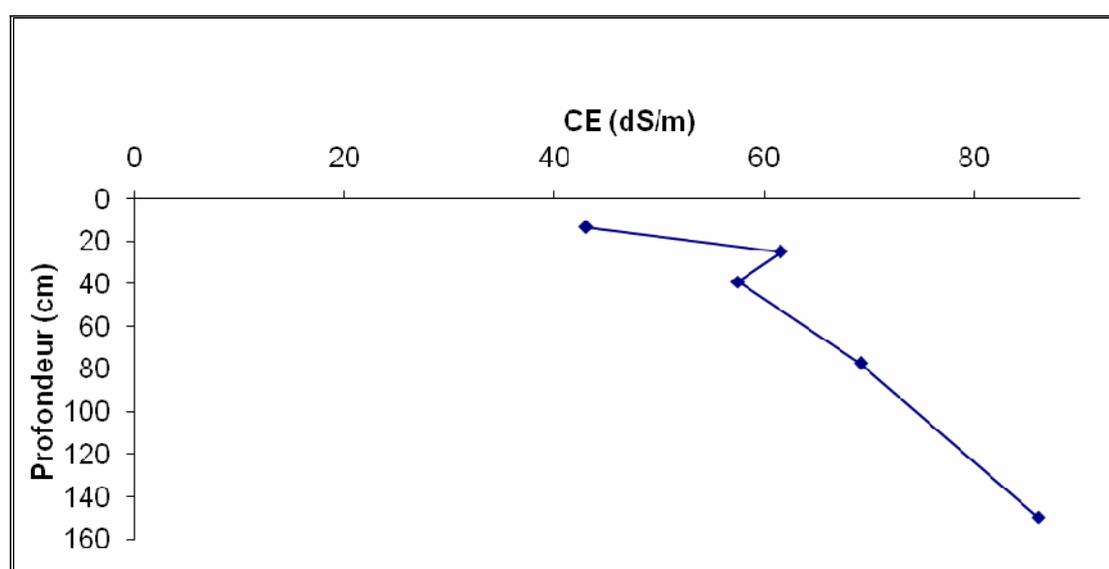


Figure 12. Distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 1

### - Le pH

Le tableau XVII indique que le pH est supérieur à 8 avec une moyenne de 8.2. Ces valeurs correspondent à une réaction du sol relativement alcaline, caractéristique principale des sols calcaires et des solonchaks car d'une manière générale, le pH est homogène dans le profil.

### - Les cations

Parmi tous les cations de la solution du sol (tableau XVII et figure 13), le cation  $\text{Na}^+$  est le plus abondant avec un taux moyen de 53%. Sa concentration varie entre 212 meq/l et 370 meq/l. Le  $\text{Mg}^{++}$  vient en deuxième position avec un taux de 38% et des teneurs qui varient entre 140 meq/l et 292 meq/l. Avec un taux de 8% et des concentrations qui varient entre 30.07 meq/l et 83.82 meq/l, le  $\text{Ca}^{++}$  se situe en troisième position, alors que le  $\text{K}^+$  vient en dernière position avec un taux de 1% et des teneurs qui varient entre 3 meq/l et 7 meq/l. Ainsi, le classement des cations selon la prédominance est de type  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$ .

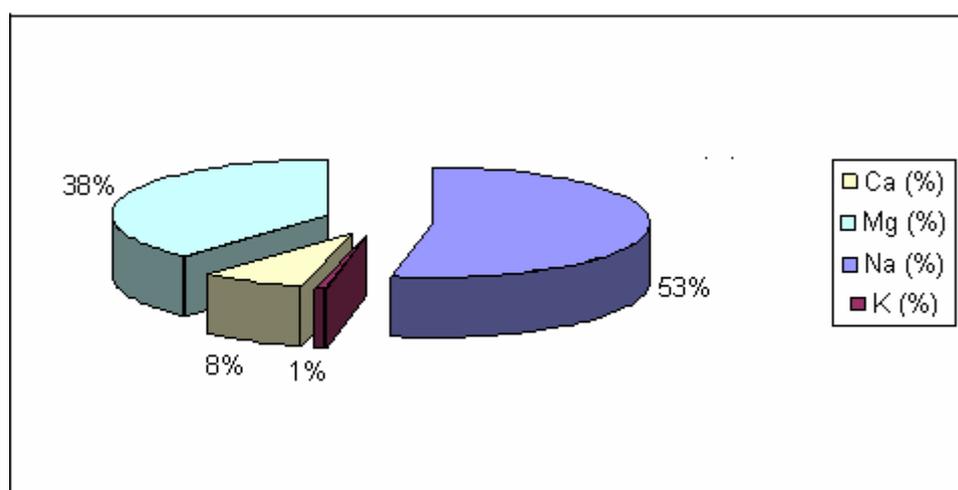


Figure 13. Répartition moyenne des cations dans la solution du sol du profil 1

### - Les anions

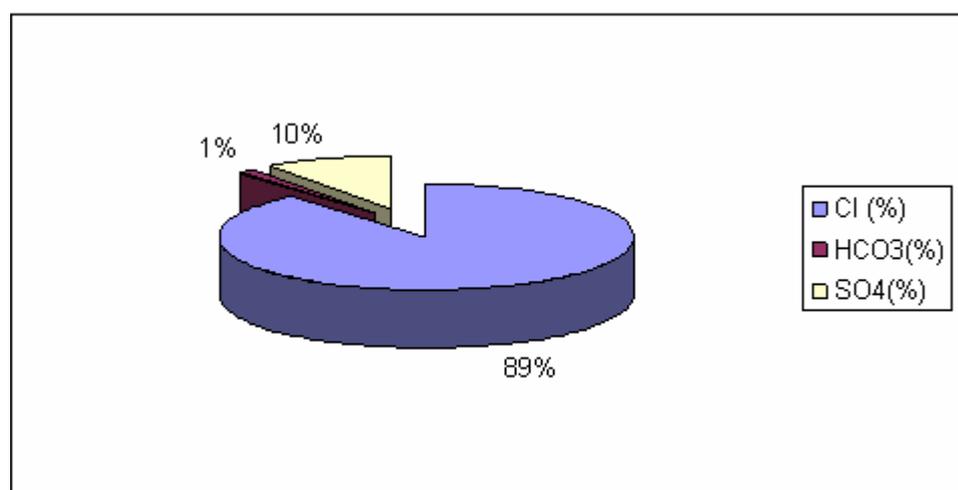
L'ion prédominant dans la solution du sol est le  $\text{Cl}^-$  (tableau XVII et figure 14), il représente la moyenne de 89% de la somme totale des anions avec des valeurs qui varient entre 405 meq/l et 630 meq/l. Avec un taux de 10% et des teneurs variant

entre 25.6 meq/l et 94.2 meq/l, les ions  $\text{SO}_4^{2-}$  se situent en deuxième position. Les ions bicarbonates ne représentent que 1% avec des teneurs qui oscillent entre 6 meq/l et 9 meq/l.

De ce fait, l'ordre de classement des anions selon leur prédominance devient le suivant :  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ .

Donc, le faciès chimique des solutions du sol est de type chloruré-sodique. Ce faciès chimique correspond à la voie saline neutre.

Nous avons constaté des teneurs élevées en magnésium et en chlorures dans la solution du sol ; ces résultats ont déjà été consignés dans les différents travaux effectués dans la même région d'étude (Durand, 1956 ; Boulaine, 1957 ; Daoud, 1993).



**Figure 14. Répartition moyenne des anions dans la solution du sol du profil 1**

#### - Le SAR

Les valeurs du SAR (tableau XVII) varient de 20 pour l'horizon de surface à 29 pour l'horizon de profondeur. Le risque de sodicité est donc très important.

#### 1. 1. 4. Synthèse des résultats morphologiques et analytiques

Sur le plan morphologique, le profil 1 se caractérise par une structure polyédrique fine dans l'horizon de surface qui devient rapidement prismatique grossière et massive

vers la base. Il se caractérise également par la présence de nombreuses taches blanchâtres qui correspondraient à des accumulations salines non identifiées.

La présence de taches d'oxydoréduction dans les horizons de profondeur constitue un trait morphologique et pédogénétique important de ce sol.

Par ailleurs, la texture est dominée par les argiles (52%) dans la partie supérieure du solum et une augmentation des limons (58%) dans sa partie inférieure. Les sables sont très peu représentés mais augmentent progressivement vers la profondeur passant de 1 à 21%. Enfin, ce profil est partout calcaire avec des taux homogènes qui se situent autour de 19%.

Les principaux résultats analytiques indiquent que le profil 1 se caractérise par un profil salin descendant très fortement salin ( $43 \text{ dS/m} < \text{CE} < 86 \text{ dS/m}$ ) et par un pourcentage de sodium échangeable fort ( $21\% < \text{ESP} < 36\%$ ). Les chlorures (89%) et le sodium (55%) sont les ions prédominants de la solution du sol. Le faciès chimique de la solution du sol est de type chloruré-sodique.

#### 1. 1. 5. Classification du profil 1

L'analyse des résultats analytiques et morphologiques (tableaux XII, XIII, et XVII) suggère que le sol 1 remplit les conditions de critères diagnostiques du groupe solonchak (tableau XIX) tel que défini par la W.R.B. (2006).

**Tableau XIX. Critères diagnostiques du profil 1**

E (cm)	CE (dS/m)	pH	E×CE
150>15	63>15	8.5>pH>3.5	9549>450

E : L'épaisseur de l'horizon salique

En effet, l'épaisseur de l'horizon salé est supérieure à 15cm (150cm) et la CE est supérieure à 15dS/m (63 dS/m) pour un pH compris entre 3.5 et 8.5. Par ailleurs, le produit E×CE est supérieur à 450 (9549).

Pour situer notre sol à un niveau avancé dans cette classification, nous avons retenu les préfixes et suffixes suivants :

- Hypersalic : la conductivité électrique est supérieure à 30 dS/m dans au moins un sous-horizon situé dans les 100 premiers cm du sol. Tous les horizons du profil 1 ont une CE > 30 dS/m (tableau XVII), de ce fait le profil étudié est un hypersalic.
- Sodic : il y a plus de 15 % de sodium échangeable ou plus de 50% de sodium et magnésium échangeables sur le complexe d'échange dans les 50 premiers cm de profondeur. Le profil 1 présente un taux de sodium échangeable >15% (tableau XIV), de ce fait il est sodic.
- Chloridic : les chlorures constituent l'ion prédominant dans la solution du sol du profil 1 (tableau XVII), de ce fait le profil étudié est chloridic.
- Clayic : Présence d'une couche de texture argileuse de 30cm ou plus dans les 100 premiers cm du profil étudié (tableau XII), de ce fait le profil 1 est clayic.
- Gleyic : il y a plus de 5% de taches de couleur d'oxydation dans les 100 premiers cm de profondeur. De ce fait, le profil étudié est un gleyic.

En conclusion, le sol étudié est un Hypersalic Gleyic Solonchak (Sodic, Chloridic, Clayic).

Il correspond aux sols salins à complexe sodique de la classification CPCS (1967) et un typic haplosalids dans la classification USDA (2006).

## **1. 2. Morphologie et propriétés du profil 2**

### **1. 2. 1. Les données générales**

Le profil se situe au nord-est du périmètre irrigué de la Mina, à proximité de la ferme Lakouas Adda, dans une parcelle délimitée à l'ouest par un verger d'oliviers, à l'est par un drain principal qui se déverse dans l'oued Mina et au sud par l'autoroute est-ouest. Les coordonnées géographiques sont : 0° 33' 22.0'' de longitude Est et 35° 47' 44.33'' de latitude Nord.

Date de description : 10/11/2008

Temps : Ciel clair.

Altitude : 55m +ou- 4m

Précédent climatique : il a plu environ 25 mm dans la région les jours précédents.

Topographie : Terrain plat.

Matériaux originels : Alluvions.

Etat de surface : Terrain non cultivé, présence de croûtes de battance ayant tendance à se soulever probablement par les pseudo-sables dont la formation a eu lieu durant la saison sèche (photo 5).



**Photo 5. Etat de surface**

Végétation : assez dense constituée exclusivement de Salsola (photo 6).

Il faut noter que dans cette région, il y a une nappe peu profonde (nappe perchée) à environ 1.8m de profondeur et qui devient de plus en plus superficielle vers le nord.



**Photo 6. Végétation**

### 1. 2. 2. Description morphologique

Le profil 2 est illustré par la photo 7.

**Anz** : 0 - 10 cm : frais ; couleur 7.5 YR 4/4 à l'état humide ; argilo-limoneuse ; structure polyédrique sub-angulaire moyenne à grossière ; friable ; non compact ; collant ; plastique ; poreux ; absence d'éléments grossiers ; organique ; présence de racines mortes ; faible activité biologique ; présence de fines taches blanchâtres représentant 5 % de l'horizon ; vive effervescence à l'HCl généralisée ; transition nette et régulière.

**ABnz** : 10 - 19cm : frais ; couleur 10 YR 4/4 à l'état humide ; argilo-limoneuse ; structure polyédrique sub-angulaire grossière ; peu compact ; friable ; collant ; plastique ; poreux ; absence d'éléments grossiers ; organique ; absence de racine ; faible activité biologique ; présence de taches blanchâtres (probablement du sel) occupent 30 à 40 % par endroits ; vive effervescence à l'HCl ; transition nette et régulière.

**Cgnz1** : 19 – 28cm : frais ; couleur 10YR 5/6 à l'état humide ; argilo-limoneuse ; structure massive à éclat anguleux ; friable ; moyennement compact ; peu collant ; peu plastique ; absence d'éléments grossiers ; non organique, faible activité biologique ; absence de racines ; présence de taches blanchâtres sous forme de nervure (pseudo mycéliums) représentant 5 % de la matrice ; présence des taches rouilles; vive effervescence à l'HCl généralisées ; transition nette et régulière.

**Cnz2** : 28 - 38 cm: frais ; couleur 10YR 4/6 à l'état humide ; argilo-limoneuse ; structure massive à éclat anguleux ; moyennement compact ; friable ; collant, plastique ; poreux ; absence d'éléments grossiers ; présence de racines mortes ; non organique, absence d'activité biologique ; présence de très nombreux pseudo mycéliums (nervures de sel) de 20 à 25 % de la matrice; vive effervescence à l'HCl ; transition régulière et nette.

**Cgnz3** : 38 - 60cm : frais ; couleur 10YR 4/6 à l'état humide ; argilo-limoneuse ; structure massive à éclat anguleux ; peu compact ; très friable ; collant ; plastique ; absence d'éléments grossiers ; non organique ; absence d'activité biologique ; présence de quelques pseudo mycéliums très fins ; rares taches ocres à sa base ; vive effervescence à l'HCl généralisée ; transition nette et régulière.

**Cgnz4** : 60 - 82 cm : frais ; couleur 10YR 5/ 6 à l'état humide ; argilo-limoneuse ; structure massive à éclat anguleux ; collant ; plastique ; friable ; poreux ; peu compact ; absence d'éléments grossiers ; présence de quelques racines mortes ; non organique ; absence d'activité biologique ; présence de quelques nervures blanchâtres au sommet de l'horizon ; présence de taches rouilles très peu nette ; vive effervescence à l'HCl généralisée ; transition nette et régulier.

**Cgnz5** : 82 -103 cm : frais ; couleur 10YR 4/6 à l'état humide ; argilo-limoneuse ; structure massive à éclat anguleux ; faiblement compact ; collant ; plastique ; poreux (les pores sont visuelle) ; absence d'éléments grossiers ; non organique ; rares racines mortes ; très faible activité biologique ; présence de taches ocres et rouilles ; très rares nervures blanchâtres ; vive effervescence à l'HCl généralisée ; transition nette.



**Photo 7. Profil 2**

**Cgnz6** : 103-150 cm : humide ; couleur 10YR 4/4 à l'état humide ; sableux; structure massive à éclat anguleux ; très friable; moins compact aux niveaux du sable grossier ; absence d'éléments grossiers ; présence de fines coquilles ; présence d'une alternance de sables fins et de sables grossiers ; non organique, très faible activité biologique ; présence de taches rouilles et grisâtres ; vive effervescence à l'HCl.

Ce profil est développé sur les alluvions de l'oued Mina, sa profondeur est supérieure à 150 cm.

L'horizon de surface est peu épais et relativement riche en matière organique, sa structure est polyédrique sub-angulaire moyenne à grossière, sa texture est argilo-limoneuse, il existe peu de taches blanchâtres correspondant probablement à du sel. L'horizon ABnz se distingue du premier horizon par une structure dégradée et la présence de nombreuses taches blanchâtres qui occupent une proportion assez considérable. Les horizons Cgnz1, Cgnz2, Cgnz3, Cgnz4, Cgnz5, et Cgnz6 se caractérisent essentiellement par une structure qui est massive, pour l'horizon Cgnz1 il existe de taches blanchâtres sous forme de nervures, et de quelques taches rouille peu nettes. L'horizon Cgnz2 se distingue de l'horizon Cgnz1 par sa porosité très remarquable, et les taches blanchâtres constituent une moyenne de 25% de la matrice. L'horizon Cgnz3 se caractérise par la présence de quelques nervures blanchâtres très fines. L'horizon Cgnz4 se caractérise essentiellement par l'existence de taches d'hydromorphie. Pour l'horizon Cgnz5, il y a présence de nombreuses taches d'hydromorphie. L'horizon Cgnz6 se caractérise essentiellement par la présence d'une alternance de sable fin et de sable grossier ; les niveaux de sable grossier sont moins compacts que les sables fins, correspondent ainsi aux différents cycles de dépôts alluviaux. Le sable fin a un aspect grisâtre.

### 1. 2. 3. Résultats des analyses

#### 1. 2. 3. 1. Les constituants du profil 2

Les résultats analytiques et statistiques sont présentés dans les tableaux XX et XXI.

**Tableau XX. Gypse, CaCO<sub>3</sub>, MO, N, C/N, et granulométrie du profil 2**

Horizons	profondeur (cm)	Gypse (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	MO (%)	N (%)	C/N	Argiles (%)	Limons (%)	sables (%)
Anz	0-10	0.6	18.9	1.5	0.1	5	38.8	42	13.5
ABnz	0-19	0.6	18.8	1.3	0.1	7	42	51.2	2.7
Cgnz1	19-28	4.1	18.8	0.4	0.05	5	30	63.2	3.7
Cnz2	28-38	0.9	19.2	0.1	/	/	32.9	54.6	8.3
Cgnz3	38-60	0.6	19.3	0	/	/	23.4	57.2	15.2
Cgnz4	60-82	0.8	22.2	0	/	/	34.3	58.9	2.7
Cgnz5	82-103	1.8	21.8	0	/	/	34.3	59.7	2.9
Cgnz6	103-150	0	21.6	0	/	/	8	12.9	76.7

**Tableau XXI. Statistiques descriptives des paramètres du profil 2**

Paramètres	gypse %	CaCO <sub>3</sub> %	MO %	N (%)	Argiles (%)	Limons (%)	sables (%)
Maximum	4.1	22.2	1.5	0.1	42	63.2	76.7
Minimum	0	18.8	0.1	0.05	8	12.9	2.7
Moyenne	1.1	20.1	0.8	0.08	30.4	49.9	15.7
CV (%)	117	7.4	82	75	36	32	159

#### - Le gypse

Le gypse se trouve à l'état de trace (gypse < 1%) dans l'ensemble du profil sauf aux niveaux des horizons Cgnz1 et Cgnz5. Ses taux sont respectivement de 4% et de 2% environ. Cette distribution de gypse dans le profil suggère que son origine dans le sol est liée à l'origine du sédiment parental lui même.

**- Le calcaire**

Les teneurs en CaCO<sub>3</sub> sont homogènes au niveau du profil (19 < CaCO<sub>3</sub> < 22 %). Le profil, d'une manière générale, est calcaire.

**- Les teneurs en matière organique**

Les teneurs en matière organique sont faibles dans le profil si nous tenons compte des forts taux d'argile. Elles sont de l'ordre de 1.5% dans l'horizon de surface et de subsurface et inférieures à 1% dans le reste du profil (tableau XX).

**- Les teneurs en azote total**

Les valeurs de l'azote total varient entre 0.05 et 0.1 % (tableau XXI), elles diminuent avec la diminution de la matière organique dans le sens de la profondeur.

**- Le rapport C/N**

Le rapport C/N est bas dans tout le profil et traduit donc une forte minéralisation de la matière organique (tableau XX).

**- La granulométrie**

En fonction de l'horizon considéré, la texture est argilo-limoneuse, limono-argileuse ou sablo- limoneuse.

La distribution dans le profil des différentes fractions granulométriques est hétérogène (figure 15) et confirme l'origine et le caractère alluvial du matériau parental du sol.

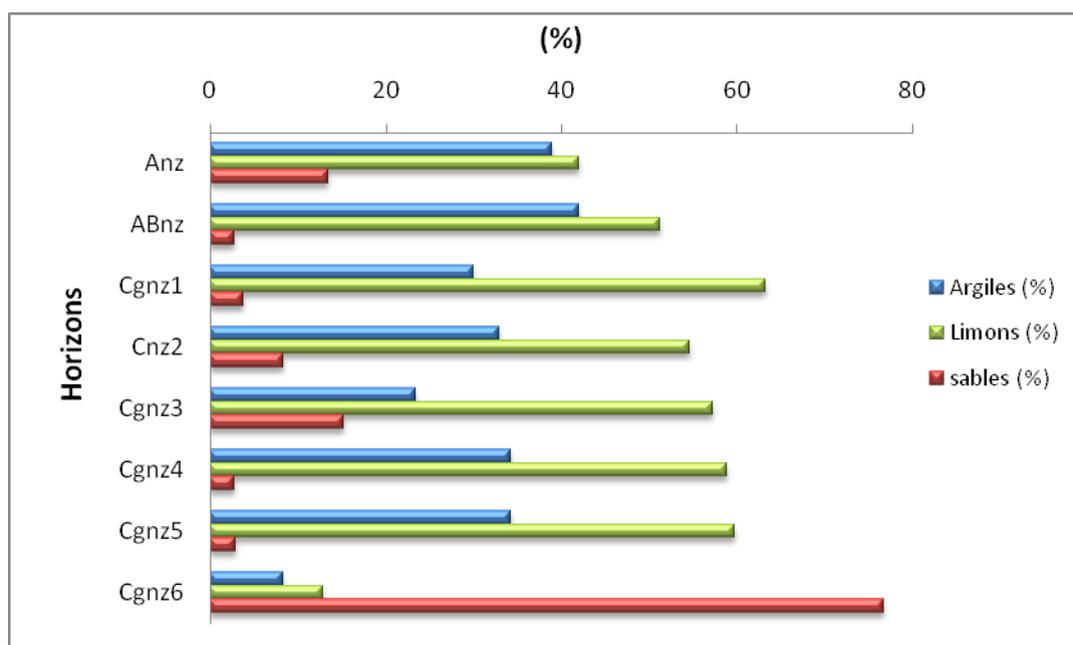


Figure 15. Répartition des fractions granulométriques dans le profil 2

### 1. 2. 3. 2. Le complexe adsorbant

Les résultats des analyses de la CEC et les bases échangeables sont présentés dans le tableau XXII.

Tableau XXII. CEC et bases échangeables du profil 2

Horizons	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Σ	Taux de saturation	ESP	CEC
	Cations échangeables (cmol (+)/kg)					(%)		(cmol (+)/kg)
<b>Anz</b>	4	7,25	3,25	0,92	15,42	87	22,55	17,74
<b>ABnz</b>	3,74	8,75	2,67	1,05	16,21	98	22,69	16,48
<b>Cgnz1</b>	2,48	7,85	5,83	0,69	16,85	100	15,92	15,57
<b>Cnz2</b>	3,35	7	3,83	0,77	14,95	92	20,53	16,30
<b>Cgnz3</b>	4,04	4,55	2,42	0,67	11,68	96	33,45	12,09
<b>Cgnz4</b>	4,52	7,25	3,42	0,51	15,70	88	25,30	17,87
<b>Cgnz5</b>	5,17	8,25	2,08	0,62	16,12	100	34,20	15,13
<b>Cgnz6</b>	4,26	2,75	1,50	0,54	9,05	100	56,65	7,52

**- La capacité d'échange cationique (CEC)**

Les valeurs de la capacité d'échange cationique sont favorables et sont comprises entre 8 et 18 cmol(+)/kg de terre (tableau XXII). La CEC est faible pour l'horizon de profondeur à cause de sa texture sableuse. D'une manière générale, la variation de la CEC est liée à la variation des taux d'argile.

**- Les bases échangeables**

Le taux de saturation en bases échangeables varie entre 87 et 120 % de la CEC, les analyses ont sous estimé ce paramètre du fait que dans les conditions de ce profil (taux de calcaire élevé et pH>7), le complexe adsorbant devrait être saturé en bases échangeables.

La garniture cationique du complexe adsorbant (figure 16) est dominée par le calcium dont les taux oscillent entre 37 et 55 % de la CEC, exception faite de l'horizon de profondeur où le sodium est le cation prédominant. Les teneurs du magnésium sont appréciables ( 14 à 37 %) alors que celles du potassium sont relativement faibles (3 à 7 %). L'ESP varie de 16 à 57 % de la CEC (tableau XXII), ce qui implique que tous les horizons sont sodiques (USSL, 1954).

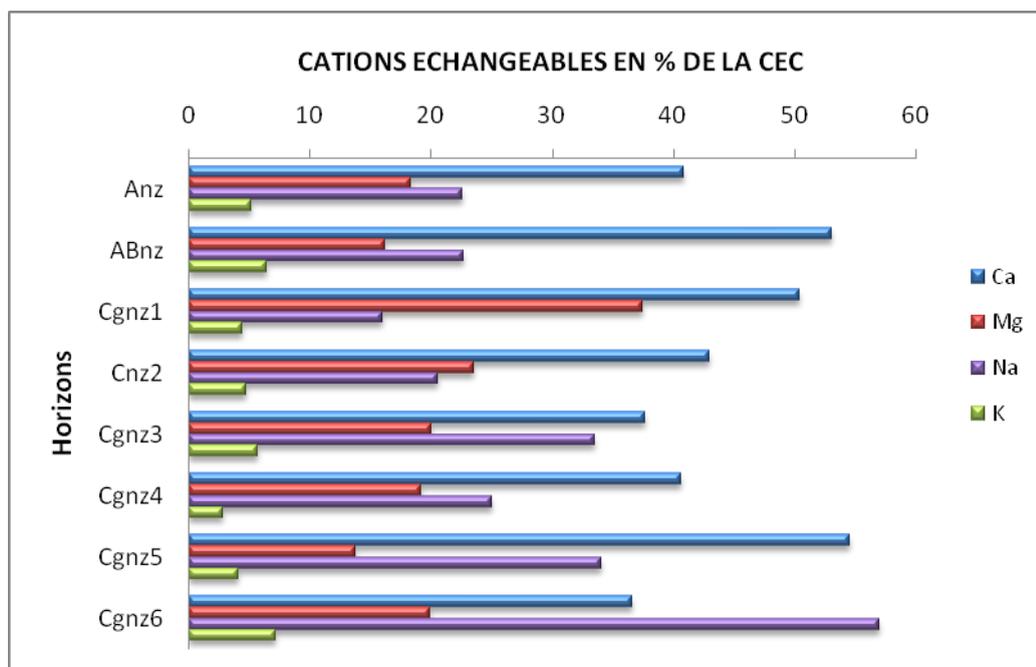


Figure 16. Garniture cationique du complexe adsorbant des horizons du profil 2

### 1. 2. 3. 3. Le potentiel de l'eau, la stabilité structurale et la perméabilité hydraulique

Les résultats d'analyse du potentiel de l'eau, de la stabilité structurale et de la perméabilité hydraulique sont présentés dans les tableaux XXIII et XXIV.

**Tableau XXIII. Résultats des analyses de la perméabilité hydraulique, stabilité structurale et potentiel de l'eau du profil 2**

Horizons	K (cm/h)	Log 10 K	Is	Log 10 Is	pF 2	pF 2.5	pF 2.7	pF 4.2
Anz	2	1.35	7.7	1.89	/	44.21	41.93	30.74
ABnz	2	1.3	4.72	1.67	/	39.99	38.88	29.47
Cgnz1	1.5	1.16	19.92	2.3	/	39.68	38.40	25.31
Cnz2	1.5	1.11	7.78	1.89	/	38.24	36.56	26.10
Cgnz3	1	0.83	23.04	2.36	/	36	33.84	24.89
Cgnz4	0.5	0.68	23.04	2.36	/	37.79	34.48	25.25
Cgnz5	0.2	0.24	22.11	2.34	/	38.71	37.04	26.89
Cgnz6	4	/	1.78	/	23	13.74	13.53	11.51

**Tableau XXIV. Statistique descriptives des paramètres statistiques du profil 2**

Paramètres	K (cm/h)	Log 10 K	Is	Log 10 Is	pF 2.5	pF 2.7	pF 4.2
Maximum	4	1.35	23.04	2.36	44.21	41.93	30.74
Minimum	0.2	0.24	1.78	1.67	13.74	13.53	11.51
Moyenne	1.59	0.95	13.76	2.12	36.04	34.33	25.02
CV (%)	73	42	66	14	26	25	23

#### - La teneur en eau aux différents potentiels

Le pF 2 n'est réalisé que pour l'horizon Cgnz6 qui est sableux. Le tableau XXIV et la figure 17 montrent que pour les pF 2.5, pF 2.7, pF 4.2 les teneurs en eau dans le profil varient respectivement de 14 à 44 %, 13 à 42 %, 11 à 30 %. Pour l'horizon de profondeur qui est de texture sableuse, la teneur en eau à pF 2 est de 23%. Cette teneur est relativement élevée au regard de la texture sableuse (77 % de sable fin). Sa forte salinité (CE=100 dS/m) semble jouer un rôle dans la rétention de l'eau.

Les teneurs en eau aux pF 2.5 et 2.7 diminuent d'une manière assez régulière dans le profil et semblent liées au taux d'argile.

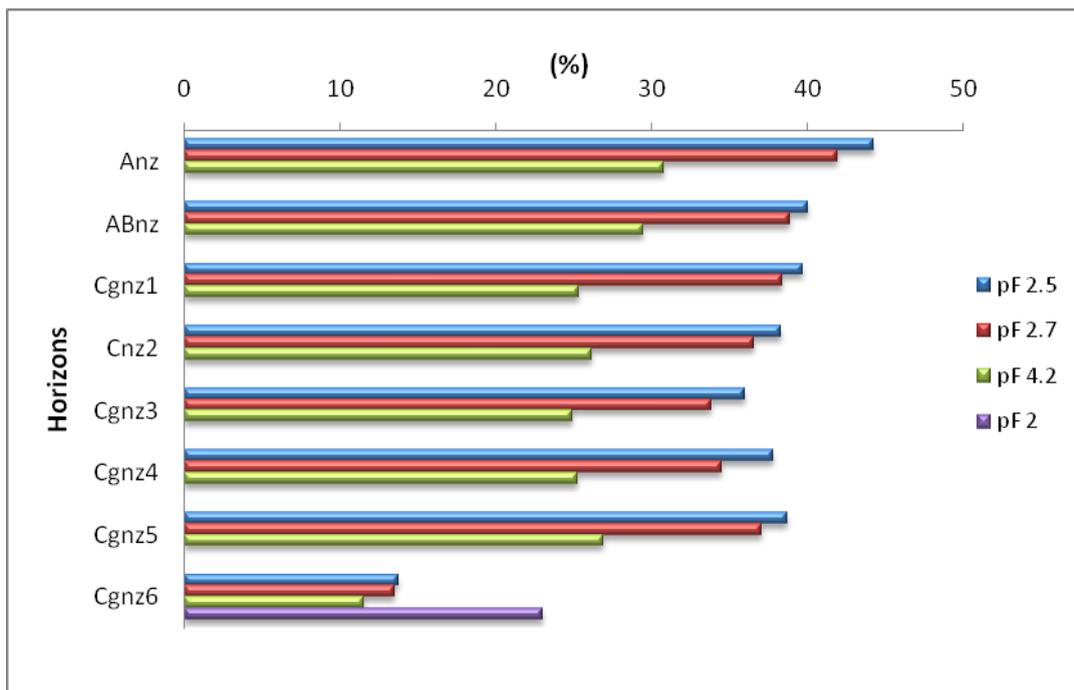


Figure 17. Variation des taux d’humidité aux différents potentiels du profil 2

**- La stabilité structurale et la perméabilité hydraulique**

La figure 18 montre que les horizons Cgnz1, Cgnz3, et Cgnz4 ont une stabilité médiocre elles correspondent aux horizons qui ont le pourcentage de sodium échangeable assez élevé et le reste des horizons présente une stabilité structurale moyenne.

La majeure partie des horizons ont une perméabilité hydraulique lente à assez lente sauf pour l’horizon de profondeur où elle est moyenne ( $K=4$  cm/h).

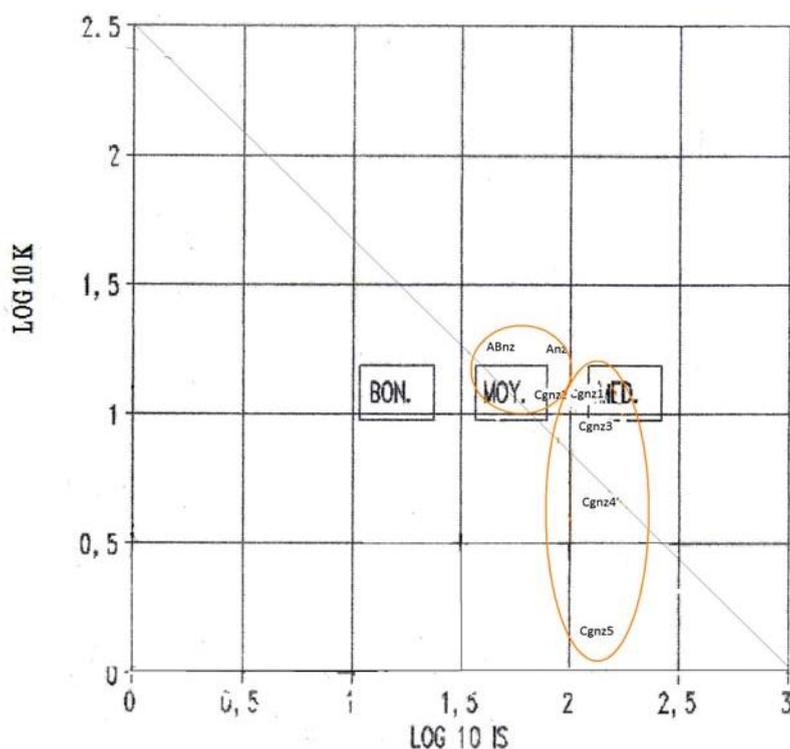


Figure 18. Combinaison entre la stabilité structurale et la perméabilité hydraulique du profil 2

1. 2. 3. 4. La solution du sol

Les résultats analytiques et statistiques de la solution du sol sont indiqués dans les tableaux XXV et XXVI.

Tableau XXV. Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 2

Horizons	pH	CE (dS/m)	Na <sup>+</sup> (meq/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)	Ca <sup>++</sup> (meq/l)	Mg <sup>++</sup> (meq/l)	Σ <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup> (meq/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	Σ <sup>-</sup>	SAR
Anz	7.87	143	950.09	5	115.25	476.25	1546.5	1345	1	205.44	1551.44	55.2
ABnz	8.01	32	250.65	2.57	26.67	106.25	386.15	367	6	8.56	381.56	30.7
Cgnz1	8.22	75.1	360.65	4.54	60.25	320.5	745.94	675	3	73.04	751.04	26.1
Cnz2	8.32	72	350.30	2.88	50.75	286.38	690.31	654	16	25.68	695.68	27
Cgnz3	8.62	94.2	422.35	4	100.25	350.92	877.52	730	17	135.08	882.08	28.1
Cgnz4	8.56	76.6	355.57	5.81	79.75	290.12	731.25	660	6	70.52	736.52	26.1
Cgnz5	8.03	80	355.83	5.14	85.25	295.25	741.47	678	3	65.72	746.72	25.8
Cgnz6	8.76	100	365	5.30	105.2	298	882.26	743	3.00	130.31	876.31	25.7

Tableau XXVI. Statistiques descriptives du pH et CE du profil 2

Paramètres	pH	CE (dS/m)
Maximum	8.76	143
Minimum	7.87	32
Moyenne	8.30	74.32
CV (%)	4	50

### - La conductivité électrique

Le tableau XXV et la figure 19 révèle que le profil 2 est très fortement salin ( $32 < CE < 143$  dS/m). Il est important de remarquer que l'horizon Anz présente la plus forte salinité (143 dS/m) alors que l'horizon de sub-surface ABnz la plus faible salinité (32dS/m), les horizons Cgnz1 à Cgnz6 sont 2 à 3 fois plus salins que l'horizon de sub-surface ABnz.

Cette dynamique saline caractérise les sols influencés par une nappe salée peu profonde qui est localisée dans les zones basses, car notre profil en question se situe dans une dépression caractérisée par la présence d'une nappe salée avec une ( $CE=60$  dS/m) qui se trouve à une profondeur de 1.6 m du sol, de plus la texture de l'horizon de surface renferme 40 % d'argile, sa CE est de 143 dS/m. Si le terrain est très légèrement ondulé et la texture fine, les sels s'accumulent dans les point hauts (Franzen, 2005).

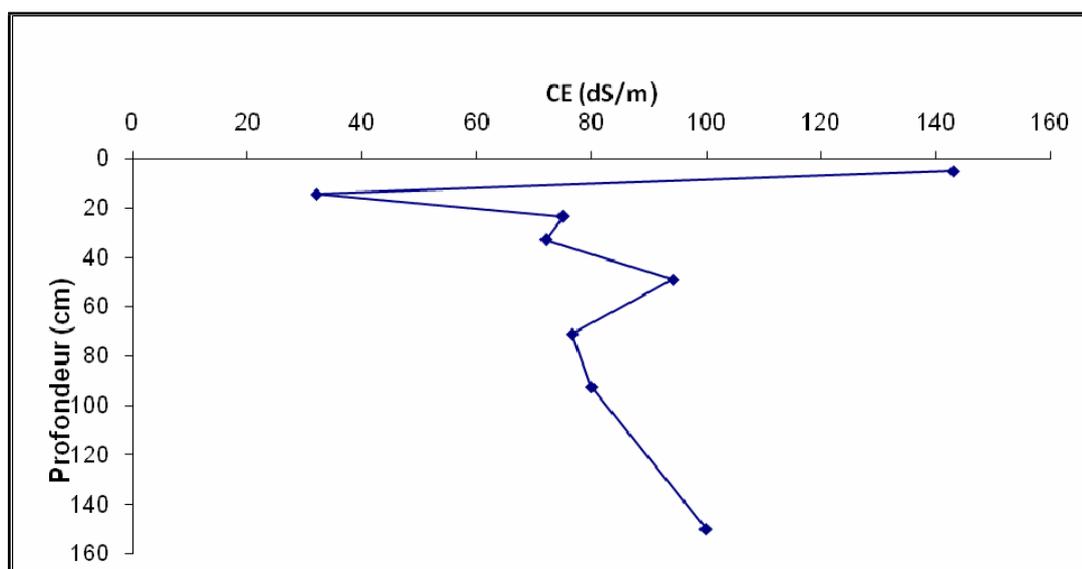


Figure 19. Distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 2

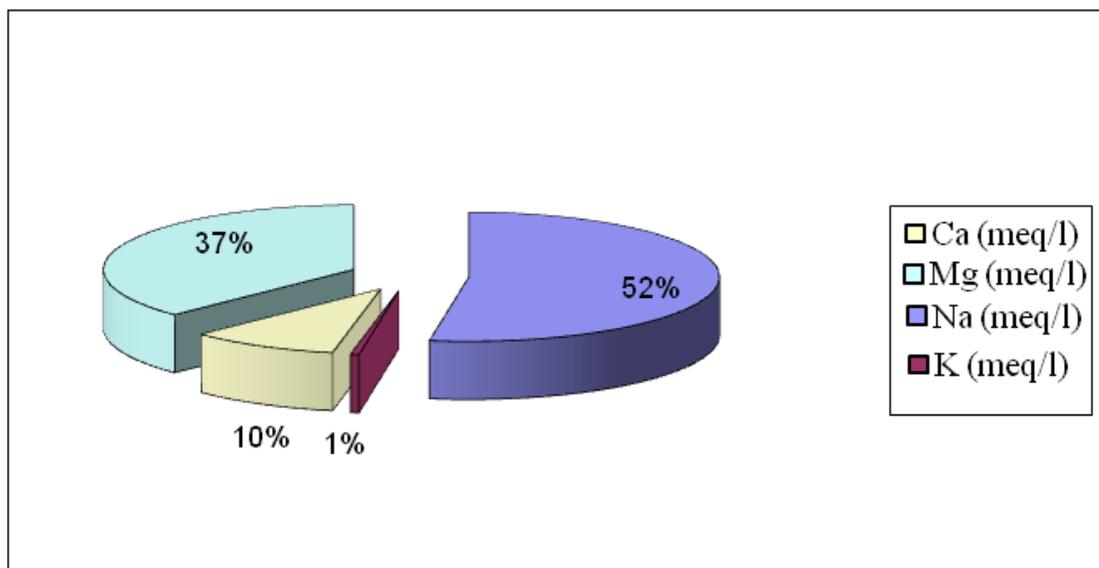
### - Le pH

Le pH est partout alcalin et varie entre 7.87 et 8.76. La nappe peut avoir une influence particulière sur la valeur extrême du pH de l'horizon de profondeur C<sub>6</sub>.

### - Les cations

Avec des concentrations qui varient entre 250 et 950 meq/l (tableau XXV), le Na<sup>+</sup> occupe en moyenne, plus de la moitié (52%) des cations de la solution du sol. Il est suivi par le Mg<sup>++</sup>, le Ca<sup>++</sup> et le K<sup>+</sup> qui représentent respectivement 37%, 10%, et 1% des cations de la solution du sol (figure 20).

Nous notons que les taux du Mg<sup>++</sup> sont les plus forts que ceux du Ca<sup>++</sup>. Ce résultat suggère que le classement des cations selon leur prédominance est de type Na<sup>+</sup> > Mg<sup>++</sup> > Ca<sup>++</sup> > K<sup>+</sup>



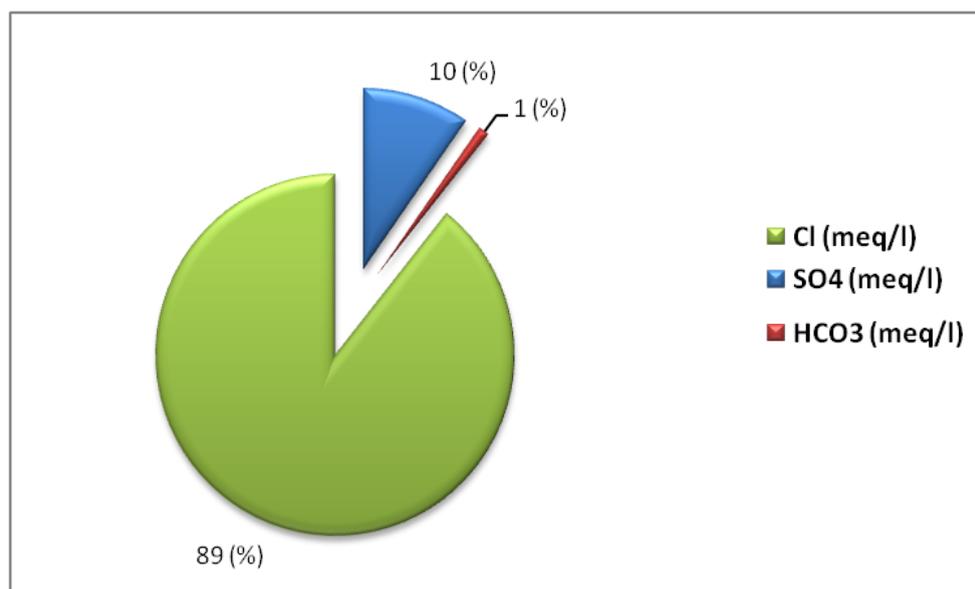
**Figure 20. Répartition moyenne des cations dans la solution du sol du profil 2**

### - Les anions

Avec des valeurs qui varient entre 367 et 1345 meq/l l'ion Cl<sup>-</sup> est de très loin le plus abondant, il représente 89 % de la somme totale des anions (tableau XXV et figure 21). Les ions SO<sub>4</sub><sup>-</sup> se situent en deuxième position avec des teneurs variant de 8 à 205 meq/l. Les ions HCO<sub>3</sub> ne représentent que 1% avec des teneurs qui oscillent entre 1 et 17 meq/l.

De ce fait, l'ordre de classement des anions selon leur prédominance est le suivant :

$\text{Cl}^- > \text{SO}_4 > \text{HCO}_3$



**Figure 21. Répartition moyenne des anions dans la solution du sol du profil 2**

#### - Le SAR

Les valeurs du SAR varient entre 25 et 55 (tableau XXV). Le risque de sodicité est donc très élevé. En général, les valeurs de l'ESP et du SAR sont concordantes.

#### 1. 2. 4. Synthèse des résultats analytiques et morphologiques

Le profil 2 se caractérise par une structure polyédrique moyenne à grossière dans l'horizon de surface qui devient rapidement grossière et massive vers le bas. Il se caractérise également par la présence de très nombreuses taches blanchâtres correspondant probablement aux accumulations salines.

La présence de taches d'oxydoréduction dans les horizons de profondeur constitue un trait morphologique et pédogénétique important de ce sol et témoigne de la présence d'une nappe à faible profondeur.

La texture est dominée par les argiles (42%) et les limons (51%) dans la partie supérieure du profil et par les limons dans la partie médiane. Les sables sont très peu représentés, mais ils sont dominants à la base du profil passant de 13% à 76.73%. Enfin, ce profil est partout calcaire avec des taux qui se situent autour de 20%.

Le profil 2 se caractérise aussi par une très forte salinité et une forte sodicité ( $15\% < ESP < 56\%$ ) sur l'ensemble des horizons ( $32 \text{ dS/m} < CE < 143 \text{ dS/m}$ ).

Le sodium (52%) et les chlorures (89%) sont les ions les plus dominants dans la solution du sol. Le faciès chimique est de type chloruré-sodique.

### 1. 2. 5. Classification du profil 2

L'analyse des résultats morphologiques et analytiques (tableaux XX et XXV) suggère que ce sol remplit les conditions de critères diagnostiques du groupe solonchak tels qu'ils sont définis par la WRB (tableau XXVII).

**Tableau XXVII. Critères diagnostiques du profil 2**

<b>E (cm)</b>	<b>CE (dS/m)</b>	<b>pH</b>	<b>(CE × E)</b>
150 > 15	74 > 15	3.5 < pH < 8.5	11100 > 450

E : épaisseur de l'horizon salique.

En effet, l'épaisseur de l'horizon salé est supérieure à 15 cm (150 cm) et la CE est supérieure à 15 dS/m (74 dS/m) pour un pH compris entre 3.5 et 8.5. Par ailleurs, le produit  $E \times CE$  est supérieur à 450 (11100). De ce fait, le sol 2 est un solonchak.

Pour classer ce sol à un niveau avancé dans la WRB (2006), nous avons adopté les préfixes et suffixes suivants :

- Hypersalic : la conductivité électrique est supérieure à 30 dS/m dans au moins

un sous-horizon situé dans les 100 premiers cm du sol. Dans le profil 2, tous les horizons ont une  $CE > 30 \text{ dS/m}$  ( $30 \text{ dS/m} < CE < 143 \text{ dS/m}$ ) (tableau XXV) donc, le profil 2 c'est un hypersalic.

- Sodic : il y a plus de 15 % de sodium échangeable sur le complexe d'échange dans les 50 premiers cm de la surface du sol. Tous les horizons étudiés du profil 2 présentent un taux de sodium échangeable supérieur à 15% (tableau XXI). Le profil 2 est donc sodic.
- Chloridic : les chlorures constituent l'ion prédominant dans la solution du sol (89%) du profil d'où le suffixe chloridic.
- Clayic : présence d'une couche de texture argileuse de 30cm ou plus dans les 100 premiers cm du sol. Le taux d'argile du profil étudié se situe autour de 35% d'une épaisseur de 33 cm (tableau XII) c'est un clayic.
- Gleyic : il y a plus de 5% de taches de couleur d'oxydation dans les 100 premiers cm de profondeur. De ce fait le profil étudié est un gleyic.

De ce fait, le sol étudié est un Hypersalic Gleyic Solonchak (Sodic, Chloridic, Clayic).

Il correspond aux sols salins à complexe sodique de la classification CPCS (1967) et un typic haplosalids dans la classification USDA (2006).

### **1. 3. Morphologie et propriétés du profil 3**

#### **1. 3. 1. Les données générales**

Le profil 3 se situe dans la station de l'I.N.R.A. de Hmadna, dans une parcelle limitée au nord par un drain tertiaire, à l'ouest par un drain secondaire et à l'est par un autre drain secondaire.

Les coordonnées géographiques sont 0° 44' 59,6'' de longitude Est et 35° 57' 47,5'' de latitude Nord.

Date de description: 10/11/2008.

Temps : Ciel clair.

Altitude 48m +ou- 4m.

Précédent climatique : il a plu environ 25 mm dans la région les jours précédents.

Topographie : Terrain plat.

Matériaux originels : Alluvions.

Etat de surface du sol : Terrain jamais cultivé (friche), présence de croûtes de battance ayant tendance à se soulever (photo 8).



**Photo 8. Etat de surface**

Végétation : Végétation assez dense constituée exclusivement de *Sueda fruticosa* (photo 9).

A première vue du profil, nous avons remarqué la présence d'une structure dégradée avec quelques caractéristiques vertiques ; nous remarquons également que le développement des racines est limité par un horizon tassé, compact à partir duquel commencent des accumulations apparemment salines (Photo 10).



**Photo 9. Végétation**

### 1. 3. 2. Description morphologique du profil 3

**A** : 0 - 17 cm : frais à humide ; couleur 7,5YR 5/4 à l'état humide ; argileux ; structure polyédrique sub-angulaire moyenne à grossière ; peu compact ; poreux ; collant ; plastique ; absence d'éléments grossiers ; présence de fentes de retrait ; absence d'éléments secondaire ; présence de racines de pénétration horizontale ; organique ; faible activité biologique ; vive effervescence à l'HCl généralisée ; transition nette.

**Bgnz** : 17 - 115 cm : sec au sommet et frais à sa base ; couleur 10YR 5/4 à l'état humide ; argileux ; structure prismatique très grossière qui se délite en structure polyédrique angulaire très grossière ; en général structure dégradée ; poreux (pores très fin) ; compact ; collant ; plastique ; non friable ; absence d'éléments grossiers ; présence de fentes de retrait d'un cm de largeur et qui se rétrécissent vers la base, distance entre les fentes est de 5 à 10 cm (individualisation du manganèse probablement) à la base de l'horizon ; présence de taches blanchâtres à partir de 20 à 30 cm sous forme de pseudo-mycéliums correspondant probablement à des accumulations salines avec un maximum de concentration à la surface de l'horizon ; très peu organique ; faible activité biologique ; présence de taches d'oxydoréduction ; présence de dendrite vive effervescence à l'HCl ; transition progressive.



**Photo 10. Profil 3**

**Cgnz** : 115 - 150 cm : frais ; couleur 10YR 5/6 à l'état humide; argileux ; structure massive à éclat anguleux ; compact ; poreux ; peu friable ; collant ; plastique ; absence d'éléments grossiers; non organique; faible activité biologique ; présence de signes d'hyromorphie sous forme de taches d'oxydoréduction grisâtres, noirâtres, ocre et rouilles ; les taches noirâtres sous forme de dendrites ; présence de moins de 1% de la matrice d'accumulations blanchâtres (probablement saline) sous forme de pseudo-mycéliums ; vive effervescence à l'HCl.

Ce profil est développé sur les alluvions de l'oued Chlef. Il est constitué de trois horizons, le deuxième horizon étant bien développé.

Le profil 3 est un profil profond (>150 cm) de type A/B/C. la structure dégradée de l'horizon B, la texture argileuse, les fentes de retrait (photo 11), les accumulations salines et les taches d'oxydo-réduction sont les principales caractéristiques de ce profil.



**Photo 11. Fente de retrait**

### 1. 3. 3. Résultats des analyses

#### 1. 3. 3. 1. Les constituants du profil 3

Vu l'épaisseur importante de l'horizon Bgnz, nous avons subdivisé arbitrairement cet horizon en trois couches, Bgnz1, Bgnz2, Bgnz3, pour mieux suivre la salinité à travers le profil, sinon elles présentent les mêmes caractéristiques morphologiques.

Les résultats analytiques et statistiques sont présentés dans les tableaux XXVIII, XXIX.

**Tableau XXVIII. Gypse, CaCO<sub>3</sub>, MO, N, C/N, et granulométrie du profil 3**

Horizons	profondeur (cm)	gypse (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	MO (%)	N (%)	C/N	Argile (%)	Sables (%)	Limons (%)	
A	0-17	0	17	1.8	0.07	16	47.7	< 1	47.5	
Bgnz	Bgnz1	17-50	0.5	17.2	1.5	0.06	15	54	< 1	46.5
	Bgnz2	50-82	0.5	15.9	1.3	0.07	11	55.8	< 1	41
	Bgnz3	82-115	1.2	17.9	0.1	/	/	55.5	< 1	40
Cgnz	115-150	0.8	14.4	0.2	/	/	57.6	< 1	39.2	

**Tableau XXIX. Statistiques descriptives des paramètres étudiés du profil 3**

Paramètres	gypse (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	MO (%)	N (%)	Argiles (%)	Limons (%)
Maximum	1.2	17	1.8	0.07	55.8	47.3
Minimum	0	14.5	0.1	0.06	47.7	39.2
Moyenne	0.5	16.5	1	0.06	54.1	43
CV (%)	86	8	81	0	7	9

#### - Le gypse

Les teneurs en gypse dans le profil sont très faibles; elles varient entre 0% en surface et 1% en profondeur (tableau XXVIII).

**- Le calcaire**

Les teneurs en CaCO<sub>3</sub> varient peu dans le profil, elles oscillent entre 14.5 et 17 % (tableau XXX) avec une moyenne de 16.5 %. La distribution de ces carbonates est pratiquement homogène dans le profil. D'une manière générale, ce dernier est moyennement calcaire.

**- La teneur en matière organique**

Les teneurs en matière organique varient entre 0.1 à la base du profil et 1.8% au sommet (tableau XXX). Elles sont relativement élevées dans les horizons de surface et de sub-surface, elles diminuent vers la profondeur. D'une manière générale, elles sont faibles dans le profil par rapport au taux d'argile de chaque horizon.

**- La teneur en azote total**

La teneur en azote est très faible dans le profil, sa présence est décelable au niveau des horizons de surface et de sub-surface avec des taux variant respectivement de 0.06 à 0.07 % (tableau XXVIII). Sa variation dans le profil semble liée à celle de la teneur en matière organique.

**- Le rapport C/N**

Les valeurs du rapport C/N pour l'horizon de surface et les couches Bgnz1, Bgnz2 sont respectivement de 16, 15, 11 (tableau XXVIII). Ceci indique une minéralisation de la matière organique qui est assez lente pour l'horizon de surface et la couche Bgn1, cependant le rapport C/N montre une bonne minéralisation pour la couche Bgnz2.

**- La granulométrie**

Le tableau XXVIII et la figure 22, montrent que les argiles et les limons ont des teneurs élevées qui varient respectivement de 48 à 58 %, et de 39 à 48 %. Cependant, le taux de sable est très faible pour les horizons de surface et pour les horizons de profondeur il est inférieur à 1%, la texture de tous les horizons est argilo-limoneuse.

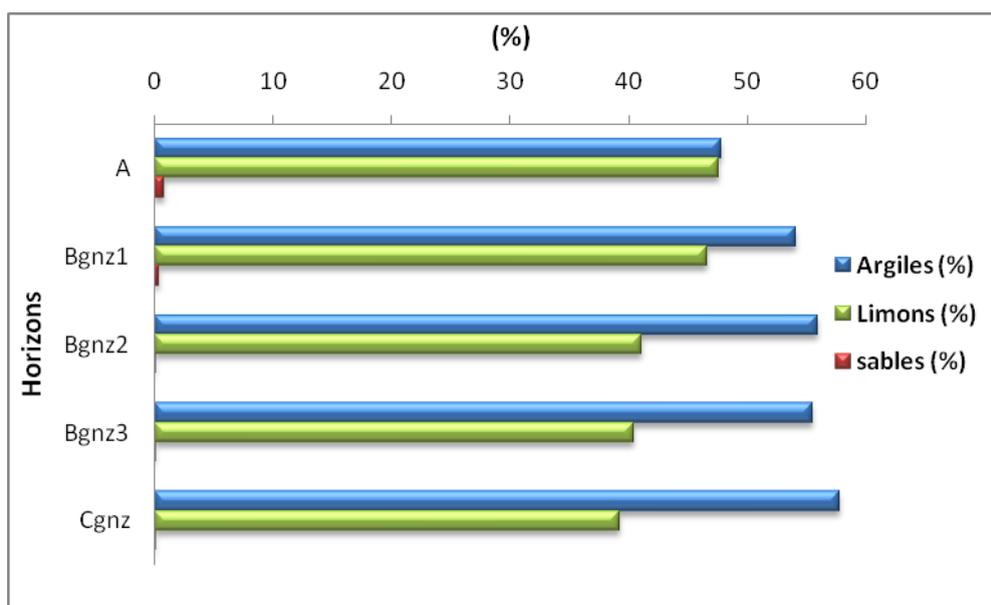


Figure 22. Répartition des fractions granulométriques dans le profil 3

### 1. 3. 3. 2. Le complexe adsorbant

Les résultats des analyses de la CEC et des bases échangeables figurent dans le tableau XXX.

Tableau XXX. CEC et bases échangeables du profil 3

Horizons	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Σ	Taux de saturation	ESP	CEC	
	Cations échangeables (cmol(+)/kg)					(%)		(cmol(+)/kg)	
<b>A</b>	1,70	13,65	8,08	0,38	23,81	100	8	21	
<b>Bgnz</b>	<b>Bgnz1</b>	2,96	7,6	3,67	0,92	15,15	80	16	19
	<b>Bgnz2</b>	4,52	8,45	2,75	0,59	16,31	91	26	18
	<b>Bgnz3</b>	3	8,55	4,00	0,49	16,04	94	18	17
<b>Cgnz</b>	3,78	8,75	7,42	0,51	20,46	85	16	24	

### - La capacité d'échange cationique CEC

Les valeurs de la capacité d'échange cationique varient entre 17 et 24 cmol (+)/kg de terre (tableau XXX). D'une manière générale, elle semble liée à celle de la teneur en argile.

### - Les bases échangeables

La configuration cationique du complexe adsorbant (tableau XXX et figure 23) indique que le calcium constitue le cation échangeable majeur, il représente 37 à 67 % de la CEC.

Le magnésium occupe une part appréciable de la capacité d'échange cationique avec des valeurs qui oscillent entre 16 et 39 % alors que celles du potassium sont faibles (2 à 5 %). Le taux de sodium échangeable ESP présente des teneurs variables (8%<ESP< 26%). Tous les horizons sont sodiques (ESP>15%), sauf le premier (ESP= 8%) qui est d'ailleurs le moins salé (CE=3.6 dS/m).

Cependant le taux de saturation varie entre 80 et 113 % de la capacité d'échange cationique, cette sous estimation des bases serait dûe à une sous estimation du potassium éventuellement.

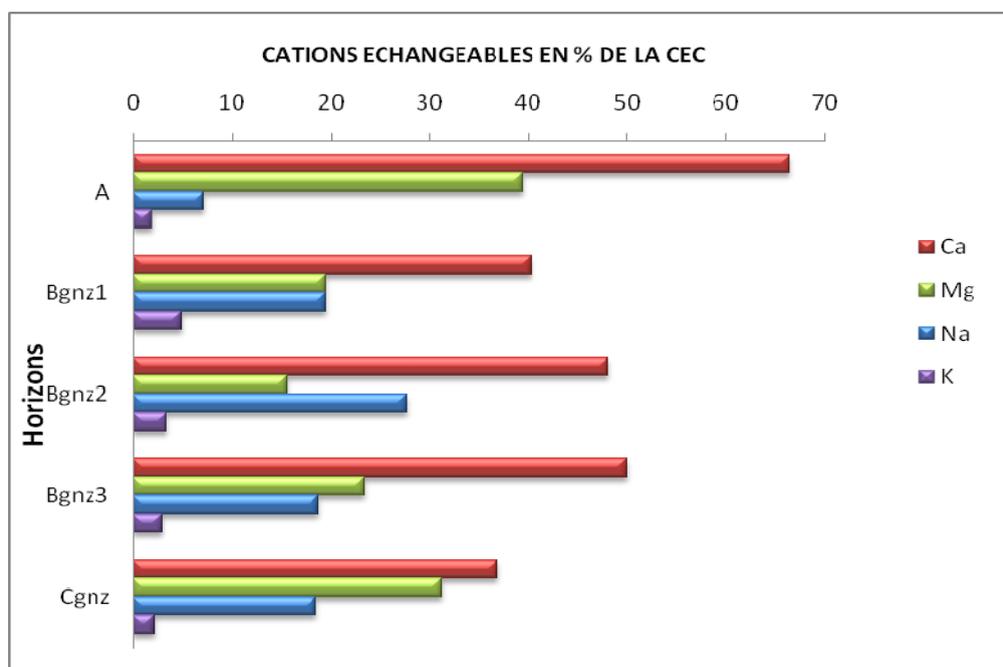


Figure 23. Garniture cationique du complexe adsorbant des horizons du profil 3

**1. 3. 3. 3. Le Potentiel de l’eau, la stabilité structurale et la perméabilité hydraulique**

Les résultats analytiques et statistiques obtenus sont présentés dans les tableaux XXXI et XXXII.

**Tableau XXXI. Résultats des analyses de la perméabilité hydraulique, la stabilité structurale et le potentiel de l’eau du profil 3**

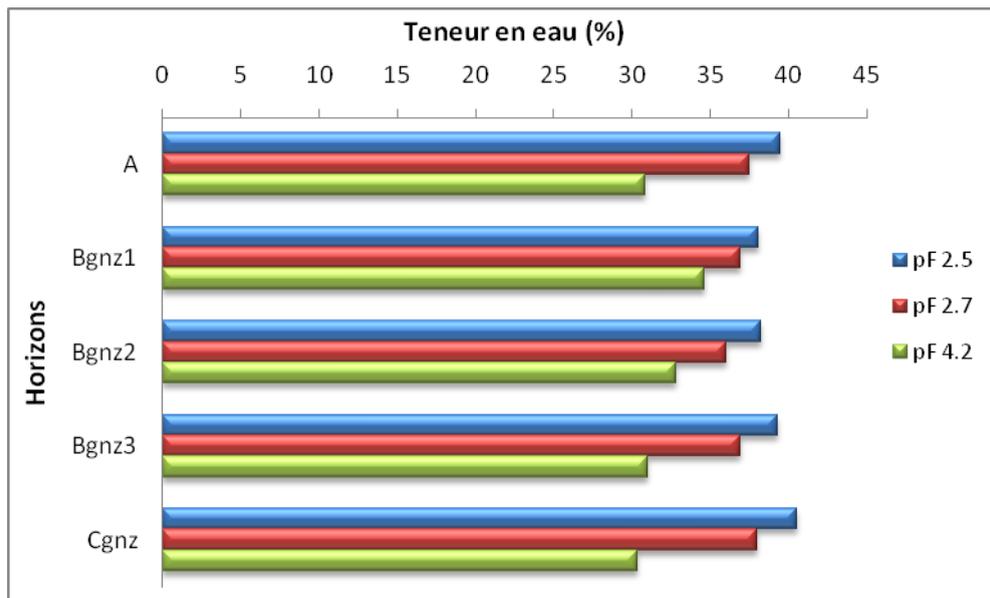
Horizons		K (cm/h)	Log 10 K	Is	Log 10 Is	pF 2.5	pF 2.7	pF 4.2
A		7.71	1.89	0.69	0.84	41.45	39.51	30.85
Bgnz	Bgnz1	3.42	1.53	10.43	2	39.11	36.96	34.62
	Bgnz2	1.25	1.1	10.43	2	38.25	36.01	32.78
	Bgnz3	1.84	1.26	10.45	2	39.30	36.94	31.04
Cgnz		1.89	1.28	2.68	1.5	40.53	38.03	30.31

**Tableau XXXII. Statistiques descriptives des paramètres étudiés du profil 3**

Paramètres	K (cm/h)	Log 10 K	Is	Log 10 Is	pF 2.5	pF 2.7	pF 4.2
Maximum	7.71	1.89	10.45	2	40.53	38.03	34.62
Minimum	1.25	1.1	0.69	0.84	38.11	36.01	30.31
Moyenne	3.22	1.41	6.93	1.67	39.13	37.09	31.92
CV (%)	81.5	22	70	31	2.5	2	5.5

**- La teneur en eau aux différents potentiels**

Les teneurs en eau dans le profil (tableaux XXXII, XXXI et figure 24) varient aux différents potentiels (pF 2.5, pF 2.7, pF 4.2) respectivement entre 38 et 40.5 %, 36 et 38 % et 30 et 34%. Nous remarquons qu’il n’y a pas de différences significatives entre les teneurs en eau des différents horizons, probablement à cause de l’homogénéité des taux d’argile dans le profil.



**Figure 24. Variation des teneurs en eau des horizons aux différents potentiels du profil 3**

#### **- La stabilité structurale et la perméabilité hydraulique**

La figure 25 montre que tous les horizons ont une stabilité structurale médiocre. Néanmoins, l'horizon A a une bonne stabilité structurale car l'ESP est le plus faible dans tout le profil (ESP=8%). Bien que l'ESP pour les couches Bgnz1, Bgnz2, Bgnz3 soit relativement élevé, le test de perméabilité hydraulique (tableaux XXXI et XXXII) montre que pour les couches Bgnz1, Bgnz2, Bgnz3, elle est d'une manière générale, moyenne à assez lente, exception faite pour l'horizon de surface dont la perméabilité hydraulique est assez forte. Nous pouvons expliquer cela par la CE (3.6 dS/m) et l'ESP (ESP = 8%) qui sont relativement faibles.

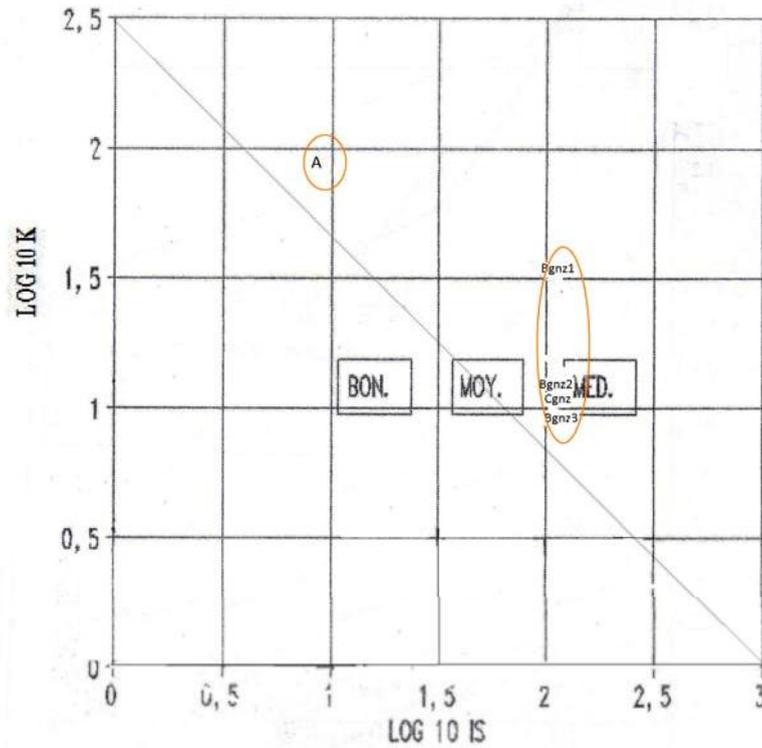


Figure 25. Combinaison entre la stabilité structurale et la perméabilité hydraulique du profil 3

1. 3. 3. 4. La solution du sol

Les résultats analytiques et statistiques de la solution du sol sont présentés dans les tableaux XXXIII et XXXIV.

Tableau XXXIII. Caractéristiques analytiques de la solution du sol du profil 3

Horizons	pH	CE (dS/m)	Na <sup>+</sup> (meq/l)	K <sup>+</sup> (meq/l)	Ca <sup>++</sup> (meq/l)	Mg <sup>++</sup> (meq/l)	Σ <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup> (meq/l)	HCO <sub>3</sub> (meq/l)	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (meq/l)	Σ <sup>-</sup>	SAR	
<b>A</b>	8.31	3.65	20.6	0.85	1.52	8.58	31.55	20	5	12	37	12.2	
<b>Bgnz</b>	<b>Bgnz1</b>	7.67	45.3	249.57	0.76	101.75	107.08	459.15	413	1	50.20	464.20	24.4
	<b>Bgnz2</b>	7.84	50.3	227.83	0.96	152.50	132.13	513.41	504	6	8.56	518.56	19
	<b>Bgnz3</b>	7.49	42.2	261.09	0.50	105.68	124.58	491.85	355	6	128.40	489.40	24.3
<b>Cgnz</b>	7.5	44.7	263.26	0.23	127.50	128.46	519.45	428	1	85.60	514.60	23.2	

Tableau XXXIV. Statistiques descriptives des paramètres étudiés du profil 3

Paramètres	pH	CE (dS/m)
Maximum	8.31	50.3
Minimum	7.49	3.65
Moyenne	7.76	37.23
CV(%)	4	64

#### - La conductivité électrique

La distribution des sels en fonction de la profondeur (tableau XXXIII et figure 26) montre une forte salinité au niveau de la partie médiane du profil (CE=50 dS/m). La salinité est relativement faible au niveau de l'horizon de surface avec une conductivité électrique de 3.65 dS/m. Cette faible salinité serait due à une lixiviation des sels suite aux dernières fortes chutes de pluie, et qui se seraient accumulés au niveau de l'horizon Bgnz provoquant une augmentation de la salinité (CE=50 dS/m). Cet horizon est caractérisé par une salinité maximale qui diminue sensiblement pour atteindre une valeur de 42 dS/m. Par la suite, nous notons une légère augmentation de la CE au niveau de l'horizon de profondeur (44 dS/m). Ce résultat indique que le profil salin est convexe.

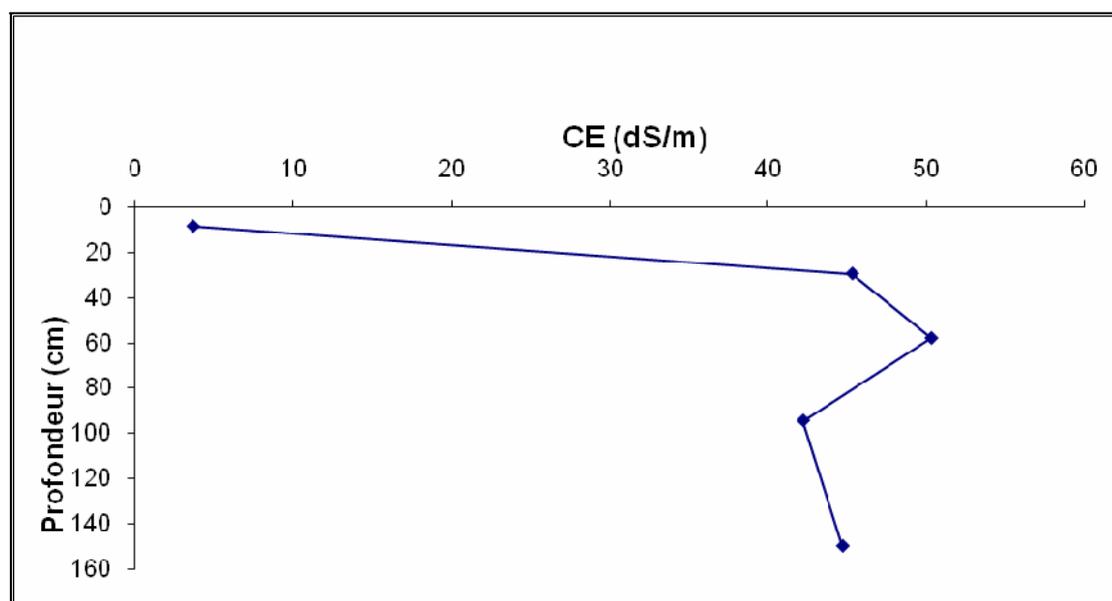


Figure 26. Distribution des sels en fonction de la profondeur du profil 3

**- Le pH**

Les valeurs du pH varient entre 7.5 et 8.31 avec une moyenne de 7.76 (tableau XXXIV). En général, la réaction du sol est alcaline, et les variations du pH ne semblent pas être liées aux variations des teneurs en carbonates de calcium.

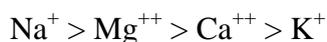
**- Le SAR**

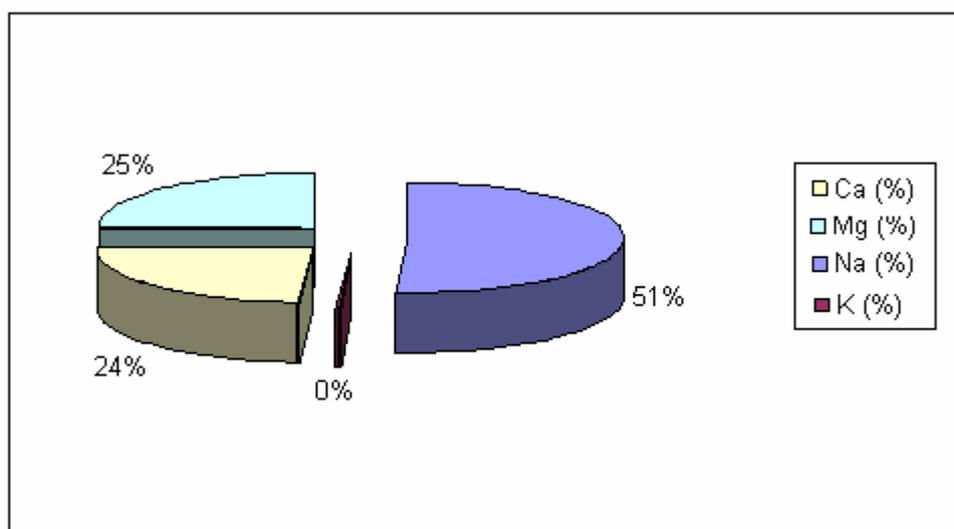
Les valeurs du SAR varient de 12 pour l'horizon de surface à 24 pour l'horizon de sub-surface (tableau XXXIII), le premier horizon présente un SAR relativement faible par rapport aux autres horizons à cause probablement de sa CE qui n'est pas très élevée (CE=3.6). Cependant, le SAR des autres horizons est très élevé d'où l'important risque de sodicité.

**- Les cations**

Parmi tous les cations de la solution du sol (XXXIII et figure 27), le cation  $\text{Na}^+$  est le plus représenté avec un taux moyen de 51% et une concentration qui varie entre 263 meq/l et 20 meq/l. Le  $\text{Mg}^{++}$  vient en deuxième position avec un taux de 25% avec des teneurs qui varient entre 8.58 meq/l et 132 meq/l. Le  $\text{Ca}^{++}$  se situe en troisième position avec un taux de 24% et des concentrations qui varient entre 1.52 meq/l et 152 meq/l, alors que le  $\text{K}^+$  vient en dernière position avec un taux de 0.98%, et des teneurs qui varient entre 0.85 meq/l et 2.4 meq/l.

De ce fait, le classement des cations selon, leur prédominance, est de type :





**Figure 27. Répartition moyenne des cations dans la solution du sol du profil 3**

#### - Les anions

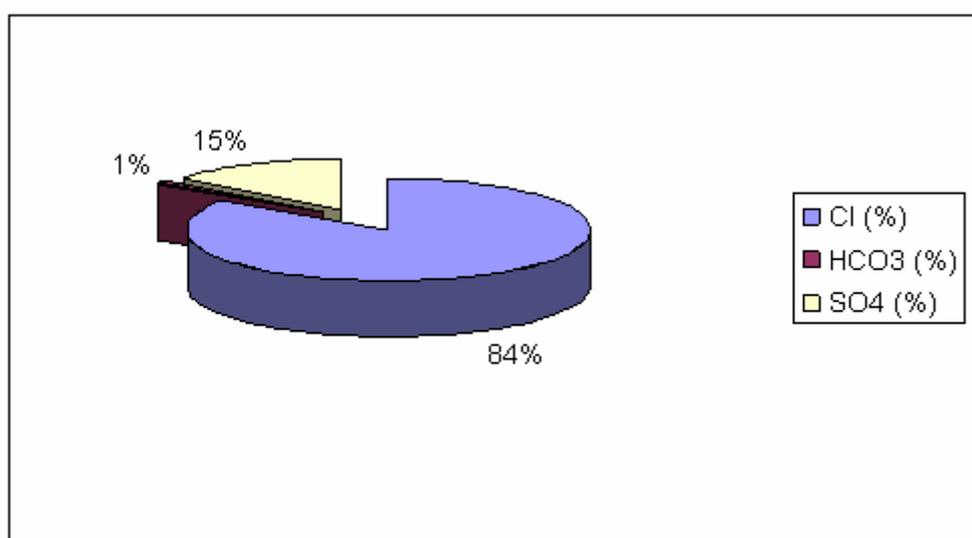
L'ion prédominant dans la solution du sol est le  $\text{Cl}^-$  (XXXIII et figure 28). Il représente en moyenne 84% de la somme totale des anions avec des valeurs qui varient entre 20 meq/l et 428 meq/l. Les  $\text{SO}_4^{2-}$  se situent en deuxième position (15%) avec des teneurs qui varient entre 12 meq/l et 128 meq/l. Les ions bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$ , qui ne présentent que 1% ont des teneurs oscillant entre 1 meq/l et 6 meq/l.

De ce fait, l'ordre de classement des anions selon la prédominance est de type



Le faciès chimique de la solution du sol du profil 3 est donc de type chloruré-sodique.

Ce faciès chimique correspond à la voie saline neutre.



**Figure 28. Répartition moyenne des anions dans la solution du sol du profil 3**

#### 1. 3. 4. Synthèse des résultats morphologiques et analytiques

Les principales caractéristiques morphologiques du profil 3, sont sa structure dégradée qui est très remarquable et qui devient rapidement massive vers la base. Il se caractérise également par la présence de nombreuses taches blanchâtres correspondant probablement à des accumulations salines.

Enfin, la présence de signes d'hydromorphie surtout à la base du profil et des fentes de retrait constituent un trait morphologique et pédogénétique important de ce sol.

Par ailleurs, la texture est dominée par les argiles (47.7%) et les limons (47.5%) dans la partie supérieure du solum. Par contre, c'est dans les parties médiane et inférieure du solum que les argiles sont dominantes (57%). Les sables sont pratiquement inexistantes (<1%).

Enfin ce profil est partout calcaire avec des taux qui se situent autour de 16.5%.

Sur le plan analytique, le profil 1 se caractérise surtout par un profil salin convexe, très fortement salin (3.6 dS/m <CE< 50 dS/m), un pourcentage de sodium échangeable assez élevé (8% <ESP< 26%) et un SAR assez important (12<SAR<24). L'horizon de surface se distingue par un ESP et un SAR relativement faibles. Donc le

profil étudié est salé et sodique sauf pour le premier horizon qui n'est ni sodique ( $ESP < 15\%$ ), ni salé ( $CE < 4 \text{ dS/m}$ ).

Les chlorures (89%) et le sodium (51%) sont les ions les plus dominants dans la solution du sol. Le faciès chimique est de type chloruré-sodique.

### 1. 3. 5. La classification du profil 3

L'analyse des résultats morphologiques et analytiques (tableaux XXVIII et XXXIII) suggère que ce sol remplit les conditions des critères diagnostiques du groupe solonchak tels qu'ils sont définis par la WRB (2006) (tableau XXXV).

**Tableau XXXV. Critères diagnostiques**

E (cm)	CE (dS/m)	pH	(CE × E)
133 > 15	47 > 15	8.5 > pH > 3.5	6251 > 450

E : L'épaisseur de l'horizon salique.

En effet, l'épaisseur de l'horizon salé est supérieure à 15 cm (133 cm) et la CE également supérieure à 15 dS/m (47 dS/m) pour un pH compris entre 3.5 et 8.5.

Par ailleurs, le produit  $E \times CE$  est supérieur à 450 (6251). Ce résultat confirme que le profil 3 appartient au groupe des solonchaks

Pour classer notre sol à un niveau plus fin de la WRB, nous avons utilisé les préfixes et suffixes suivants :

- Hypersalic : la conductivité électrique est supérieure à 30 dS/m dans au moins un sous-horizon situé dans les 100 premiers cm du sol. Pour le profil 3, tous les horizons ont une  $CE > 30 \text{ dS/m}$ , sauf pour l'horizon de surface ( $CE = 3.6 \text{ dS/m}$ ) (tableau XXXIII). Donc le profil 3 est un hypersalic.
- Vertic : présence de caractère vertique, le profil étudié présente de fentes de retrait. Il est donc Vertique.

- Sodic : il y a plus de 15 % du sodium échangeable sur le complexe d'échange dans les 50 premiers cm de la surface du sol, le profil étudié a un taux de sodium échangeable supérieure à 15% sur une épaisseur compris entre 17 et 150 cm ( $16 < ESP < 26$ ) (tableau XXIX). Il est donc sodic.
- Chloridic : les chlorures sont prédominants dans la solution du sol (84%) (tableau XXXIII). Donc il est Chloridic.
- Clayic : présence d'une couche de texture argileuse de 30cm ou plus dans les 100 premiers cm du sol. Le taux d'argile se situe autour de 50% sur une épaisseur de 33 cm (tableau XXVIII). Le profil 3 est donc clayic.
- Gleyic : il y a plus de 5% de taches de couleur d'oxydation dans les 100 premiers cm de profondeur. De ce fait le profil étudié est un gleyic.

Ainsi, le profil 3 est un Hypersalic Vertic Gleyic Solonchak (Sodic, Chloridic, Clayic)

Il correspond aux sols salins à complexe sodique de la classification CPCS (1967) et un typic haplosalids dans la classification USDA (2006).

L'étude des trois profils références de Relizane a montré qu'il n'y a pas de différences significatives entre eux. Ces solonchaks se caractérisent surtout par la présence de nombreuses taches blanchâtres correspondant probablement à des accumulations salines, la présence de signes d'hydromorphie surtout à la base du profil et une texture assez fine. Le profil 3 se distingue des autres profils par la présence de fentes de retrait. Ils sont également très fortement salés et très sodiques et la solution du sol est dominée par le sodium et les chlorures. Le faciès chimique de la solution du sol est partout chloruré-sodique et correspond à la voie saline neutre. Les préfixes hypersalic, gleyic et les suffixes sodic, chloridric, clayic sont retenus pour les trois profils. En plus de ces trois suffixes, le profil de la station de Hmadna est également vertic.

## 2. Relations entre la conductivité électrique et les paramètres physiques et chimiques des sols étudiés

Dans ce qui suit, il s'agit d'étudier la nature des relations existant entre la conductivité électrique et les paramètres physiques et chimiques tels que les teneurs en eau aux différents potentiels pF 2.5, pF 2.7, pF 4.2, le taux d'argile, l'indice d'instabilité structurale, la perméabilité hydraulique, les cations et les anions de la solution du sol, le pH, l'ESP et le SAR. Nous ne présentons graphiquement que les relations statistiquement significatives. Dans cette approche, nous avons étudié l'ensemble des échantillons sans tenir compte ni de leur appartenance ou type de sol, ni de leur position dans le profil

### 2. 1. Relations entre la conductivité électrique et les paramètres physiques

Les résultats statistiques des corrélations entre la conductivité électrique et les paramètres physiques sont présentés dans le tableau XXXVI.

**Tableau XXXVI. Corrélations entre la conductivité électrique et les différents paramètres physiques ( $r_c$  : r calculé ;  $r_t$  : r théorique)**

Relations	$ r_c $	$ r_t $	DDL	Signification	Seuil $\alpha$
CE, pF 2.5	0.18	0.46	16	NS	0.05
CE, pF 2.7	0.23	0.46	16	NS	0.05
CE, pF 4.2	0.44	0.46	16	NS	0.05
CE, Is	0.40	0.46	16	NS	0.05
CE, K	0.44	0.46	16	NS	0.05
CE, taux d'argile	0.57	0.46	16	S	0.05

### - Corrélation entre la CE et les teneurs en eau aux pF 2.5, pF2.7, pF 4.2, Is et K

Le tableau XXXVI indique que les différents potentiels de l'eau dans le sol, l'indice d'instabilité structurale et la perméabilité hydraulique n'ont aucune relation statistique significative avec la conductivité électrique.

Ce résultat signifie qu'apparemment, ces paramètres n'ont aucun effet sur la salinité des sols étudiés. En revanche, le tableau XXXVII et la figure 29 révèlent que la salinité est statistiquement bien corrélée ( $|r_c| = 0.57$  ;  $\alpha < 0.05$ ) aux taux d'argile selon la relation

$CE = -1.21\text{Argile}(\%) + 115.9$ . A l'inverse des conclusions de Djili (2000) et Touaf (2002), ce résultat qui est illustré par la figure 32 montre clairement que les échantillons les plus argileux sont les moins salés.

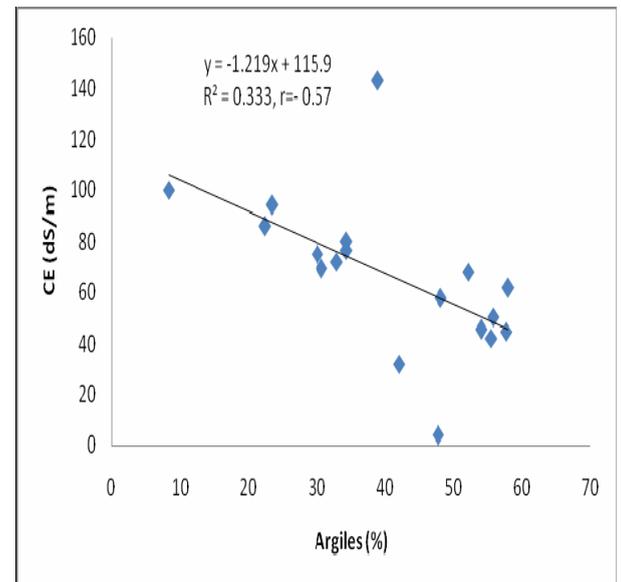


Figure 29. Relation entre la conductivité électrique et l'argile

Ceci peut s'expliquer par l'effet de la nappe salée, peu profonde, qui affecte des horizons de profondeur relativement moins argileux que ceux situés en surface. Ce phénomène serait accentué par la période d'étude, l'échantillonnage étant effectué en pleine saison humide (Novembre).

## 2. 2. Relation entre la conductivité électrique et les paramètres chimiques

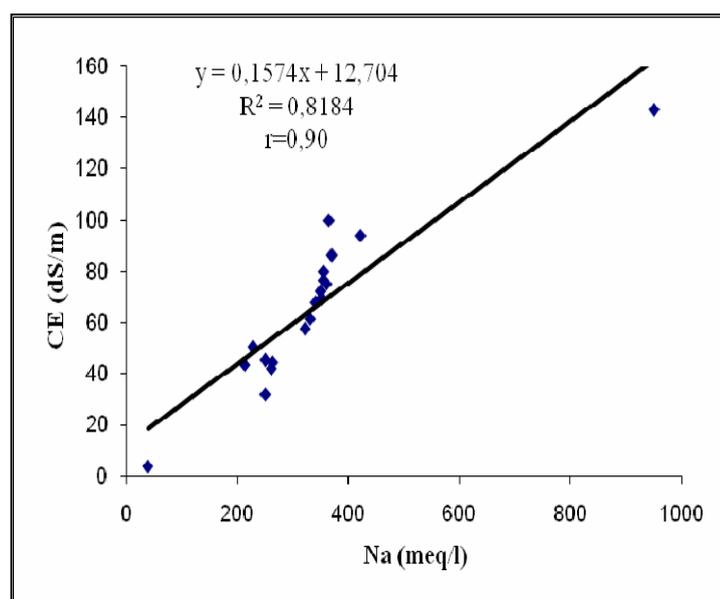
Les résultats statistiques des corrélations entre la conductivité électrique et les paramètres chimiques sont présentés dans le tableau XXXVII.

**Tableau XXXVII. Corrélations entre la conductivité électrique et les différents paramètres chimiques ( $r_c$  : r calculé ;  $r_t$  : r théorique)**

Relations	$ r_c $	$ r_t $	DDL	Signification	Seuil $\alpha$
CE, Na <sup>+</sup>	0.9	0.70	16	THS	0.001
CE, Mg <sup>++</sup>	0.96	0.70	16	THS	0.001
CE, Ca <sup>++</sup>	0.15	0.46	16	NS	0.05
CE, K <sup>+</sup>	0.36	0.46	16	NS	0.05
CE, Cl <sup>-</sup>	0.74	0.70	16	THS	0.001
CE, SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.68	0.58	16	HS	0.01
CE, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.01	0.46	16	NS	0.05
CE, ESP	0.53	0.46	16	S	0.05
CE, pH	0.29	0.46	16	NS	0.05
CE, SAR	0.78	0.70	16	THS	0.001

#### - Les cations de la solution du sol

Les résultats statistiques (tableau XXXVII) révèlent que la conductivité électrique est très fortement corrélée au sodium ( $r = 0.9$  ;  $p < 0.001$ ) et au magnésium ( $r = 0.96$  ;  $p < 0.001$ ). Ce résultat est bien illustré par les figures 30 et 31 qui montrent clairement que l'augmentation des teneurs du Na<sup>+</sup> et Mg<sup>++</sup> dans la solution du sol s'accompagne de celle de la CE.



**Figure 30. Relation entre la conductivité électrique et le Na<sup>+</sup>**

Les équations de la régression linéaire sont de type  $CE = 0.15 Na + 12.7$  (figure 31) et  $CE = 0.26 Mg + 12.7$ . Ce résultat signifie que les horizons dont la solution du sol est la plus riche en ces deux éléments sont les plus salés.

En revanche, le calcium et le potassium ne semblent pas jouer de rôle significatif dans la variation de la CE.

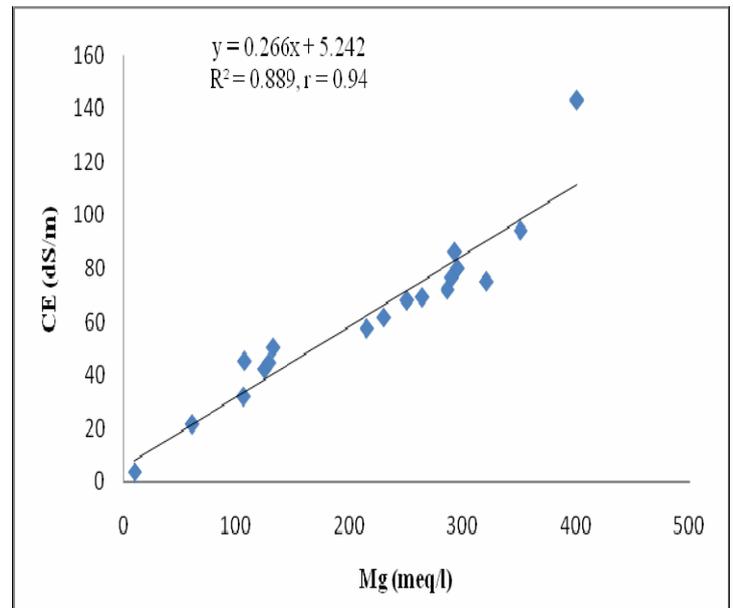


Figure 31. Relation entre la conductivité électrique et le  $Mg^{++}$

**- Les anions et les cations de la solution du sol**

Les résultats statistiques (tableau XXXVII) montrent que la relation entre la CE et les chlorures est très hautement significative ( $r = 0.74$  ;  $p < 0.001$ ) et celle entre la CE et les sulfates est hautement significative ( $r = 0.68$  ;  $p < 0.01$ ). Ce résultat est mis en évidence les figures 32 et 33 qui montrent que les échantillons les plus salés sont ceux dont la solution du sol est la plus riche en  $Cl^-$  et  $SO_4^-$

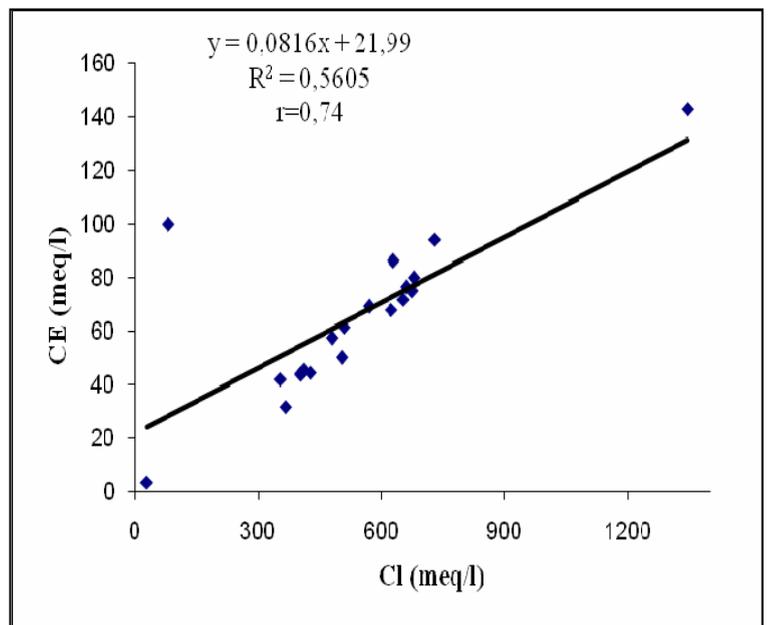


Figure 32. Relation entre la conductivité électrique et les ions  $Cl^-$

Les équations de régression linéaire sont de type  $CE = 0.08 Cl + 21.99$  pour les chlorures et de type  $CE = 0.39 SO_4 + 36.55$  pour les sulfates.

Les statistiques (tableau XXXVII) montrent que les bicarbonates n'ont aucun effet significatif sur la variation de la conductivité électrique.

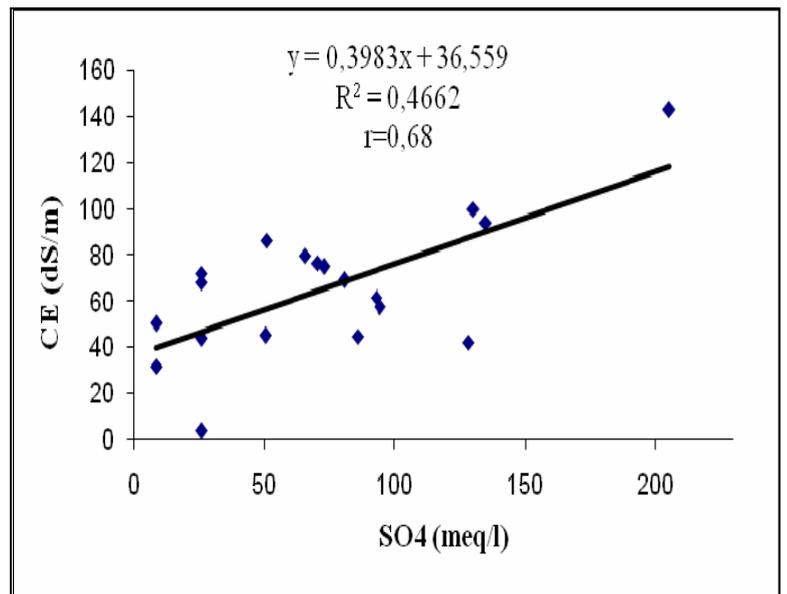


Figure 33. Relation entre la conductivité électrique et les ions  $SO_4^{2-}$

**- Relation entre la CE et le SAR**

Le tableau XXXVII indique que la relation entre la CE et le SAR est hautement significative ( $r = 0.78$  ;  $p < 0.001$ ). Ce résultat signifie qu'il existe une tendance à l'augmentation de la CE quand le SAR augmente comme cela est illustré par la figure 34. L'équation de la régression linéaire est de type  $CE = 2.88 SAR + 12.07$ .

Ce résultat concorde bien avec ceux obtenus pour le  $Na^+$  et le  $Mg^{++}$ , ces deux éléments étant des composants essentiels du SAR.

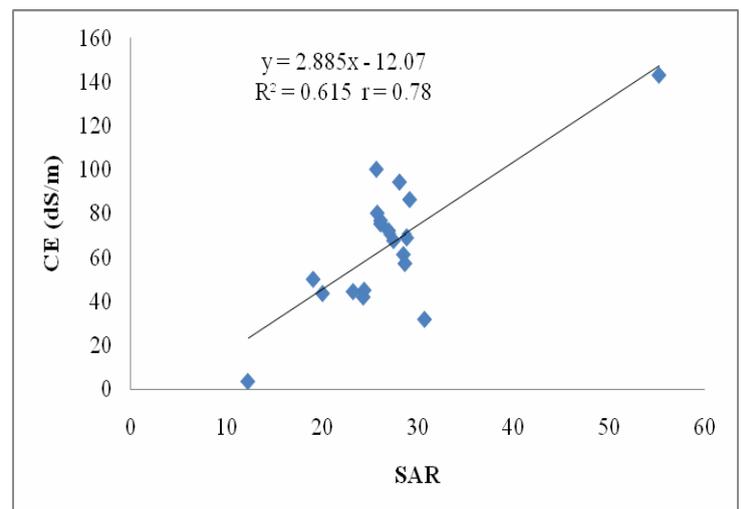
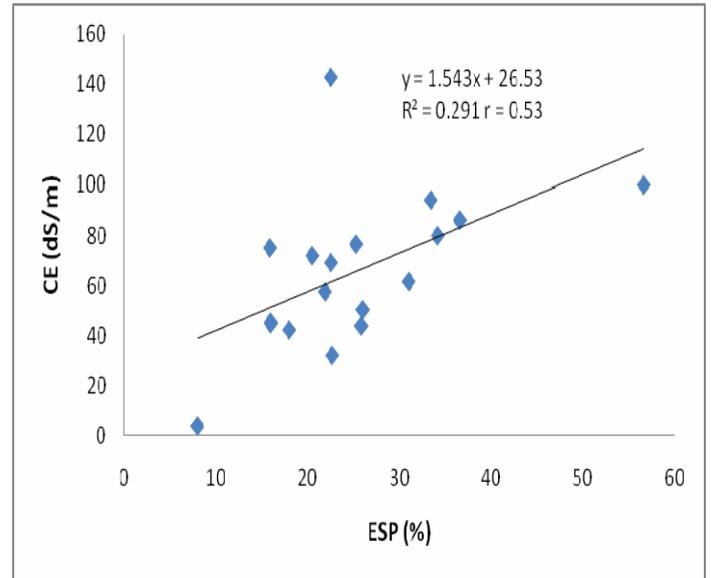


Figure 34. Relation entre la conductivité électrique et le SAR

**- Relation entre la CE et l'ESP**

Le tableau XXXVII indique que la relation entre la CE et l'ESP est statistiquement significative ( $r = 0.53$  ;  $p < 0.05$ ). Ce résultat signifie qu'il existe une tendance à l'augmentation de l'ESP quand la CE augmente, comme il est illustré par la figure 35. L'équation de régression linéaire est de type  $CE = 1.54 \text{ ESP} (\%) + 26.53$ .

Ce résultat va dans le même sens que ceux de Djili (2000) et Touaf (2002).



**Figure 35. Relation entre la conductivité électrique et l'ESP**

**- Le pH et la CE**

Le pH n'a aucun effet significatif sur la CE comme indiqué par le tableau XXXVII. Pour le pH ce résultat peut s'expliquer par sa faible variation dans les échantillons étudiés.

### **3. Les solonchaks du nord de l'Algérie**

Nous avons tenté de recenser les solonchaks de l'Algérie du nord, en exploitant une base de données pédologiques, afin d'examiner leurs distribution spatiale et de les classer sous la classification WRB (2006).

#### **3. 1. Localisation des solonchaks dans la région nord de l'Algérie**

Sur la base de critères diagnostiques, nous avons recensé 89 profils répondant à la définition de solonchaks (voir annexe) sur un effectif de 750 profils

Ces solonchaks sont localisés dans cinq zones principales (figure 36)

- La zone I : c'est la région d'Annaba et Guelma.
- La zone II : les régions de M'sila, Biskra, Oum el Bouaghi, Bordj-Bouarreridj, Batna, Sétif et Khenchela ;
- La zone III : les régions de Médéa, Djelfa et Tiaret (Ksar chellala) ;
- La zone IV : les régions de Chlef, Relizane, Mostaganem, Mascara, Oran et Aïn-Témouchent ;
- La zone V : la région d'El Bayadh.

La distribution spatiale des solonchaks dans le nord de l'Algérie ne semble pas liée au climat. En effet, nous pouvons les rencontrer aussi bien dans les régions humides (zone I) que dans les régions semi-arides (zone II, zone III et IV) comme dans les régions arides (zone V) d'où le caractère azonale de ce type de sols comme mentionné par de nombreux auteurs (Durand, 1983 ; Djili, 2000).

Dans ce qui suit, nous étudierons les caractéristiques de ces solonchaks pour en déterminer les principales références.

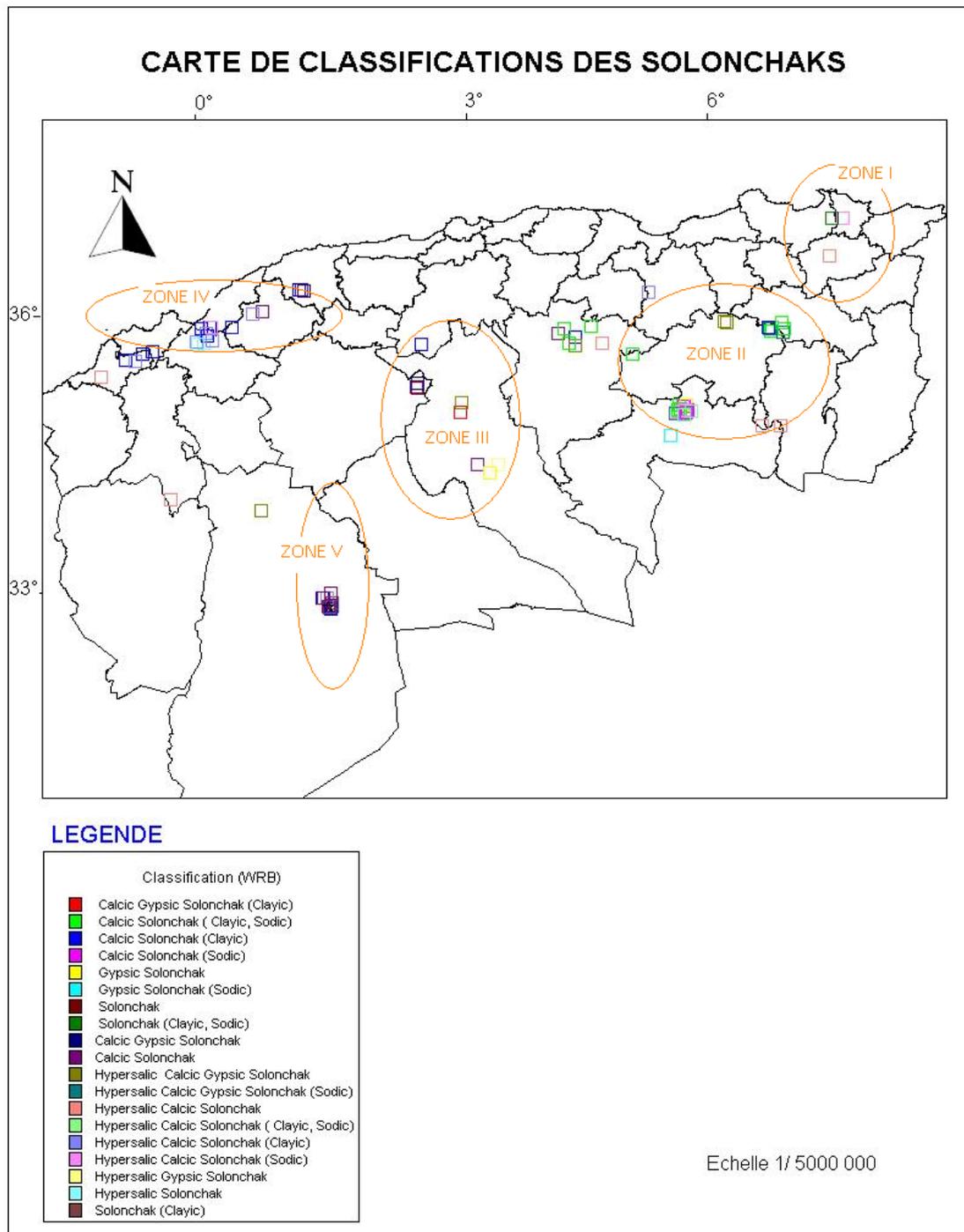


Figure 36. Carte de classification des solonchaks dans la région nord de l'Algérie

### **3. 2. Les solonchaks références du nord de l'Algérie**

Sur la base des autres critères et propriétés diagnostiques, nous avons rencontré 19 références des solonchaks étudiés du nord d'Algérie (tableau XXXVIII).

Les Calcic Solonchak (Clayic) (18%), les Calcic Solonchak (Clayic, Sodic) (13%), Calcic Solonchak (10%), Hypersalic Calcic Solonchak (Clayic) (10%), Hypersalic Calcic Solonchak (Sodic) (10%) sont les plus fréquents en Algérie. A elles seules, ces références représentent plus de 60% des solonchaks. Les autres références sont fréquentes (1 à 7%) dans le Nord de l'Algérie.

A une échelle mini fine, ces 19 références peuvent être regroupées en 4 catégories :

- Les Calcic Solonchak (31%)
- les Gypsic Solonchak (10%)
- les Solonchaks (16%)
- les Hypersalic Solonchak (42%)

Nous avons constaté à partir de la figure 39 que pour les solonchaks qui renferment des teneurs assez élevées en gypse tels que les Gypsic Solonchaks, Hypersalic Gypsic Solonchak, Gypsic Solonchak (Sodic), leur distribution spatiale semble liée aux conditions climatiques donc ils présentent un caractère zonal ; d'ailleurs ils se localisent dans les régions qui se caractérisent par le climat aride et semi-aride : zone II et zone III.

Tableau XXXVIII. Classification et répartition des solonchaks par région

Solonchaks références	Classification (WRB)	(%)	Régions
Réf 1	Calcic Solonchak (Clayic)	18	BATNA, M'SILA, MEDEA,
Réf 2	Calcic Solonchak (Clayic, Sodic)	13	OUM EL BOUAGHI, M'SILA, DJELFA, EL BAYADH, BISKRA, BATNA
Réf 3	Calcic Solonchak	10	TIARET, M'SILA, DJELFA, RELIZANE, EL BAYADH
Réf 4	Hypersalic Calcic Solonchak (Clayic)	10	BORDJ BOUARRERIDJ, BISKRA, RELIZANE, MOSTAGANEM, AIN-TEMOU, MASCARA, SETIF
Réf 5	Hypersalic Calcic Solonchak (Sodic)	10	BISKRA, ANNABA, MOSTAGANEM
Réf 6	Hypersalic Calcic Solonchak	7	GUELMA, KHENCHELA, BISKRA, M'SILA, SIDI BEL ABES, AIN-TEMOU
Réf 7	Hypersalic Calcic Gypsic Solonchak	6	TIARET, M'SILA, DJELFA, EL BAYADH
Réf 8	Hypersalic Calcic Gypsic Solonchak (Sodic)	4	OUM EL BOUAGHI, BISKRA, BATNA
Réf 9	Calcic Solonchak (Sodic)	4	BISKRA
Réf 10	Solonchak (Clayic)	4	EL BAYADH
Réf 11	Solonchak	2	CHLEF, TIARET
Réf 12	Hypersalic Calcic Solonchak (Clayic, Sodic)	2	BISKRA
Réf 13	Gypsic Solonchak	2	BISKRA, DJELFA
Réf 14	Hypersalic Solonchak	2	MASCARA
Réf 15	Gypsic Solonchak (Sodic)	1	BISKRA
Réf 16	Calcic Gypsic Solonchak	1	TIARET
Réf 17	Calcic Gypsic Solonchak (Clayic)	1	DJELFA
Réf 18	Hypersalic Gypsic Solonchak	1	DJELFA
Réf 19	Solonchak (Clayic, sodic)	1	ANNABA,

Pour la référence 11 nous n'avons pas pu avancer dans la classification car il y a beaucoup de données manquantes dans la base de données.

Nous ne pouvons certifier le préfixe calcic pour les 19 références de solonchaks dans le nord d'Algérie, car nous nous sommes basés uniquement sur les données analytiques ( $\text{CaCO}_3 > 15\%$ ), à cause du manque de données morphologiques dans la base de données.

### 3. 2. 1. Les critères diagnostiques des solonchaks dans le nord de l'Algérie

L'analyse statistique (tableau XXXIX) montre que les solonchaks étudiés se caractérisent par une épaisseur de l'horizon diagnostique compris entre 40 et 20 cm, une CE entre 16 et 70 dS/m et par un pH compris entre 7 et 8.9. Par ailleurs le produit  $E \times CE$  est compris entre 7956 et 697. Ce résultat suggère que les sols étudiés sont effectivement des solonchaks dans le sens de la définition WRB (2006). Le tableau XXXIX montre également que le coefficient de variation relatif à ces caractéristiques est très élevé

(C.V= 43%), ce qui démontre une très forte variabilité de l'épaisseur et des niveaux de salinité (figure 37), et une faible variabilité pour le pH (C.V=5%) des horizons diagnostiques.

**Tableau XL: Statistiques descriptives des critères diagnostique**

<b>Critères</b>	<b>E (cm)</b>	<b>CE (dS/m)</b>	<b>E×CE</b>	<b>pH</b>
<b>Maximum</b>	200	70	7956	8.9
<b>Minimum</b>	41	16	697	7
<b>Moyenne</b>	103	33	3291	7.81
<b>C.V%</b>	43	48	56	5

Il s'avère que les solonchaks du nord de l'Algérie sont très nombreux et diversifiés. L'épaisseur de l'horizon salique et son niveau de salinité sont très variables. Ces solonchaks peuvent être diversement pourvus en calcaire et en gypse. Ils peuvent être sodiques ou non et leur texture est diversifiée. Ces caractéristiques ont permis d'identifier 19 solonchaks références. Les préfixes calcic, gypsic et hypersalic et les suffixes sodic et clayic sont les plus courants.

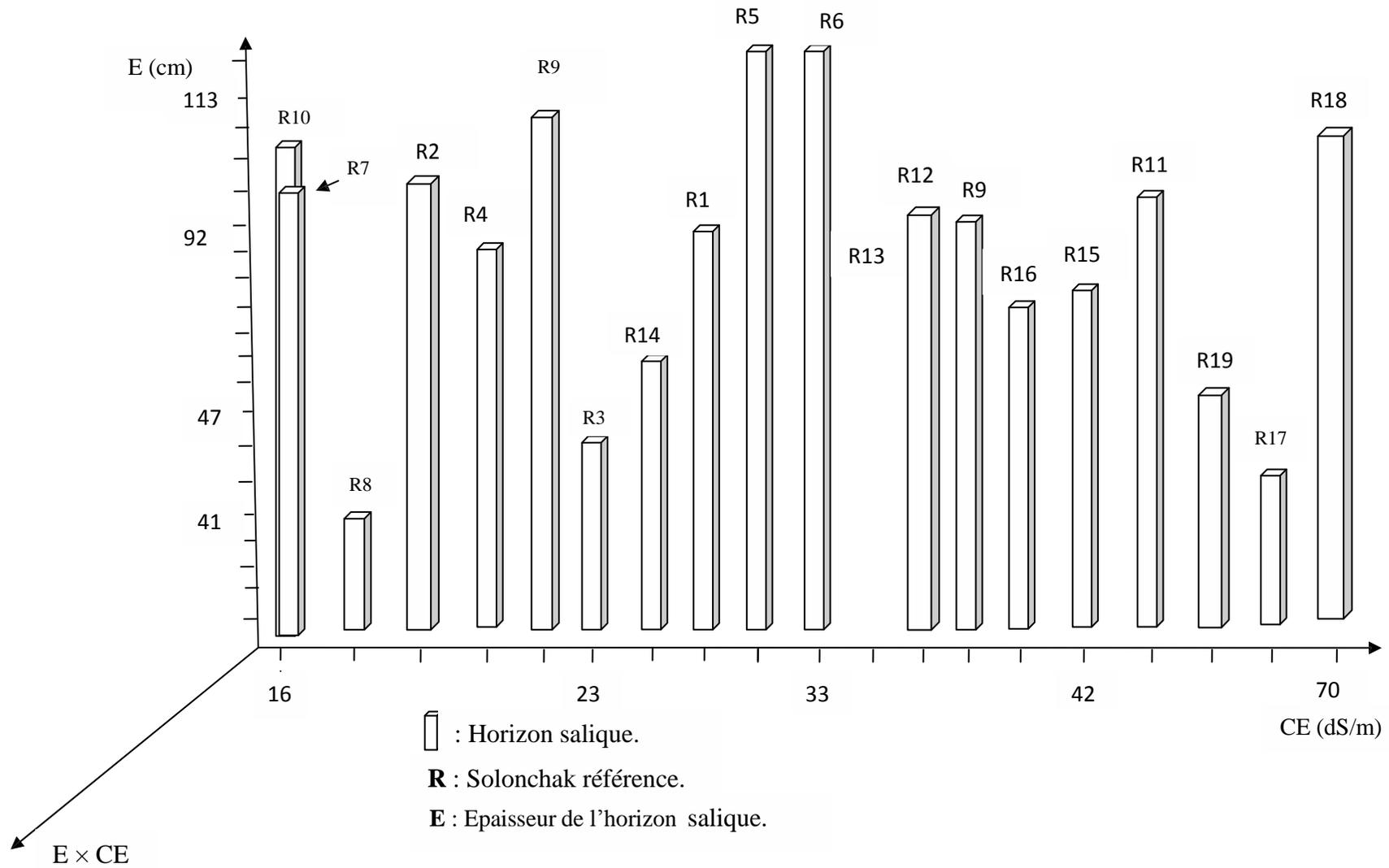


Figure 37. Schéma des différents horizons diagnostics des solonchaks références.

#### 4. Discussion générale

Les sols étudiés sont des sols développés sur les alluvions de la Mina pour les deux premiers profils, et sur celles de l'oued chéiff pour le troisième.

Le fait que ces sols se situent sur un matériau alluvial à l'aval du bassin versant explique que la texture soit lourde (argileuse à argilo-limoneuse) en alternance parfois avec des couches de texture plus grossière.

Les sols étudiés se caractérisent également par la présence d'une nappe salée à faible profondeur (1.5m de profondeur). L'effet de cette nappe sur le sol se traduit par la présence de taches d'oxydoréduction, en particulier à la base des profils. Par ailleurs, le climat évaporant de cette région ( $ETP = 150 \text{ mm/an}$ ) et la texture argileuse favorisent la remontée capillaire des eaux de la nappe salée. Ce phénomène aboutit à la formation de pseudo sable et à des efflorescences salines à la surface du sol d'une part et l'individualisation des sels (nervures) dans le solum d'autre part. Quoiqu'il en soit, les analyses ont montré que le profil est excessivement salin sur la totalité de son solum ( $3.5 \text{ dS/m} < CE < 143 \text{ dS/m}$ ). Ceci pourrait être expliqué par le faciès chimique correspondant à la voie saline neutre. Par ailleurs, le SAR de la solution du sol varie entre 12 et 50 et témoigne du risque élevé d'alcalinité de ces sols. Ainsi, le pH de ces sols se situe autour de 8 et démontre une légère alcalinité de ces sols. Les fortes concentrations de sodium dans la solution du sol ( $Na > 20 \text{ meq/l}$ ) ont un effet direct sur les fortes valeurs de l'ESP ( $8\% < ESP < 56\%$ ). Ceci pourrait expliquer les structures dégradées du profil notamment dans sa partie médiane et en profondeur, car leur stabilité structurale, d'une manière générale, reste médiocre. Cependant, les analyses ont révélé une bonne stabilité structurale pour les horizons de surface, et ce bien que l'ESP soit assez élevé : nous pouvons expliquer cette bonne stabilité par l'existence d'un équilibre entre le complexe adsorbant et la solution du sol (CE très élevé). Paradoxalement, le test de perméabilité hydraulique montre que cette dernière est en général, assez lente à lente pour les horizons de surface bien qu'ils aient une bonne stabilité structurale. Nous pouvons attribuer ce fait paradoxal à l'utilisation de l'eau distillée pour le test de perméabilité, ce qui aurait créé un déséquilibre entre la solution du sol (dilution de celle-ci) et le complexe adsorbant : les forces de rétention du sodium deviennent donc très importantes par rapport aux forces de répulsion, ce

qui provoque une dispersion des éléments texturaux et une obturation des pores (Amezqueta et al., 1995). De ce fait le sol devient imperméable.

La perméabilité des sols affectés par le sodium est en relation avec la concentration en électrolytique de la solution du sol, il n'y a donc pas de distinction entre ces sols du point de vue physique par rapport au seuil de 15% (Quirk, 2001).

Nous pouvons en déduire que les pluies peuvent rendre ces sols instables et par conséquent imperméables.

Enfin, ces profils sont partout calcaires avec des taux qui se situent autour de 18%.

De ce fait, nous pouvons donc suggérer que le profil représentatif est de type A\BC\C, A\AB\C, et A\B\C. Ces profils sont schématisés de la manière suivante :

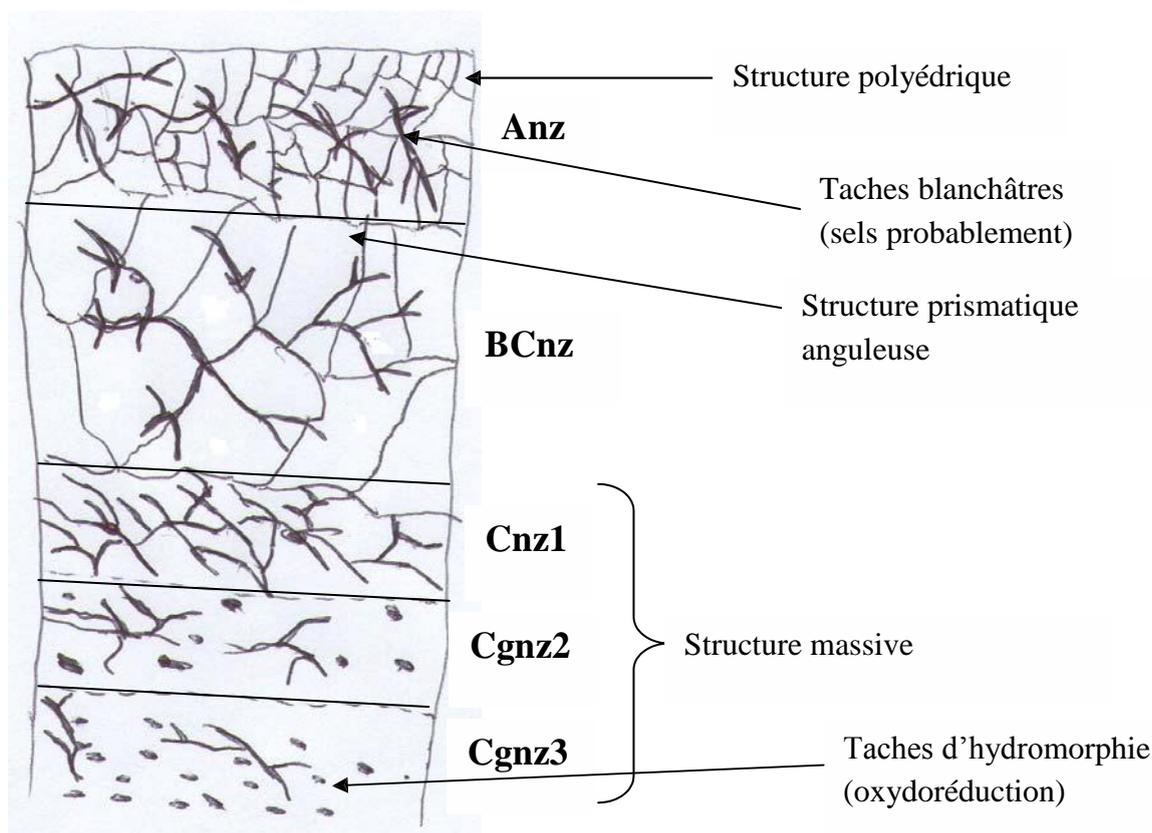


Figure 38. Schéma du profil 1

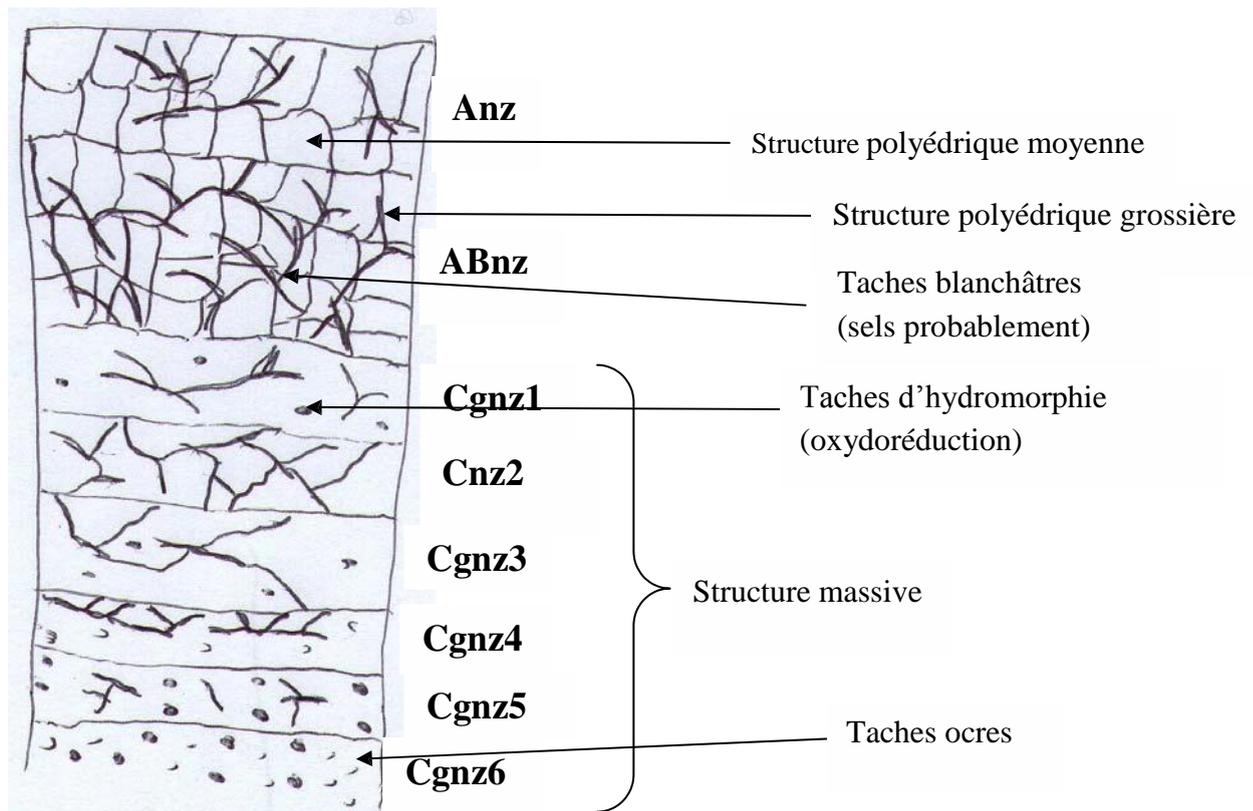


Figure 39. Schéma du profil 2

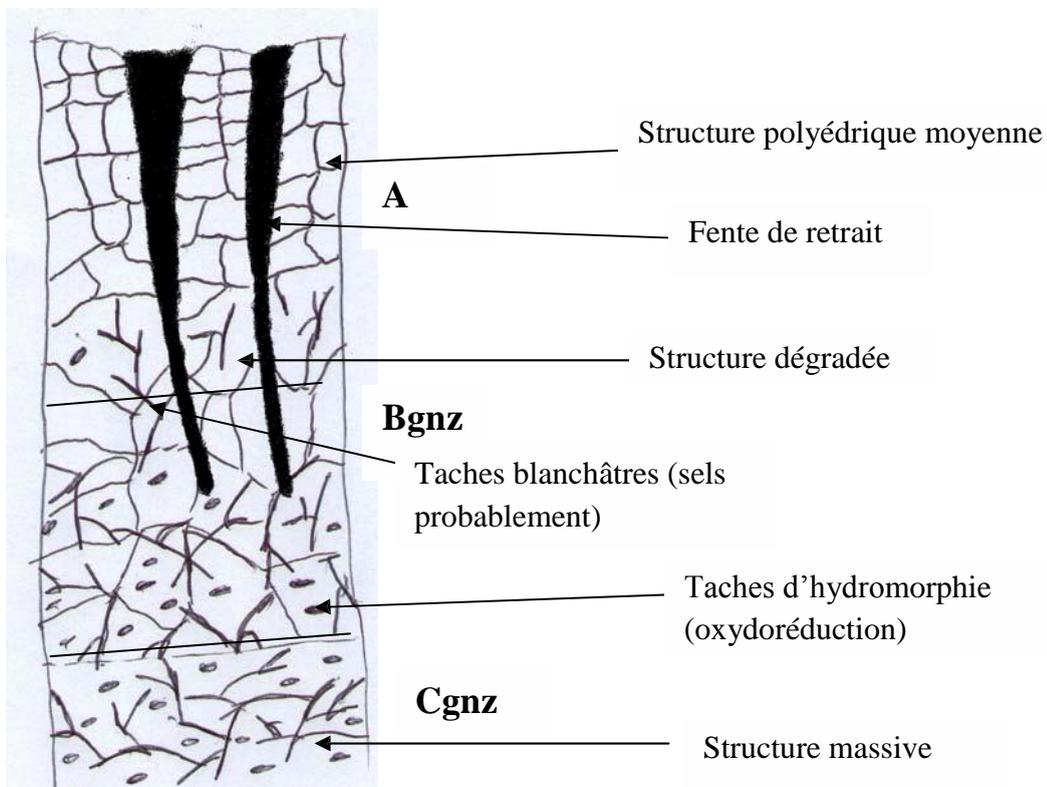


Figure 40. Schéma du profil 3

Les sols étudiés ont tous des horizons saliques qui se caractérisent par une épaisseur E supérieure à 15cm, une conductivité électrique supérieure à 15 dS/m, un pH compris entre 3.5 et 8.5 et par un produit E×CE supérieur à 450. Ce résultat suggère donc que ces sols appartiennent au groupe de solonchaks de la WRB (2006).

Par ailleurs, ces solonchaks sont tous des hypersaliques (CE >30 dS/m dans au moins un sous-horizon situé dans les 100 premiers cm du sol), des sodiques (ESP > 15 % dans les 50 premiers cm de la surface du sol), des chloridics (les chlorures sont prédominants dans la solution du sol), gleyics ( il y a plus de 5% de taches de couleur d'oxydation dans les 100 premiers cm de profondeur) et des clayics (présence d'une couche de texture argileuse de 30cm ou plus dans les 100 premiers cm du sol).

Les sols étudiés sont donc tous des Hypersalic Gleyic Solonchak (Sodic, Chloridic, Clayic).

Cependant, le profil situé dans la station de Hmadna se distingue aussi par la présence de fentes de retrait qui confèrent au profil le caractère vertique. Ce sol peut donc constituer la référence des Hypersalic Vertic Gleyic Solonchak (Sodic, Chloridic, Clayic).

Les deux autres profils peuvent comporter des fentes de retrait, mais nous n'avons pas pu les observer, car le profil était encore frais au moment de la description.

En fin de compte, les profils étudiés constituent deux références : les Hypersalic Gleyic Solonchak (Sodic, Chloridic, Clayic) et les Hypersalic Vertic Gleyic Solonchak (Sodic, Chloridic, Clayic).

A partir de ces résultats morpho-analytiques, nous pouvons dire qu'il n'y a pas une grande différence entre les trois profils sauf que le profil 3 se distingue des autres par la présence d'une structure dégradée, l'apparition de fentes de retrait et une augmentation appréciable du taux d'argile par rapport aux autres profils.

Concernant l'exploitation de la base de données sur la base des critères diagnostiques des solonchaks définis par la (WRB) 2006, nous avons extrait 89 profils correspondant aux solonchaks. La distribution spatiale des solonchaks dans le nord de l'Algérie ne semble pas liée au climat, par contre les solonchaks qui renferment

des teneurs assez élevées en gypse tels que les Gypsic Solonchaks, Hypersalic Gypsic Solonchak, Gypsic Solonchak (Sodic), leur distribution spatiale semble bien liée au climat, donc ils présentent un caractère zonal.

Nous avons rencontré 19 solonchaks références du nord d'Algérie. Il s'agit des Calcic Solonchak (Clayic) (18%), Calcic Solonchak (Clayic, Sodic) (13%), Calcic Solonchak (10%), Hypersalic Calcic Solonchak (Clayic) (10%) et des Hypersalic Calcic Solonchak (Sodic) (10%). Ces références sont les plus fréquentes en Algérie et représentent à elles seules plus de 60% des solonchaks du nord d'Algérie.

La conductivité électrique, l'épaisseur de l'horizon salique et leur produit présentent une forte variabilité car le coefficient de variation se situe autour de 50%, par contre le pH présente une très faible variabilité (CV = 5%).

D'une manière générale l'épaisseur de l'horizon salique et la conductivité électrique des solonchaks références du Nord de l'Algérie sont variables et cette variabilité ne semble pas avoir une relation particulière avec un quelconque autre paramètre.

Les équations de régression obtenues montrent une meilleure corrélation entre la conductivité électrique et le  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et le  $\text{Cl}^-$ , qui est très hautement significative. Nous pouvons expliquer cette corrélation par le fait que le  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et le  $\text{Cl}^-$  sont solubles : il y a une relation proportionnelle entre la conductivité électrique et le Na de même que pour le  $\text{Mg}^{++}$  et les chlorures il y a une évolution de la CE en fonction de la concentration de ces éléments. Pour la conductivité électrique et les sulfates, la corrélation est hautement significative : la relation entre ces 2 derniers paramètres semble proportionnelle. Ce type de liaison suggère que les phénomènes de précipitation des sulfates peuvent entrer en jeu à partir d'un certain seuil de concentration en sulfates.

Par contre la corrélation est significative entre le taux de sodium échangeable et la conductivité électrique. D'autre part la corrélation est très hautement significative entre la CE et le SAR. Nous pouvons suggérer alors que la salinité des sols s'accompagne d'une sodisation du complexe adsorbant. En général c'est le cas des sols du Nord d'Algérie (Djili, 2000) et en particulier les sols du chélib (Daoud, 1993). Quant à la corrélation entre le pH et la salinité globale, elle n'est pas significative.

## Conclusion générale

Au terme de ce travail, les résultats obtenus montrent que les trois profils étudiés se caractérisent surtout par de très fortes salinités ( $3.5 \text{ dS/m} < \text{CE} < 143 \text{ dS/m}$ ), sodicités ( $8\% < \text{ESP} < 56\%$ ) et par un faciès chimique chloruré-sodique.

De même, les résultats ont montré que les profils étudiés se caractérisent par des structures très peu développées, voire parfois dégradée des horizons de sub-surface. La texture de ces profils est d'une façon globale dominée par les argiles ( $8\% < \text{A} < 58\%$ ) et les limons ( $13\% < \text{L} < 63\%$ ), ce qui explique le fort potentiel matriciel de ces sols qui se traduit par une importante remontée capillaire des eaux de la nappe salée qui est peu profonde. Ce phénomène est matérialisé par la présence de taches d'hydromorphie en profondeur, par des accumulations salines dans les horizons de sub-surface et par la formation de pseudo-sables sous la croûte de battance.

La morphologie et les résultats d'analyses au laboratoire ont révélé que les trois sols étudiés constituent deux références de solonchaks de la WRB (2006) :

- Le premier solonchak référence est un Hypersalic Gleyic Solonchak (Sodic, Chloridic, Clayic).
- Le deuxième solonchak référence est un Hypersalic Vertic Gleyic Solonchak (Sodic, Chloridic, Clayic).

Les tests statistiques ont révélé que la CE de ces solonchaks est fortement corrélée au  $\text{Na}^+$  de la solution du sol ( $r = 0.9$  ;  $p = 0.001$ ),  $\text{Mg}^{++}$  ( $r = 0.96$ ;  $p = 0.001$ ),  $\text{Cl}^-$  ( $r = 0.74$ ;  $p = 0.001$ ),  $\text{SO}_4^-$  ( $r = 0.68$  ;  $p = 0.01$ ), ESP ( $r = 0.53$ ;  $p = 0.05$ ) et au SAR ( $r = 0.78$  ;  $p = 0.001$ ). Ce résultat confirme le caractère salin de ces sols et concorde bien avec la littérature internationale. Par ailleurs, la CE est également fortement corrélée à la texture et révèle que dans ce genre de profil, les horizons les plus argileux sont les moins salés ( $r = - 0.57$ ;  $p = 0.05$ ). Ce résultat ne peut être expliqué par la présence d'une nappe salée en profondeur et par la nature du profil textural des alluvions sur lesquelles se sont formés les sols étudiés.

L'analyse de la base de données pédologiques a révélé que les sols du nord de l'Algérie se constituent de 19 solonchaks références. Les résultats ont montré que les Calcic Solonchaks sont les références les plus fréquentes (18% des solonchaks

étudiés). Ils se localisent essentiellement dans les régions de Batna, M'sila et Médéa. Les références telles que les Calcic Gypsic Solonchaks (Clayic), Gypsic Solonchaks (Sodic), Solonchak (Clayic, sodic), Calcic Gypsic Solonchaks, Hypersalic Gypsic Solonchaks sont individuellement les moins représentées (moins de 1% de l'ensemble des références) et se localisent essentiellement dans les régions de Djelfa, Biskra, Annaba et Tiaret. Cependant, la fiabilité de ce résultat reste liée à la qualité de la base de données utilisées.

Par ailleurs, le géoréférencement de l'ensemble des solonchaks sur la carte d'Algérie a montré que la distribution spatiale de cette référence ne semble pas liée au climat. Ce résultat montre le caractère azonal des solonchaks d'Algérie. Cependant, les solonchaks gypsiques sont tous situés en zones aride et semi-aride ce qui traduit le caractère zonal de cette référence. Néanmoins, ce caractère serait lié beaucoup plus à la présence du gypse qu'à la salinité de la référence.

Ce travail qui a été réalisé dans une zone très restreinte, doit être poursuivi et complété par une étude détaillée des profils références situés dans d'autres régions similaires d'Algérie. De plus, les 19 solonchaks-références recensés à travers le nord de l'Algérie nécessitent une vérification sur le terrain et un complément d'analyse au laboratoire qui auront comme valeur la validation des résultats. De même, pour que la caractérisation des solonchaks références soit plus précise, elle doit être complétée par des analyses minéralogiques et micromorphologiques.

## Références bibliographiques

**AUBERT G., 1975.** Les sols sodiques en Afrique du nord. Annales de l'I.N.A. Alger, N° 6, pp. 185-195.

**AUBERT G., 1976.** Les sols sodiques en Afrique du Nord. Ann. I.N.A., Alger, 6 (1), pp. 185-195.

**AUBERT G., 1979.** Méthodes d'analyses des sols, CRDP, Marseille.

**AMEZKETA E., ARAGUES R., 1995.** Hydraulic conductivity, dispersion and osmotic explosion in arid- zone soils leached with electrolyte solutions. Soil Sci, 159, pp. 287-295.

**BOIVN P., BRUNET D., JOB J.O., 1988.** Conductivité électromagnétique et cartographie automatique des sols salés. Une méthode rapide et fiable. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIV, n° 1, pp. 39-48.

**BOUTEYRE G., 1991.** Salinisation de la basse vallée de l'Euphrate. Arctique/ORSTOM. Editon 1992, pp. 408-410.

**C.P.C.S., 1967.** Classifications des sols. Lab Geol.-Pedol., E.N.S.A., Paris-Grignon, 87 p.

**BOT A., NACHTERGAELE, F. et YOUNG, A. (2000).** Land resource potential and constraints at regional and country levels. World Soil Resources Report N° 90. Rome: FAO of UN.

**BEN HASSINE H., BEN SALEM M. et BONIN G. 2003.** Réserve utile des sols du Nord-Ouest de Tunisie, évolution sous culture. Etude et gestion des sols, vol. 10, 1, pp. 19-33.

**CHERBUY B., 1991.** Les sols sal's et leur réhabilitation. Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie., Agrocontact, Rennes, 90p.

**CHAABANE S. et BENREDA Z., 1997.** Inventaire des sols salés d'Algérie ANRH pédologie, 22p.

**CHEVERRY C., ROBERT M., 1998.** La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau : une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays du sud de la Méditerranée. *Etude et Gestion des Sols*, 5, 4, 217-225. *Pédologie*, 22p.

**DUCHAUFOR PH., 1998.** Réflexion sur les classifications des sols. Communication présentée au symposium n°42 du 16<sup>e</sup> Congrès mondiale de l'USS. Montpellier, 20-26 août.

**DURAND J.H., 1954.** Les sols d'Algérie (*Pédologie* n 2). Dir Hyd. Alger., 244p.

**DOGAR M.A., 1980.** Méthodes d'analyses des sols sales-alcalins. Cours photocopié, I.N.A., Alger, 35

**DRIESSEN P. M., SCHOORL L., 1973.** Mineralogy of salt efflorescence on saline.

**DURAND J.H., 1960.** Contribution à l'étude des sols irrigués. L'évolution des sols sous l'influence de l'irrigation. *Travaux des sections pédologie et agrologie*, bulletin n°6, 13 p.

**DUPUIS M., 1969.** Dosage des carbonates dans les fractions granulométriques de quelques sols calcaires et dolomitiques, *Ann. Agron.*, 20(1), pp. 61-88, Paris.

**DURAND J.H., 1983.** Les sols irrigables (*Etude pédologique*). Presses Universitaires de France. Paris. 322p.

**DAOUD Y., 1983.** Contribution à l'étude de la dynamique des sels dans un sol irrigué du périmètre de Haut Cheliff (Algérie). Thèse doc. ING., RENNE, 194p.

**DUDAL R., 1990.** An International Reference Base for Soil Classification (IRB). In: *Trans. 14th Intern. Congress of Soil Science*. 5:38-43. Kyoto.

**DAOUD Y. et CHEVERRY C. et ROBERT M., 1993.** Rôle physico-chimique du magnésium dans les sols sales des plaines du Cheliff (Algérie). *Sci. Sol.* Vol – 31, n 4, pp. 151 – 160.

**DJAMAI R., 1993.** Contribution à l'étude de la salinité des sols et des eaux du lac Fatzara (Annaba). Mémoire de magister, INA, Alger. 78p.

**DAOUD Y., et HALITIM A., 1994.** Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sècheresse, vol. 31, 4, pp. 281-299.

**DJILI K., 2000.** Contribution a la connaissance des sols du Nord de l'Algérie : Création d'une banque de données informatises et l'utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisation et la vectorisations des données pédologique. Thèse doc. INA. Alger. 384p.

**DJILI K., DAOUD Y., TOUAF L., 2003.** La salinisation et la sodisation des sols d'Algérie. Congrès scientifique sur l'apport de la recherche scientifique et des nouvelles technologies dans le développement et la mise en valeur des régions arides et semi-aride climat. 2-3 octobre. El -Oued, 9 p.

**DJILI K., DAOUD Y., GAOUAR A., BELDJOUDI Z., 2003.** La salinisation secondaire des sols du Sahara. Sècheresse, vol. 14, 4, pp. 241-246.

**DOUAOUI A., 2005.** Variabilité spatiale de la salinité et relation avec certain caractéristiques des sols de la plain du bas Chélif approche de la géostatistique et de la télédétection. Thèse de doctorat d'état en agronomie, INA, Alger. 255 p.

**EGHBALM M., SOUTHARD J., WHITTING L. D., 1989.** Dynamics of evaporite distribution in soils on a fan-playa transect in the Carrizo Plain California. Soil Sci. Soc. Of Am. J., 53, 898-903.

**FRANZEN D., 2005.** Managing Daline Soils in Nord Dakota. ([www.ext.nodak.edu](http://www.ext.nodak.edu)).

**GAUCHER G., 1947.** Méthodes actuelles d'étude des terrains salés en Afrique du Nord. Conférence de pédologie Méditerranéenne, Bull. AFES, Paris.

**GAUCHER G., BURDIN., 1974.** Géologie et géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Ed Presses universitaires de France, Paris. 230 p.

**GUPTA, I. C. 2000.** Assessment of quality of irrigation waters and industrial effluents discharged on land for irrigation. Industrial waste waters and environmental pollution. I. C. Gupta, D. C. Joshi and D. Kumar. Jodhpur, India, Scientific Publishers (India): 131-151.

**GIRARD M.C., WALTER C., REMY J.C., BERTBEL J, MOREL J.L., 2005.** Sols et environnements, cours, exercices et étude de cas. Edi : Dunod, Paris. 475p.

**HALITIM A., 1973.** Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vu de leur mise en valeur. Thèse doct. 3 cycl, Univ. RENNE, 170p.

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

**IDDIR A., 2006.** Évaluation de la salinité par induction électromagnétique. Mémoire de magister, INA , Alger, 120 p.

**JOB J.O., 1992.** Les sols salés de l'oasis d'El Guettar. Thèse. Université de Montpellier II, 150 p.

**LOYER J.Y., 1990.** Solums salsodque- Salisol et sodisols. Référentiel pédologique. Techniques et pratiques. Pp. 241-249. INRA Paris.

**LEGROS J.P., 2007.** Les grands sols du Monde. Presses polytechniques et universitaires romandes, 574 p.

**MORIZET J., DEJOU J., GUYOT J., 1970.** Principales caractéristiques physico-chimiques des sols de type vertique et sodique dans le Marais rochefortais. Bull. de l'AFES, n° 5, pp. 11-24.

**MOUGENOT B., 1993.** Effets des sels sur la réflectance et la télédétection des sols salés. Cah. Orstom, ser. Pédol., vol. WWVIII, 45-54.

**MOUHOUCHE B., 2000.** L'avenir de l'agriculture saharienne dépend de la maîtrise de la salinisation des sols et de la valorisation de l'eau d'irrigation. Actes du premier Symposium International sur la filière blé – Enjeux et Stratégie. (Blé 2000, Alger), (O.A.I.C.). ALGER 7 – 9 février 2000, pp. 213-220.

**MICHOT M.D. 2003.** Intérêt de la géophysique de subsurface et de la télédétection multispectrale pour la cartographie des sols et le suivi de leur fonctionnement hydrique à l'échelle intraparcellaire. Thèse de Doctorat de l'université. Paris 6, 394p.

**METTERNICHT G. I., ZINK J. A., 2003.** Remote sensing of soil salinity: potentials and constraint. Remote Sensing of Environnement, 5812, 1-20.

**MATIEU C. et PIELTAIN F., 2003.** Analyse chimique des sols, méthodes choisies, Tec et DOC, Lavoisier, Paris. 387 p.

**MARLET S., 2004.** Hommes, terre et eaux (130, sp): pp 32-38. Séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée, 2004-04-19/2004-04-23, Rabat, Maroc.

**MASHALI, A., SUAREZ, D.L NABHAN H. et RABINDRA R. (2005).** Integrated management for sustainable use of salt-affected soils. Rome: FAO Soils Bulletin, now printing.

**PONS Y., GERBAUD A., 2005.** Classification agronomique des sols marais à partir de la réalisation entre sodicité et stabilité structurale. Etude et Gestion des Sols, vol. 12, n°3, pp. 229-243.

**QUIRK J.P., 2001.** Introduction The paper « The effect of electrolyte concentration on soil permeability ». Australian Journal of Soil Research, vol. 14, 39, pp. 1185-1217.

**RIEU M., CHEVERRY C. 1976.** Mise au point bibliographique sur quelques recherches récentes en matériaux des sols salés. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., v.14, n°1, pp.39-61.

**RHOADES, J.D. 1997.** Sustainability of irrigation : an overview of salinity problems and control strategies, Riverside, CA, U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS.

**SERVANT J.M., 1970.** Etude expérimentale de l'influence des conditions salines sur la perméabilité des sols sales de la région méditerranéenne Française. Ann de l'I.N.A., EL-Harrach, Vol. VI, pp. 225-245.

**SERVANT J., 1975.** Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. Thèse de doctorat d'état, Université du Languedoc, 194p.

**SZABOLCS, I., 1989.** Salt-affected soils. CRC Press Inc., Florida. USA.

**STOOPS G., MEES F., 1991.** Minéralogical study of salt efflorescence on soils of the Geque tepeque valley, norther Peru, Geoderma, 44, pp: 255-272

**Telford W.M., Geldart L.P., Sheriff R.E., Keys D.A., 1982.** Geophysics prospecting tome1 et 2: Cambridge University press. p220

**TOUAF L., 2002.** Evaluation du niveau de salinité des sols du Nord de l'Algérie. Mémoire de magister, INA, Alger, 71 p.

**U.S. SALINITY LABORATORIE Staffe, 1954.** Diagnostic and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Hardbook, n 60, 160p.

**VAUCLIN M., 1982.** Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol. In: Les colloques de l'INRA. Variabilité spatiale des processus de transfert dans le sol. Ed INRA. Paris N°15, pp. 9-43.

**ZAHOW M.F. et AMRHEIN C., 1992.** Reclamation of a saline sodic soil using synthetic polymers and gypsum. Soil. Sci. Soc. Am. J. 56, pp: 1257-1260.

### **Liste des documents anonymes consultés**

**A.G.I.D., 2003.** Situation actuelle des grands périmètres irrigués et perspectives. 25 p.

**F.A.O., 1974.** Dition of soil units for the soil maps of the world. 33, 72 p.

**F.A.O., 1990.** Water, soil and crop management relating to the use the use of saline water. Doc. F.A.O., Rome, 1993p.

**F.A.O., 2006.** World Reference Base for Soil Resources. FAO, ISRIC and ISSS, Rome

**I.N.R.H. 1981.** Etude agro-pédologique de la région de Azzaha-Oued-El-Al Aneb-Fedzara. Inter. Nat. Rech. Hydr., Constantine.

**I.N.S.I.D., 1998.** Etude de carctérisation de l'état actuel de la salinité et d'évaluation de l'état physique du réseau de drainage au niveau du perimeter irrigué d'Abadla (Wilaya de Bechar). Alger. 22 p.

**I.N.S.I.D., 2006.** Qualité de l'eau de la nappe phréatique d'El Oued (contraintes physico-chimiques et possibilités de son utilisation en agriculture). Alger. 12p.

**I.N.S.I.D., 2006.** La salinité des terres agricoles dans le périmètre de la Mina approche méthodologique et premiers resultants. Alger. 66p.

**M.A.P.** (Ministère de l'Agriculture et de la Pêche), 1998. La salinité des terres agricoles: situation et problématique, 30 p.

**SOIL SURVEY STAFF, 2006.** Keys to Soil Taxonomy. 7th edn. US Dep. Agricult. Nat. Res. Cons. Serv., Washington, DC.

***Annexe***

			Critères diagnostiques			
Longitude	Latitude	Classification (WRB)	E (cm)	pH	CE (dS/m)	(CE × E)
767,85	186,85	Hypersalic Calcic Solonchak (Sodic)	100	8.5<pH>3.5	31,50	3150
768,25	184,15	Hypersalic Calcic Solonchak (Sodic)	56	8.5<pH>3.5	33,00	1848
172,6	242,35	Calcic Solonchak (Clayic)	30	8.5<pH>3.5	15,50	465
146,45	224,85	Hypersalic Calcic Solonchak	30	8.5<pH>3.5	32,00	960
308,34	288,25	Hypersalic Calcic Solonchak (Clayic)	127	8.5<pH>3.5	34,00	4318
760	187,2	Calcic Solonchak Sodic (Clayic)	30	8.5<pH>3.5	20,00	600
761,1	191,9	Calcic Solonchak ( Clayic, Sodic)	70	8.5<pH>3.5	18,80	1316
768,65	191,95	Calcic Solonchak (Sodic)	110	8.5<pH>3.5	27,00	2970
759,8	186,1	Hypersalic Calcic Solonchak (Sodic)	110	8.5<pH>3.5	37,23	4096
757,55	182,2	hyper salic Calcic Gypsic Solonchak (Sodic)	80	8.5<pH>3.5	60,00	4800
757,25	184,05	hyper salic Calcic Solonchak (Sodic)	100	8.5<pH>3.5	68,23	6823
262,8	275,5	Calcic Solonchak (Clayic)	18	8.5<pH>3.5	30,00	540
254,65	273,9	Calcic Solonchak (Clayic)	75	8.5<pH>3.5	16,50	1238
287	274,1	Calcic Solonchak (Clayic)	80	8.5<pH>3.5	23,00	1840
264,65	274,95	Hypersalic Calcic Solonchak Sodic	60	8.5<pH>3.5	35,00	2100
387,5	-12,87	Calcic Solonchak	48	8.5<pH>3.5	20,00	960
387	-26,8	Calcic Solonchak	63	8.5<pH>3.5	21,00	1323
385	-27,6	Calcic Solonchak	62	8.5<pH>3.5	21,50	1333
378,9	-17,9	Calcic Solonchak	80	8.5<pH>3.5	18,00	1440
388	-23,8	Solonchak Clayic	113	8.5<pH>3.5	17,00	1921
387,3	-30,1	Calcic Solonchak (Clayic)	100	8.5<pH>3.5	21,77	2177
388,2	-27,3	Solonchak (Clayic)	129	8.5<pH>3.5	17,00	2193
385,2	-29,7	Solonchak (Clayic)	122	8.5<pH>3.5	18,83	2297
382,9	-18	Hypersalic Calcic Solonchak (Clayic)	50	8.5<pH>3.5	54,85	2743
378,6	-18,7	Calcic Solonchak (Clayic)	44	8.5<pH>3.5	17,60	774
869,8	173,05	Hypersalic Calcic Solonchak	18	8.5<pH>3.5	32,00	576
312,8	76,3	Hypersalic Calcic Gypsic Solonchak	110	8.5<pH>3.5	36,33	3996
913,75	398,75	Solonchak (Sodic, Clayic)	41	8.5<pH>3.5	17,00	697
854,825	275,17	Calcic Solonchak ( Clayic, Sodic)	150	8.5<pH>3.5	21,00	3150
265	261,01	Hypersalic Calcic Solonchak (Clayic)	89	8.5<pH>3.5	32,00	2848
260,78	265,8	Calcic Solonchak (Clayic)	125	8.5<pH>3.5	23,43	2929

248,11	259,6	Hypersalic Calcic Solonchak (Clayic)	110	8.5<pH>3.5	32,00	3520
256,82	257,8	Hypersalic Solonchak	90	8.5<pH>3.5	54,00	4860
259,14	268,96	Hypersalic Calcic Solonchak (Clayic)	84	8.5<pH>3.5	67,33	5656
249,32	256,76	Hypersalic Solonchak	98	8.5<pH>3.5	63,62	6234
666,1	274,4	Calcic Solonchak ( Clayic, Sodic)	35	8.5<pH>3.5	15,00	525
630,6	265,8	Calcic Solonchak	90	8.5<pH>3.5	16,85	1517
642,8	256	Calcic Solonchak (Sodic)	114	8.5<pH>3.5	17,00	1938
637,85	271,2	Calcic Solonchak ( Clayic, Sodic)	120	8.5<pH>3.5	16,40	1968
648,6	263	Calcic Solonchak (Clayic)	100	8.5<pH>3.5	24,00	2400
710,2	245,6	Calcic Solonchak ( Clayic, Sodic)	140	8.5<pH>3.5	18,00	2520
649,8	253,5	Hypersalic Calcic Gypsic Solonchak	170	8.5<pH>3.5	43,83	7452
677,5	256,6	Hypersalic Calcic Solonchak	220	8.5<pH>3.5	44,87	9871
481	208	Calcic Solonchak	145	pH>8.5	9,00	1305
482,5	206	Solonchak	100	8.5<pH>3.5	15,50	1550
481	208	Hypersalic Calcic Solonchak (Sodic)	100	8.5<pH>3.5	16,00	1600
483	212	Calcic Gypsic Solonchak	160	8.5<pH>3.5	20,50	3280
358,59	312,82	Calcic Solonchak (Clayic)	62	8.5<pH>3.5	16,50	1023
362,96	311,35	Solonchak	150	8.5<pH>3.5	16,00	2400
318,8	290,96	Calcic Solonchak	150	8.5<pH>3.5	16,50	2475
360,64	313,08	Calcic solonchaqk (Clayic)	140	8.5<pH>3.5	18,00	2520
559,7	115,6	Gypsic Solonchak	20	8.5<pH>3.5	22,80	456
546,5	124,2	Calcic Solonchak	103	8.5<pH>3.5	18,00	1854
569,1	124,6	Hypersalic Gypsic Solonchak	60	8.5<pH>3.5	51,70	3102
770,68	187,28	Calcic Solonchak Sodic	40	8.5<pH>3.5	16,00	640
856,97	279,07	Calcic Solonchak ( Clayic, Sodic)	64	8.5<pH>3.5	24,00	1536
866,17	284,4	Calcic Solonchak ( Clayic, Sodic)	100	8.5<pH>3.5	18,50	1850
766,35	191,45	Calcic Solonchak (Sodic)	90	8.5<pH>3.5	22,60	2034
764,6	192,75	Hypersalic Calcic Solonchak (Sodic)	90	8.5<pH>3.5	33,00	2970
808,2	282,6	Hypersalic Calcic Gypsic Solonchak	105	8.5<pH>3.5	73,64	7732
925,05	400	Hypersalic Calcic Solonchak Sodic	46	8.5<pH>3.5	32,25	1484
768,84	183,24	Calcic Solonchak	51	pH>8.5	9,00	459
868,12	274,77	Hypersalic Calcic Gypsic Solonchak (Sodic)	30	8.5<pH>3.5	31,00	930
869,82	278,45	Calcic Solonchak ( Clayic, Sodic)	65	8.5<pH>3.5	22,50	1463
852,72	278,45	Calcic Solonchak (Clayic)	180	8.5<pH>3.5	21,50	3870
854,05	277,02	Hypersalic Calcic Gypsic Solonchak (Sodic)	200	8.5<pH>3.5	26,33	5267

486,4	252,8	Calcic Solonchak (Clayic)	120	8.5<pH>3.5	15,50	1860
769,42	184,3	Calcic Solonchak (Sodic)	55	8.5<pH>3.5	16,50	908
768,06	182,6	Hypersalic Calcic Solonchak (Clayic)	90	8.5<pH>3.5	31,00	2790
725	313	Hypersalic Calcic Solonchak( Clayic)	55	8.5<pH>3.5	33,00	1815
774,2	185,8	Hypersalic Calcic Solonchak ( Clayic, Sodic)	110	8.5<pH>3.5	28,05	3086
850,85	173,3	Hypersalic Calcic Solonchak	36	8.5<pH>3.5	31,50	1134
766,1	182,02	Hypersalic Calcic Solonchak ( Clayic, Sodic)	35	8.5<pH>3.5	21,00	735
191	249	Calcic Solonchak (Clayic)	50	8.5<pH>3.5	20,00	1000
183	241	Hypersalic Calcic Solonchak (Clayic)	70	8.5<pH>3.5	43,03	3012
202	250	Calcic Solonchak (Clayic)	158	8.5<pH>3.5	24,00	3792
743,46	158,64	Gypsic Solonchak	70	8.5<pH>3.5	19,00	1330
747,22	159,04	Hypersalic Gypsic Solonchak	60	8.5<pH>3.5	33,33	2000
752,6	159,7	Gypsic Solonchak (Sodic)	200	8.5<pH>3.5	26,40	5280
756,96	157,6	Hypersalic Calcic Solonchak	200	8.5<pH>3.5	32,26	6452
734,34	159,91	Calcic Gypsic Solonchak	200	pH>8.5	90,00	18000
762,2	188,5	Calcic Solonchak ( Clayic, Sodic)	110	8.5<pH>3.5	19,50	2145
533	191,4	Calcic Solonchak	130	8.5<pH>3.5	15,30	1989
527,4	181	Calcic Gypsic Solonchak (Clayic)	105	8.5<pH>3.5	24,05	2525
512,7	173,1	Calcic Solonchak	140	8.5<pH>3.5	18,50	2590
529	191,2	Hypersalic Calcic Gypsic Solonchak	125	8.5<pH>3.5	49,97	6246
215,9	90,3	Hypersalic Calcic Solonchak	40	8.5<pH>3.5	42,00	1680
913,25	357,95	Hypersalic Calcic Solonchak	75	8.5<pH>3.5	31,00	2325
768,22	185,36	Hypersalic Calcic Solonchak Sodic	60	8.5<pH>3.5	31,50	1890

## Résumé

Ce travail comporte deux volets à savoir d'une part, l'identification et l'étude de quelques solonchaks dans la région de Relizane en vue de voir dans quelle mesure ils constituent des sols références (système « WRB-2006 ») et d'autre part, un essai de valorisation d'une base de données pédologiques permettant de déterminer les solonchaks références dans le Nord de l'Algérie selon la classification W.R.B (2006).

- Concernant le premier volet, les principaux résultats morphologiques et analytiques des 3 profils révèlent une structure polyédrique fine dans l'horizon de surface, et prismatique grossière et massive en profondeur avec en plus, des fentes de retrait pour le 3<sup>ème</sup> profil. Caractérisés également par une très forte salinité, une sodicité élevée et un faciès chimique de type chloruré-sodique, ces sols remplissent les conditions de critères du groupe solonchak : les Hypersalic Gleyic Solonchak et les Hypersalic Vertic Gleyic Solonchak (Sodic, Chloridic, Clayic).

L'analyse statistique des résultats nous a permis d'établir des équations de régression en raison des corrélations hautement significatives dégagées entre la CE des sols étudiés d'une part le Na<sup>+</sup>, le Mg<sup>++</sup>, le Cl<sup>-</sup>, l'ESP, le SAR et l'argile d'autre part.

- Quant au deuxième volet de notre étude, l'analyse de la base de données sur la base des critères diagnostiques des solonchaks définis par la même classification nous a permis d'en extraire 89 profils correspondant aux solonchaks est regroupés en 19 solonchaks références du Nord d'Algérie.

**Mots clés :** W.R.B (2006), solonchak, profils références, salinité, critères diagnostiques, base de données pédologiques

## Summary

This work contains two sections constituents particularly from one part, some sononchaks identification and study in Relizan region to see how to constitute soil references ("WRB-2006"system).

From the other part a pedological data base valorisation quest allowing (wich allowse) to determin the sononchaks references in the north of Algeria according to the classificatiion "WRB (2006)".

Concerning the first section, the principal morphological and analytical results of the three 3 profiles reveal a fine polyhedric structure in the surface horizon, coarse and massive prismatic in depth with "in addition", retreats split for the third profile. Characterised too,

by a very strong salinity and a high sodicity and chemical facies of a clor-sodic. These soils fill the conditions of solonchak group criterion: the Hypersalic Gleyic Solonchak and Hypersalic Vertic Gleyic Solonchak (Sodic, Chlordric, Clayic).

Results statistic analysis allow as to establish regression equations because of the correlation highly significant wich are released between the CE of soils, studied from one part the Na<sup>+</sup>, the Mg<sup>++</sup>, the Cl<sup>-</sup>, l'ESP, the SAR and the clay from the other part.

However the second section of our study, the data base analysis on the solonchaks diagnostic criterion base defined by the same classification allow as to extract 89 profiles corresponding to solonchaks, and grouped together 19 solochaks references of the North of Algeria.

**Key words:** W.R.B (2006), solonchak, references profiles, salinity, diagnostic criterion, pedological data base.

( W.R.B 2006 )

## ملخص

يحتوي هذا العمل على جنا حين

من جهة معرفة ودراسة بغض الأتربة (Solonchak)

لمنطقة غليزان ومدى تطابقها مع الأتربة المرجعية حسب تصنيف ( W.R.B 2006 )

و من جهة أخرى : محاولة تبيين قاعدة معطيات حتى نتمكن من استخراج Solonchak المرجعية في شمال الجزائر

حسب نفس التصنيف

فيما يتعلق الجناح الأول :

أهم النتائج المورفولوجية و التحليلية لثلاثة مقاطع للتربة بينت أنها تحتوى على بنية متعددة الأوجه رقيقة في الأفق السطحي ومنشورية خشنة كتلية في الأفق السفلي إضافة إلى شقوق في المقطع الثالث .

كما تميزت بملوحة و صودية جد مرتفعة ذو نمط كيميائي كلوريدى – صودى وهذه التربة تنطبق عليها مواصفات مجموعة

Solonchak

Les Hypersalic Gleyic Solonchak و les Hypersalic Gleyic Vertic Solonchak ( sodic,

chloridic clayic)

التحليل الاحصائى أمكننا من إعداد معادلات تراجعية لملوحة الأتربة المدروسة

و  $Na^+$  ,  $Mg^{++}$  , l'ESP ,  $Cl^-$  , SAR و الطين

أما الجناح الثاني لهذه الدراسة تتضمن تحليل قاعدة معطيات على أسس معايير التشخيص Solonchack

حسب تصنيف ( W.R.B (2006) , سمح لنا استخلاص 89 مقطع نموذجي تتوافق مع Solonchak التي تحتوي

على Solonchak(19) مرجعي

كلمات المفتاح : ( Solonchaks, W.R.B (2006) , قاعدة معطيات , ملوحة , معايير تشخيصية , مقطع نموذجي