

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université de M'Sila



MEMOIRE

Présenté
A la Faculté des Sciences
Département des Sciences Agronomiques
Pour obtenir le Diplôme de

Master Académique en Sciences Agronomiques

Option : Science du Sol

Thème

**Evaluation de la salinité dans les
sols de la partie sud du périmètre
de K'Sob M'Sila.**

Présenté par :

KECHROUD Warda

ZOUBIRI Salmane

Devant le Jury :

Président	GUENDOUZEN. O	MCA	Université de M'sila
Promoteur	TELLACHE S	MAA	Université de M'sila
Co promoteur	MERAH. F	MAA	Université de M'sila
Examineur	TIR Chafia	MAA	Université de M'sila

Année universitaire : 2020/2021

1. Remerciements

Nous remercions tout d'abord ALLAH le tout puissant de nous a donné la santé, la patience, la puissance et la volonté pour réaliser ce mémoire.

*Nous remercions notre rapporteur * Mr TELLACHE SLLIMANE*, pour l'aide et pour l'honneur qu'il nous a fait en dirigeant ce travail, pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche.*

Nous exprimons nos sincères remerciements à :

**Mr GUENDOUZEN O de l'honneur qu'il nous fait de présider le jury.*

** M^{lle} TIR Chafia ; Pour avoir accepté de lire et corriger notre travail.*

** Aux responsables, aux enseignants de département d'Agronomie pour leurs compréhensions et leurs aides.*

** Nos familles et Nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.*

Nous tenons à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Merci



Dédicace

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études,

A mes chères sœurs pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral,

A mes chers frères, pour leur appui et leur encouragement,

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire,

Merci d'être toujours là pour moi.

Zoubiri



Dédicace

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents ma mère et mon père

*Pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs
encouragements.*

A mes frères.

A mes amies et mes camarades.

*Sans oublier tout les professeurs que ce soit du
primaire, du moyen, du secondaire ou de
l'enseignement supérieur.*

Kechroud Ouarda

2. Table des matière

1. REMERCIEMENTS.....	I
3. LISTE DES FIGURES	V
4. LISTE DES TABLEAUX.....	VI
5. INTRODUCTION GENERALE.....	1
6. CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	2
1. LA SALINITE DES SOLS :.....	3
1.1. Définition :.....	3
1.2. Les sols salés :.....	3
2. L'ORIGINE DE LA SALINITE	3
2.1. La salinisation primaire :	3
2.2. La salinisation secondaire :	3
3. LES CARACTERISTIQUE DES SOLS SALES :.....	4
3.1. Les caractéristiques chimiques :.....	4
3.1.1. La conductivité électrique CE	4
3.1.2. Le pH.....	4
3.1.3. Le taux de sodium échangeable	4
3.1.4. Le rapport d'adsorption du sodium :.....	4
3.1.5. La pression osmotique :	5
3.2. Les caractéristiques physiques :	5
3.2.1. La structure.....	5
3.2.2. La capacité de rétention en eau	5
3.3. Les caractéristiques biologiques	5
4. CLASSIFICATION DES SOLS SALEES	6
4.1. Sous classe des sols sodique à structure non dégradée :	6
4.1.1. Sols salins à complexe calcique (solontchaks) :	6

4.1.2.	Sols salins complexe sodique (solontchak sodique).....	6
4.2.	Sous classe des sols sodique à structure dégradée	6
4.2.1.	Sols alcalins non lessives (solontchak solontez) :.....	6
4.2.2.	Sols alcalins lessives :.....	6
5.	MISE EN VALEUR DES SOLS SALE.....	6
5.1.	Lixiviation.....	6
5.2.	Drainage.....	7
6.	INFLUENCE DE LA SALINITE SUR LES VEGETAUX :	7
6.1.	Le stress hydrique :.....	7
6.2.	Le stress ionique :.....	7
6.3.	Le stress nutritionnel :.....	7
7.	CHAPITRE II : MILIEU PHYSIQUE.....	8
1.	SITUATION GEOGRAPHIQUE.....	9
2.	LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES	10
2.1.	Relief	10
2.2.	Hydrologie	11
2.3.	Géologie	12
2.4.	Pédologie.....	13
2.5.	Climat	15
2.5.1.	Pluviométrie.....	15
2.5.2.	Température	16
2.6.	Les autres facteurs climatiques.....	17
2.6.1.	Les vents.....	17
2.6.2.	La neige	17
2.6.3.	La gelée blanche.....	17
2.7.	La synthèse climatique	17
2.7.1.	Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	17
2.7.2.	Quotient pluviothermique d'EMBERGER	18
2.7.3.	Indice d'aridité de DE MARTONNE.....	20

8. CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES	22
1. LE MATERIEL D'ETUDE	23
1.1. Choix de la zone d'étude.....	23
1.2. Les documents de base de l'étude	23
2. METHODES D'ETUDE :.....	23
2.1. Analyse statistique des données.....	24
2.2. Réalisation d'un SIG.....	24
2.2.1. Numérisation et géoréférencement de la carte des sols	24
2.2.2. Vectorisation des profils types.....	25
2.2.3. Les tables attributaires.....	25
2.3. Les requêtes	26
2.3.1. Caractérisation de la salinité.....	26
2.3.2. Mise en valeur des sols salés.....	27
9. CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION	29
1. PRÉSENTATION DES DONNÉES.....	30
2. ANALYSE DE LA VARIANCE	30
3. ANALYSE DES CORRÉLATIONS.....	32
4. CARACTÉRISATION DE LA SALINITÉ DU SOL.....	32
4.1. Les sols non salés.....	33
4.2. Les sols salins	35
4.3. Les sols salins à alcali :	36
5. INTENSITÉ DE LA SALINITÉ ET INFLUENCE SUR LES CULTURES	37
6. MISE EN VALEUR DES SOLS DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	38
6.1. Mise en valeur des sols salins.....	38
6.1.1. Vérification du drainage naturel des sols de la zone d'étude	39
6.1.2. Le lessivage des sels.....	39
6.2. Mise en valeur des sols salins à alkali.....	40

10. CONCLUSION GENERALE 41

11. REFERENCES..... 42

3. Liste des Figures

Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude	9
Figure 2 : Classe des pentes de la zone d'étude (source : originale) carte de fond world street map : http://services.arcgisonline.com/arcgis/services).....	10
Figure 3: Réseau hydrographique de la zone d'étude (source carte de fond world base map : http://services.arcgisonline.com/arcgis/services).....	11
Figure 4 : Géologie de la zone d'étude (source : extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500000. (FLANDRIN, 1952) Carte de fond world base map : http://services.arcgisonline.com/arcgis/services).....	12
Figure 5 : Pédologie de la zone d'étude source extrait des cartes pédologiques ; Pédologie1 (BOYADGIEV, 1975) et Pédologie2 Source spécifiée non valide. carte de fond world base map : http://services.arcgisonline.com/arcgis/services).....	14
Figure 6 : Les Diagrammes Ombrothermiques de la zone d'étude à 425 m et 725m	18
Figure 7 : Climagramme d'Emberger.....	20
Figure 8 : Analyse statistique sur Statistica12.....	24
Figure 9 : Calage et géoréférencement de la carte pédologique sur Arcgis10.8.....	25
Figure 10 : Création de fichier vecteur de type point sur Arcgis10.8	25
Figure 11 : Table attributaire pour l'horizon 1.....	26
Figure 12 : Organigramme pour la caractérisation de la salinité.....	27
<i>Figure 13: Répartition des valeurs des variables limon, argiles et conductivité selon les horizons</i>	<i>31</i>
<i>Figure 14: Répartition des différents sols salés dans la zone d'étude.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 15: Les sols non salés de la zone d'étude</i>	<i>34</i>
<i>Figure 16 : Répartition des sols salin dans la zone d'étude.....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 17 : Répartition des sols salin à alcali dans la zone d'étude</i>	<i>36</i>
<i>Figure 18 : Intensité de la salinité du sol selon la classification de la FAO (Abrol, et al., 1988)</i>	<i>37</i>
<i>Figure 19 : Influence de la salinité sur les cultures selon la classification de la FAO (Abrol, et al., 1988).....</i>	<i>38</i>

4. Liste des tableaux

Tableau 1 : Classes de pente de la zone d'étude	10
Tableau 2 : Les caractéristiques de la station météorologique de M'sila	15
Tableau 3 : Les précipitations moyennes mensuelles (1988-2008)	15
Tableau 4 : Les précipitations interannuelles de la station de M'sila (1988-2008)	16
Tableau 5 : Les régimes saisonniers	16
Tableau 6 : Les températures mensuelles minimales, maximales et moyennes (°C)	16
Tableau 7 : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent (station de M'sila, 1989-2007).....	17
Tableau 8 : Nombre moyen de jours de gelée par mois (station de M'sila, 1988-2008).....	17
Tableau 9 : Valeurs du Quotient pluviothermique.....	19
Tableau 10 : Valeurs de l'indice (I) d'aridité de (DE MARTONNE (1926)	21
<i>Tableau 11: Statistique descriptive des données.....</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 12: Analyse de la variance multivariable en relation avec la variable Horizon</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 13: Homogénéité des groupes pour variables sable calcaire et pH (test de Newman-Keuls) .</i>	<i>30</i>
<i>Tableau 14 : Homogénéité des groupes pour les variables Argiles, limon et conductivité électrique (test de Newman-Keuls)</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 15 : Corrélation entre les variables quantitative et la vitesse d'infiltration</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 16 : Équations de corrélation entre vitesse d'infiltration et texture</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 17 : Statistique descriptive de la variable complétée vitesse d'infiltration (cm/H)</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 18: Dimension des parcelles non salées dans la zone d'étude</i>	<i>34</i>
<i>Tableau 19 : Dimension des parcelles des sols salins</i>	<i>35</i>
<i>Tableau 20 : Dimension des parcelles occupées par les sols salins à alcali.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 21: Besoin en eau du lessivage en fonction de la tolérance de la culture aux sels</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 22 : Besoins en eau d'irrigation et lessivage donnés en fraction du déficit climatique</i>	<i>40</i>

5. Introduction générale

Dans les régions arides, le climat rend l'irrigation nécessaire à toute mise en culture, ce qui exige une maîtrise de l'usage des ressources en eaux et en sols. Suivant le cas et en fonction des conditions environnementales, les sols contiennent des sels en quantité plus ou moins importante.

L'Algérie est classée comme étant une zone semi-aride à aride du fait de l'importance de l'évapotranspiration par rapport aux précipitations, elle se distingue par un biotope caractérisé par des dépôts géologiques salifères et des nappes phréatiques ou artésiennes salées. La superficie des zones arides et semi- arides couvre près de 95% du territoire (Halitim, Sols des régions arides d'Algerie, 1988) et l'eau d'irrigation entraîne indéniablement une augmentation de la salinité des sols et des zones affectées (Daoud, Influence des conditions salines sur les propriétés physiques des sols des plaines du Chélif., 1999).

L'évaluation de la salinité des sols en vue de leur mise en culture, prend en compte les aspects intensité. Ceci permet une mise en valeur adéquate, notre travail prend en charge cet aspect en traitant les données d'une carte pédologique (EFAGRARIA, 1967) dans le cadre d'un SIG sous Arcgis il comprend les parties suivantes :

- Le premier est consacré à la synthèse bibliographique.
- Le deuxième fait l'objectif du cadre physique de notre zone d'étude.
- Le matériel et les méthodes utilisés constituent le troisième chapitre
- Les résultats et interprétations
- Et enfin une conclusion

6. Chapitre I : Synthèse Bibliographique

CHAPITRE I :
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

1. La salinité des sols :

1.1. Définition :

Les sols est le produit de l'altération, du remaniement et de l'organisation des couches supérieur de croute terrestre l'action de plusieurs facteurs. Le sol ainsi défini attient donc un degré de développement variant Solon la manière dont a été soumis à l'action des facteurs pédogénétique et le laps de temps (Lozet & Mathieu, 2002).

1.2. Les sols salés :

Les sols salé ou sols halomorphes appelés actuellement sols salsodiques représente un pourcentage important de la surface totale des sols dans le monde (CHERBUY, 1991) les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont là où l'évaporation excède les précipitations de façon permanente ou temporaire. Ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines), hydrologique (eaux marines) ou anthropique (gestion hydroagricole) (Girard, Walter, Remy, Berthelin, & Morel, 2005)

Les sols salés contiennent des sels plus solubles que le gypse susceptible de passer dans la solution de sol en quantité assez important pour affecter la croissance des plantes. En conséquence, les sols calcaires ne sont pas des sols salés, même si le carbonate de calcium est un sel comme un autre au plan chimique (Legros, 2007)

La salinisation est un processus d'enrichissement du sol en sels solubles qui est à l'origine de la formation d'un sol salin. La salinisation des sols est le processus d'accumulation des sels à la surface du sol et plus particulièrement dans la zone racinaire, elle se solde par des effets nocifs sur les végétaux et le sol. (MERMOUD, 2006)

Les zones aride et semi-arides couvrent une grande partie des pays de la frange méridionale du pourtour méditerranéen. Dans ces régions, la disponibilité des eaux, leur salinité et celle des sols sont parmi les principaux facteurs limitant la productivité végétale (Zid & Grinon, 1991).un sol est dit salé quand la conductivité électrique de l'extrait de pate saturée est supérieure ou égale à $4dS.m^{-1}$ (Robert, 1996)

2. L'Origine de la salinité

La salinisation des sols peut avoir deux origines :la salinisation primaire et la salinisation secondaire

2.1. La salinisation primaire :

Elle se rencontre par exemple en Mésopotamie elle résulte des processus d'altération des roches la migration et le dépôt des sels dissous dans l'eau dépendant des caractéristiques des milieu naturel et des précipitations dans les régions aride ou semi-aride le lessivage et le transport en profondeur des sels dissous n'existent plus et l'évapotranspiration importante favorise la concentration des sels dans le sol.

Dans les région côtières l'intrusion d'eaux salées et la submersion des terres basses par l'eau des mers provoquent la salinisation de l'eau souterraine et celle des sols (Lallemand, 1980).

2.2. La salinisation secondaire :

On la rencontre dans les sols irrigués due l'accumulation des sels solubles dans le sol

Elle résulte de divers facteurs dont l'irrigation avec des eaux de mauvaise qualité un lessivage insuffisant un drainage inefficace un taux important d'évaporation des remontées de niveau des nappes (Lallemand, 1980).

3. Les Caractéristique des sols salés :

3.1. Les caractéristiques chimiques :

3.1.1. La conductivité électrique CE

La salinisation d'un sol est mesurée par la conductivité électrique elle peut se faire sur l'extrait de la pâte saturée ou la solution du sol dont rapport 1/5 ou 1/10. Elle est exprimée en mmhos/cm ou ds/m à 25 C° (Servant J. M., 1976)

3.1.2. Le pH

Le PH est un paramètre important de la dynamique du sol. C'est une clé en agronomie car le degré d'acidité ou de basicité joue un rôle très important sur l'assimilation des éléments Nutritif par la plante. Il a une influence sur trois composantes importantes de la fertilité d'un sol : la biodisponibilité des nutriments, l'activité biologique et la stabilité structurale. la variation de PH dépend aux variations saisonnières et le pouvoir tampon du sol (le nombre d'ions en réserve sur le complexe argilo-humique, l'état hydrique du sol, sa température et la présence ou non d'une culture en période de croissance (El oumlouki, et al., 2004)

3.1.3. Le taux de sodium échangeable

Le taux de sodium échangeable ou ESP permet de caractériser le stade d'alcalinisation d'un complexe d'échange exprimé en pourcentage selon la formule suivante (Durand, Les sols irrigables (étude pédologique), 1983).

$$ESP = \frac{Na^*}{CEC} 100 \text{ (Meq/100g de sel)}$$

Na⁺ : Sodium exprimé en meq/100g

CEC : Capacité d'échange cationique exprime en meq0 /100g

Le sodium échangeable détruit la structure à partir d'un seuil qui est souvent fixé à 15 (Richards, 1954).

Selon la (FAO, 1984), la limite de la classe pour l'ESP est de :

-ESP 5% légère alcalinité.

-ESP 5-20 % : Alcalinité modéré.

-ESP 20-45% : Alcalinité grave.

-ESP >45 % : Alcalinité très grave.

3.1.4. Le rapport d'adsorption du sodium :

C'est le taux de sodium adsorbé par le rapport aux cation bivalent. ; (SERVANT, 1976).

(Richards, 1954), définit le SAR par la formule suivant :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{Ca^{**} + Mg^{**}}}$$

Na, Ca, Mg en meq/100 de sol.

Le SAR donne une indication sur le risque d'alcalisation du milieu (Mathieu & Pieltain, 2003).

3.1.5. La pression osmotique :

L'effet principal de la salinité est l'augmentation du potentiel osmotique suite à l'augmentation. De la salure dans le milieu de culture ce qui résulte une réduction de la disponibilité en eau pour la culture. En conséquence, la croissance des plantes est affectée. L'utilisation de la CE comme critère pour la salinité semble raisonnable (Aragues, 1983).malgré que les différents sels ne donnent pas la même pression osmotique (Durand, Les sols irrigables (étude pédologique), 1983) le potentiel osmotique est bien lié à la CE du mélange de sels :

$$PO=0.36 CE \text{ (Richards, 1954)}$$

3.2. Les caractéristiques physiques :

3.2.1. La structure

La stabilité structurale d'un sol diminue dès que le taux de sodium échangeable atteint 12 % à 15% (Duthil, 1973).le sodium par son pouvoir gonflant et di dispersant réduit la macroporosité ce qui provoque une diminution de la perméabilité du sol. La diminution de la vitesse d'infiltration d'où une augmentation de la quantité d'eau qui s'écoule à la surface du sol et par conséquent l'érosion s'accroît (Servant J., 1976). Le gonflement et la dispersion dépendant tous deux de la minéralogie de l'argile et de la quantité total de Na⁺ adsorbée sur les sites d'échanges (NEIL & COLEMAN, 1966). Les indice de compression et de gonflement d'une même argile dépendent des cations adsorbés mais le Na⁺ donne les indices plus forts.

3.2.2. La capacité de rétention en eau

Les sols salés peuvent rester humides même en saison sèche grâce à leur teneur en éléments minéraux hygroscopique (Daoud & Halitim, Irrigation et salinisation au Sahara algérien, 1994). Cette réserve hydrique n'est pas à toujours disponible pour les plantes à cause de la pression osmotique élevée de la solution du sol.la capacité de rétention en eau diminue en fonction de la nature de catins dans l'ordre suivant : Na⁺>Mg⁺ >Ca⁺> K⁺ (Emerson & Chi, 1977) .

3.3. Les caractéristiques biologiques

La biodégradation des composés organique peut être ralentie suite à une fort salinité (Mallouhi & Jacquin, 1988).lorsque 'un sel se présente dans un sol en quantité importante ,la teneur en acide humiques diminue et ou le processus d'humification est alors inhibé .si le sol est pauvre en cation ,un risque d'accentuation de l'activité des moisissures nuisibles peut intervenir par contre ,s'il est riche en cations tels que le calcium et magnésium, la formation d'humus est favorisée (Bencharef, 1983).

L'inhibition de l'activité biologique par les sels se traduit par une forte teneur en composés Hydrosolubles, donc très mobiles au détriment des composés plus polys condensés. Un rapport élevé d'acides fulviques/acides humique et une faible teneur en humine d'in solubilisation caractériseraient (Mallouhi & Jacquin, 1988).

Dans leur habitat naturel, les micro-organismes sont fréquemment exposés à des variations de pression osmotique du milieu environnant. En effet, la salinité élevée du sol peut interférer avec la croissance et l'activité des bactéries. Une diminution de celle-ci dans les sols salins conduit à une accumulation de la matière organique non dégradée, ce qui agit négativement sur la disponibilité des nutriments nécessaires la croissance végétale (Mallouhi & Jacquin, 1988).

4. Classification des sols salées

La classification française paraît la plus appropriée dans les zones arides et en particulier pour les sols salés puisque selon (Halitim, Sols des régions arides d'Algérie, 1988). Les sols salés sont rangés dans la classe des sols sodique, elle-même subdivisée en trois sous classe :

4.1. Sous classe des sols sodique à structure non dégradée :

Ce sont des sols salins (solonchak), soumis l'influence d'une nappe salée peu profonde, riches en sels de sodium, caractérisé par une conductivité électrique supérieure à 4mmhos /cm (Duchauffour, 1988).

4.1.1. Sols salins à complexe calcique (solontchaks) :

Très fréquents en Alger (FAO, 2005), caractérisé par $ESP < 15\%$ et un profil peu différencié (Servant M. , 1975) .

Ils se rencontrent dans les zone steppique ou désertique dans lesquelles des nappes salées contiennent à l'instar des sels solubles, une quantité importante de calcium qui alimente la solution du sol. (Halitim, Etude expérimentation de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture, 1973)

4.1.2. Sols salins complexe sodique (solontchak sodique)

Ce type de sol est caractérisé par un $ESP > 15\%$ se rencontre en bordure de mer & ou dans les lagunes côtières, sa stature tend à se dégrader et devient poudreuse (Duchauffour, 1988).

Profils de type AC, $CE > 4\text{mmhos/cm}$, $pH < 8.5$ $ESP > 15\%$.

4.2. Sous classe des sols sodique à structure dégradée

Solon (Duchauffour, 1988), on distingue trois groupes selon l'étape d'évolution des profils :

4.2.1. Sols alcalins non lessives (solontchak solontez) :

Leurs profils sont de type AC ou A (B) cils sont fréquents en Algérie (Durand, Etude géologique hydrogéologique et pédologique des croutes en Algérie, 1953) $CE > 4\text{mmhos/cm}$ à 25°C , $pH > 8.5$ $ESP > 15\%$.

4.2.2. Sols alcalins lessives :

L'horizon de surface A pauvre en argile (migration par l'effet de lessivage). (Duchauffour, 1988). Ces sols existent en Algérie mais sont très localisés dans les zones humides (Durand, Etude géologique hydrogéologique et pédologique des croutes en Algérie, 1953). $CE < 4\text{mmhos/cm}$. $pH > 8.5$ $ESP > \%$.

5. Mise en valeur des sols salés

La restauration des sols salins et leur mise en valeur nécessitent des investissements très importants qu'il faut évaluer afin de justifier sur le plan de rentabilité des investissements nécessaires pour les différentes phases une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

- L'élimination des excès de sels (lixiviation) et la suspension de la source de sodium. (Drainage de la nappe salée).
- L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.
- La reconstitution de la fertilité par des amendements organiques et minéraux
- Des pratiques culturales particulières, labour de défoncement, ratissage des sels en surface (Girard, Walter, Remy, Berthelin, & Morel, 2005).

5.1. Lixiviation

Le meilleur moyen de contrôle de la salinité du sol pour maintenir un bilan des sels favorable dans le profil des sols irrigués est le lessivage, c'est-à-dire tendre vers une irrigation efficace avec un

lessivage adéquat minimal afin de minimiser la pollution du site. Car malheureusement, le lessivage des eaux vers les drains à partir de la zone racinaire du sol envoie fréquemment les sels dans la nappe superficielle, ce qui peut dégrader la qualité de l'eau. (Daoud & Halitim, Irrigation et salinisation au Sahara algérien, 1994)

5.2. Drainage

Le drainage de même que l'irrigation est une opération qui pour objectif de maintenir l'humidité du sol dans les limites requises pour une croissance optimale des végétaux. Généralement, le drainage de certaine zone est nécessaire soit pour rabattre une nappe phréatique proche de surface du sol et nuisible pour la culture, ou évacué les eaux salées (lixiviation) pour autre zone (Cherbuy, 1991)

6. Influence de la salinité sur les végétaux :

La présence de sels solubles en forte concentration dans le sol, affecte les mécanismes physiologiques de la plante, et constitue un facteur limitant majeur de la production végétale. Ainsi, la tolérance des plantes cultivées demeure limitée, compte tenu de la complexité des mécanismes impliqués dans la tolérance des plantes au sel (Bissati, Djerroudi, Mehani, & Belkhodja, 2011)

Les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes (PARIDA & DAS, 2005) :

6.1. Le stress hydrique :

Une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique.

6.2. Le stress ionique :

En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique (PARIDA & DAS, 2005)

6.3. Le stress nutritionnel :

Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale. En particulier, vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires, le Sodium entre en compétition avec le Potassium et le Calcium, les chlorures avec le nitrate, le phosphate et le sulfate (PARIA & DAS, 2005)

7. Chapitre II : Milieu Physique

CHAPITRE II : MILIEU PHYSIQUE

1. Situation géographique

La zone d'étude représente la partie sud du périmètre irrigué de Ksob, enclavé entre le Chott el Hodna au sud et le barrage de Ksob au Nord. Il est délimité par les coordonnées suivantes :

- Nord : Longitude 4.543392° Latitude 35.695535°
- Sud : Longitude 4.543392° Latitude 35.596740°
- Est : Longitude 4.647265° Latitude 35.640446°
- Ouest : Longitude 4.498631° Latitude 35.635102°

La zone d'étude s'étend sur une superficie de 11303 ha avec un périmètre de près de 48.2 km. Voir figure (01)

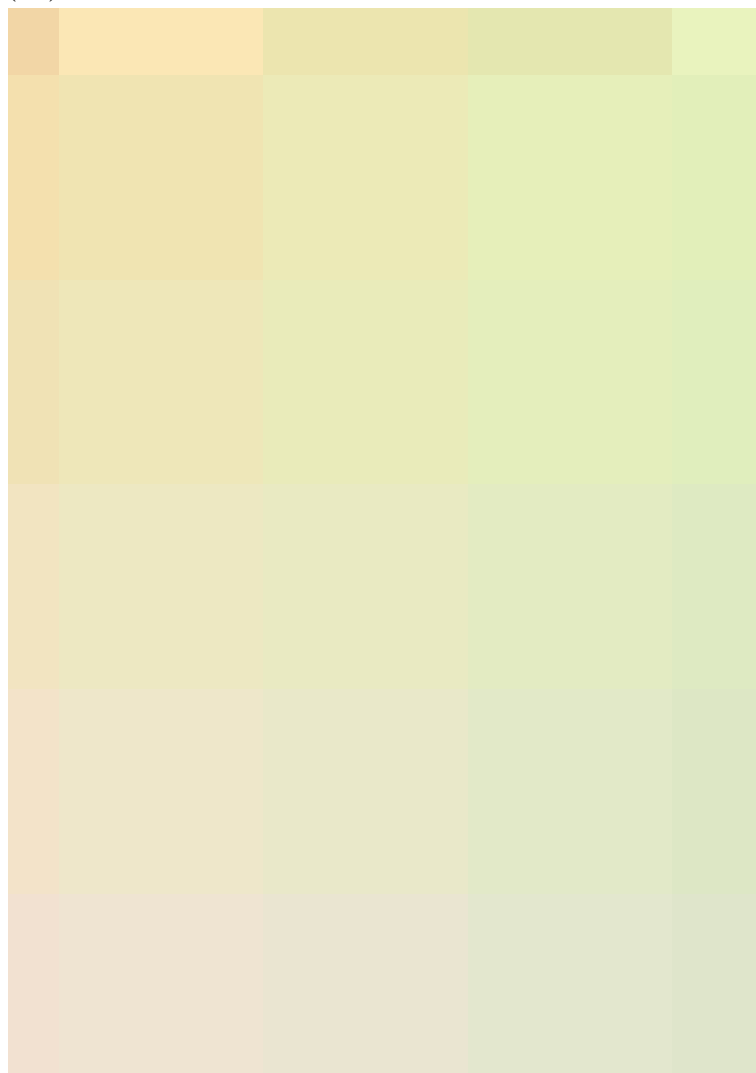


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

2. Les caractéristiques physiques

2.1. Relief

La zone d'étude est occupée en majeure partie par des plaines totalisant plus de 95% de la superficie totale, le reste (moins de 5 %) représente les piémonts (voir tableau 01), d'où la convenance de la zone à l'agriculture irriguée et mécanisée.

Tableau 1 : Classes de pente de la zone d'étude

La classe des pentes (%)	Superficie (%)	Le relief
0 - 3%	61.34%	Plaine
3 - 6%	34.43%	Plaine
6-12.5 %	4.13%	Bas piémonts
12.5- 25%	0.1%	Hauts piémonts

Source : original

Les surfaces des plaines occupent l'ensemble de la zone d'étude avec une dissémination irrégulière de petites surfaces des piémonts. (Voir figure02)

Figure 2 : Classe des pentes de la zone d'étude (source : originale) carte de fond world street map : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>

2.2. Hydrologie

La zone d'étude est drainée par l'oued permanent de Ksob et son prolongement oued M'sila, et oued Attia qui est intermittent et passe à l'Est d'oued M'sila. (Voir figure 3)

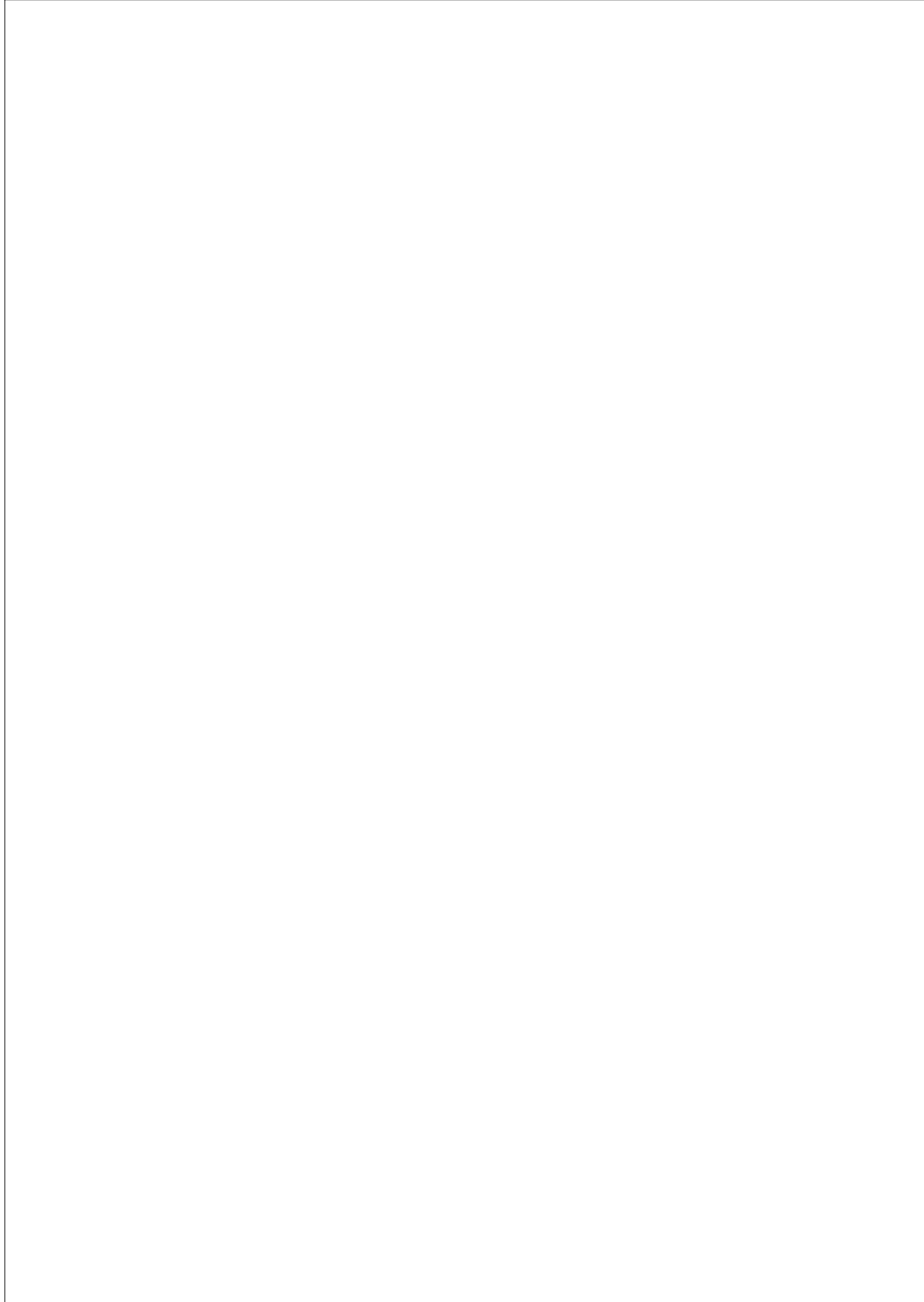


Figure 3: Réseau hydrographique de la zone d'étude (source carte de fond world base map : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>)

2.3. Géologie

La géologie de la zone d'étude est dominée par le quaternaire représenté par des alluvions fines.

La géologie nous renseigne sur la présence du calcaire du gypse et éventuellement du sel, Voir (figure 04) ces critères jouent un rôle important dans la pédogenèse des milieux arides. (HALTIM, ROBERT, & PEDRO, 1983)

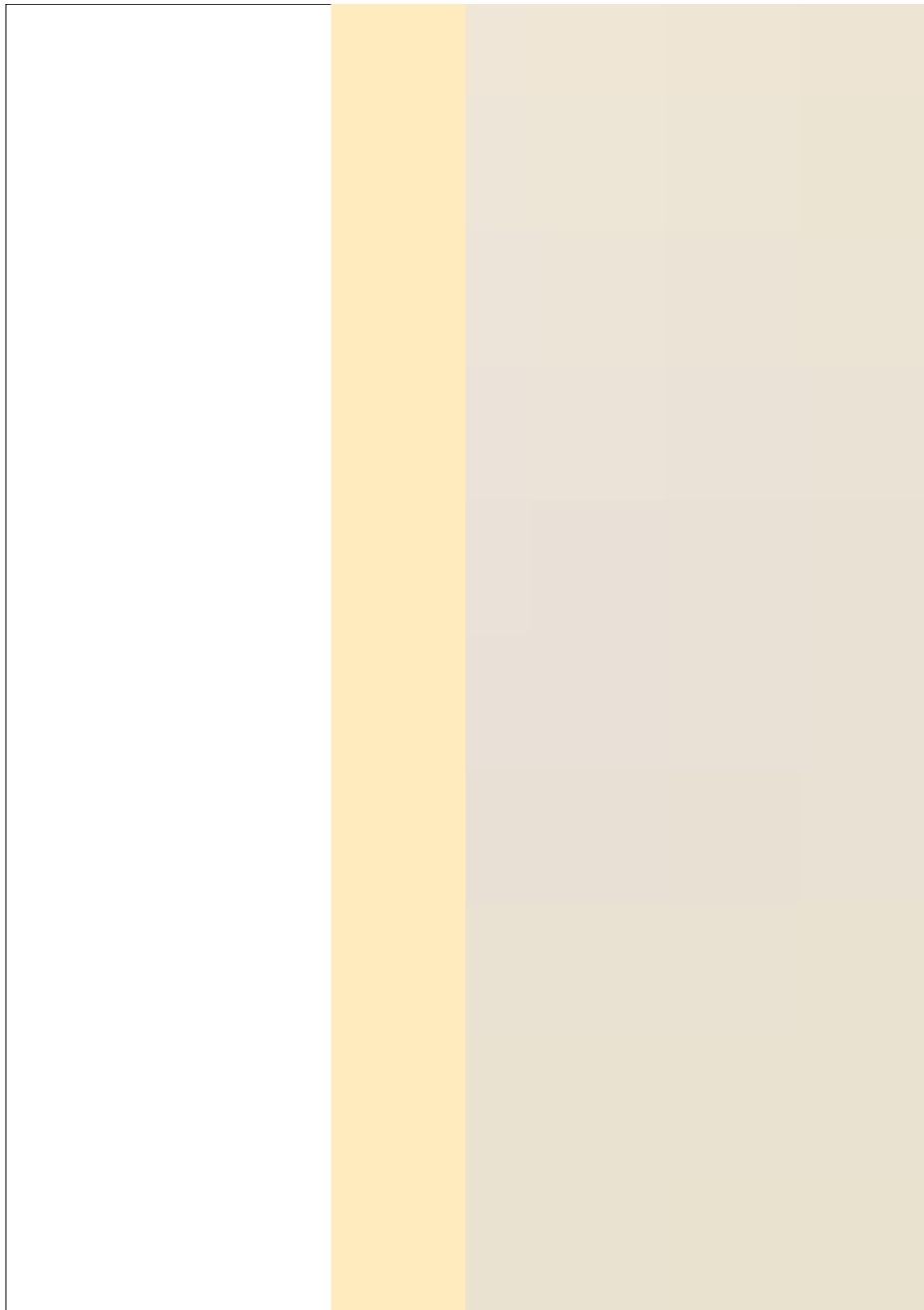


Figure 4 : Géologie de la zone d'étude (source : extrait de la carte géologique de l'Algérie 1/500000. (FLANDRIN, 1952) Carte de fond world base map : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>)

2.4. Pédologie

Les sols de la zone d'étude figurent la carte établie par Bouyadgiev qui englobe les sols suivants : voir figure 5

- **Classe 2 : Sols peu évolués alluviaux :**

Sols de profil AC contenant plus que des traces de matière organique dans les 20 premiers centimètres, formés par apport alluvial ils constituent la majeure partie des sols de la zone d'étude.

- **Classe 3 : sols calcimagnésique :**

Ce sont des sols dont les horizons supérieurs sont riches en alcalinoterreux (Ca et Mg), le profil est de type AC. AR. A(B)R ; la matière organique de l'horizon A est fortement liée à la matière minérale (formation d'une bonne structure). Ce sont les sols à encroûtement calcaire localisés à la partie ouest de la carte et associés aux lithosols un plus au nord.

- **Classe 4 : Sols isohumiques :**

Sont caractérisés par l'incorporation profonde (au moins jusqu'au matériel originale) de la matière organique, en milieux arides ils sont représentés par les Sierozems visible sur la partie centrale de la carte.

- **Classe 5 : Sols Halomorphe :**

Caractérisés par la présence des sels solubles dans la solution du sol avec un concentration de l'extrait de pate saturée supérieure à 4 mmhos/cm.

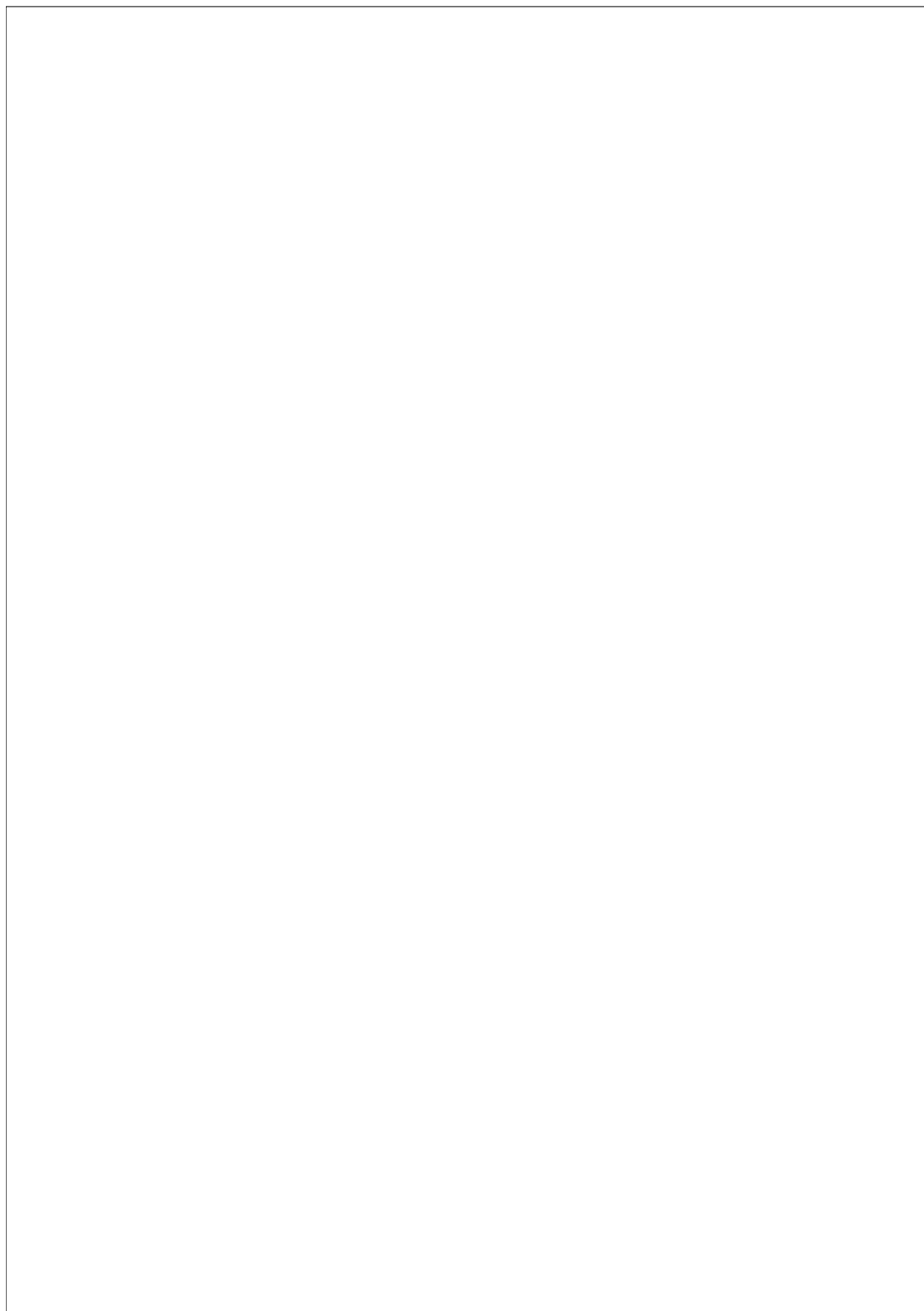


Figure 5 : Pédologie de la zone d'étude source extrait des cartes pédologiques ; Pédologie1 (BOYADGIEV, 1975) et Pédologie2 Source spécifiée non valide. carte de fond world base map : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>)

2.5. Climat

Pour l'étude climatique, nous avons utilisé les données récentes fournies par la station météorologique de M'sila située à 441 m. Voir les caractéristiques de la station dans tableau 02

Tableau 2 : Les caractéristiques de la station météorologique de M'sila

Caractéristique de station	Coordonnées géographiques		Altitude (m)	Donnée disponible	Période	Sources des données
	Latitude	Longitude				
M'sila	35°.40'Nord	4°.30'Est	441m	P - T	1988-2008	Station météorologique

P : pluviométrie (mm). T : température (°c).

2.5.1. Pluviométrie

On désigne sous le terme général de pluviométrie la quantité totale de précipitations (pluie, gèle, neige) reçue par unité de surface et unité de temps.

Elle constitue un facteur écologique d'importance fondamentale, pour le fonctionnement et la réparation des écosystèmes terrestre. (RAMADE, 2009)

Les données pluviométriques de 21 ans sont regroupées dans le tableau n° 3

Tableau 3 : Les précipitations moyennes mensuelles (1988-2008)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Total
Station météorologique de M'sila (1988-2008)													
441	18,9	12,7	15	20,8	27,5	9,3	4,2	8,2	27,5	22	20,4	20,5	207
La zone d'étude													
425	18.6	12.50	14.77	20.48	27.07	9.16	4.14	8.07	27.07	21.66	20.08	20.18	203.80
500	19.9	13.42	15.86	21.99	29.07	9.83	4.44	8.67	29.07	23.25	21.56	21.67	218.80
600	21.82	14.66	17.32	24.01	31.75	10.74	4.85	9.47	31.75	25.40	23.55	23.66	238.80

Les quantités pluviométriques sont réparties d'une manière relativement assez homogène pour les périodes pluvieuses c'est-à-dire du mois de Septembre jusqu'au mois de Mai (à l'exception pour le mois de février qui enregistre une valeur relativement faible).

Nous remarquons que le minimum pluviométrique est observé au mois de juillet et le maximum des pluies enregistrés au mois de Septembre et Mai (27.5mm).

La moyennes des précipitations annuelles enregistrées pendant la série (1988-2008) est de 207mm.

L'examen des totaux des précipitations interannuelle fait ressortir une certaine irrégularité de précipitation d'année en année, avec un maximum de 317mm en 1997 et un minimum de 105 mm en 1993 et un écart moyen de 52.57 voire tableau (04).

Tableau 4 : Les précipitations interannuelles de la station de M’sila (1988-2008)

Année	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994		1995	1996
P(mm)	213	195	275	258	183	139	177		138	238
Année	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003		2004	2005
P(mm)	317	213	282	146	157	105	348		252	125
Année	2006	2007	2008	Moyenne	Écart moyen					
P(mm)	225	188	171	207	52.57					

Le régime de la station de M’sila et la zone d’étude est du type **A.P.H.E.** Les précipitations estivales sont nettement plus faibles que celles des autres saisons. L’Automne est plus humide que les autres saisons. Voir tableau (05)

Tableau 5 : Les régimes saisonniers

Saiso n	Hiver	Printemps	Eté	Automne	Total	Indicatif saisonnier
Station météorologique de M’sila (1988-2008)						
Altitude	441	63.30	21.70	69.90	207	A.P.H.E
La zone d’étude						
425	51.29	62.32	21.37	68.81	203.80	A.P.H.E
600	60.14	73.08	25.06	80.70	238.80	A.P.H.E

A = Automne / E = Été / P = Printemps / H = Hiver

2.5.2. Température

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l’ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d’être vivant dans la biosphère (RAMADE, 2009).

Les températures moyennes minimales et maximales (1988-2008) sont consignées dans le tableau 06 suivant :

Tableau 6 : Les températures mensuelles minimales, maximales et moyennes (°C)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moy
Station météorologique de M’sila (1988-2008) à 441m d’altitude													
T.min	3.2	4	7.3	10.3	15.6	20.6	24.1	23.9	18.9	14.3	8.1	4.4	12.9
T.max	14.2	16.5	20.7	23.5	28.3	35	38.8	38.3	32.6	26	19	14.3	25.6
M+m/2	8,7	10.3	13.9	16.8	22	27.8	31.6	31	25,7	20.2	13.5	9.4	19.2

Les données thermiques sur 21 ans nous permettent de distinguer les observations suivantes :

- Le maximum de température est enregistré en juillet.
- Le minimum de température est enregistré en janvier.
- Les moyennes thermiques mensuelles sont plus basses en janvier (le mois le plus froid) et les plus élevées en juillet (le mois le plus chaud).

- Les températures moyennes annuelles sont respectivement de 19.2°C à la station de M’sila, 19.3°C à 425m, 18.9°C à 500m et 18.5°C à 575m d’altitude à la zone d’étude.

2.6. Les autres facteurs climatiques

2.6.1. Les vents

La région de M’sila est dominée par des vents (vitesse moyenne 4.1m/s), sont généralement de l’Est secondés par ceux du Nord-est en période hivernale (25-30%) et diminue en Eté (5-10%). Voir tableau (07)

Le vent du Sud domine en Eté (20%) et diminue en Hiver jusqu’à (5%).

Le vent chaud dit « SIRROCO » apparaît durant les mois de Juin, Juillet et Aout (FAO, 1992)

Tableau 7 : Moyenne mensuelle de la vitesse du vent (station de M’sila, 1989-2007)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D	Moyenne
Vitesse du vent (m/s)	3.6	3.9	4.3	5.2	4.6	4.6	4.4	4.1	3.8	3.7	3.6	3.8	4.1

2.6.2. La neige

La durée d’enneigement moyen au sol exprimé par le nombre de jours où le sol est couvert de neige, est une donnée très utile à connaître car plus la neige persiste au sol et plus le potentiel hydrique de celui-ci augmente. Assurant ainsi aux végétations une meilleure alimentation en eau. (DJEBAÏLI, S, 1984).

A la région d’étude la durée d’enneigement est de 10 j/an de neige pendant la période hivernale qui donne un bon effet sur la végétation et l’infiltration de l’eau dans le sol.

2.6.3. La gelée blanche

Le nombre de jour de gelée est de 12 jours par ans, moitié en janvier (6 jours) suivie de décembre (3jours), février (2jours) et enfin mars (1jour). Voir tableau 08

Tableau 8 : Nombre moyen de jours de gelée par mois (station de M’sila, 1988-2008)

Mois	J	F	M	A	M	J	JT	A	S	O	N	D
Nombre de jours gelés blanches	6	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3

2.7. La synthèse climatique

2.7.1. Diagramme Ombrothermique de **BAGNOULS et GAUSSEN**

Le diagramme Ombrothermique de **BAGNOULS et GAUSSEN (1953)** est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l’année, où

sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**), avec **P=2T**.

La figure (09) porte sur le Diagramme Ombrothermique de la zone d'étude établi à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 21 ans.

La période sèche s'étale lorsque la courbe de pluviosité se trouve en dessous de la courbe de température ; il s'agit le plus souvent d'une saison sèche estivale (OZENDA, 1982).

La saison sèche se prolonge sur 10 mois dans la zone d'étude de février à novembre, les mois humides sont décembre et janvier voire figure (06).

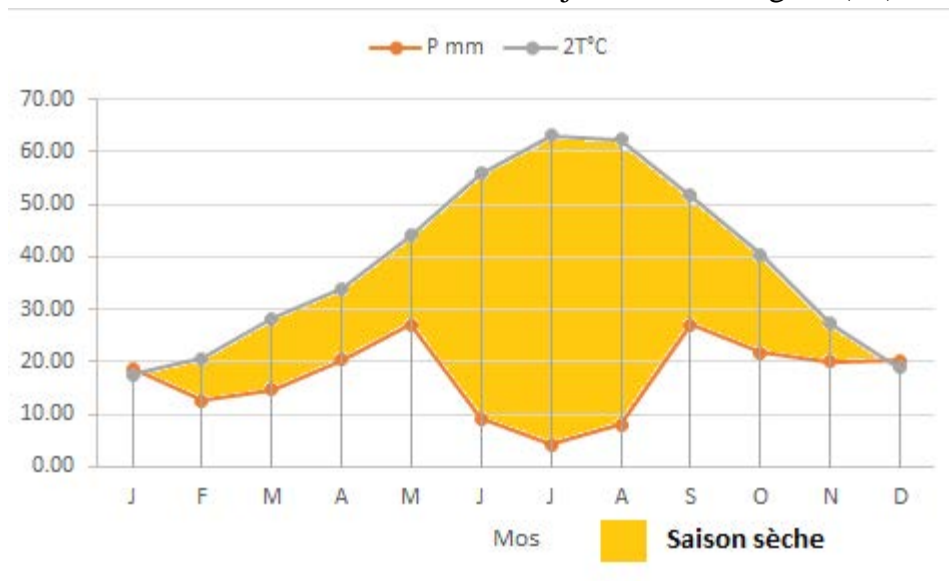


Figure 6 : Les Diagrammes Ombrothermiques de la zone d'étude

2.7.2. Quotient pluviothermique d'EMBERGER

L'interférence entre la température et l'évaporation a conduit les biogéographes à proposer divers indice pluviothermique ayant pour objet de mesurer la plus ou moins grande humidité (ou aridité climatique). Le quotient pluviothermique d'Emberger (1923) (symbolisé par I_p ou encore Q_2), établi initialement pour les régions méditerranéennes, prend en considération le fait que l'évaporation annuelle est d'autant plus élevée, toutes choses égales par ailleurs, que l'amplitude thermique est plus grande. (RAMADE, 2009)

L'expression du Quotient pluviothermique d'EMBERGER est la suivante :

$$I_p = 1000 * [P / ((M+m)/2) * (M-m)]$$

Soit encore :

$$Q_2 = 2000P / (M^2 - m^2)$$

Q₂ : Quotient pluviothermique d'EMBERGER.

P : La pluviosité moyenne annuelle en mm.

M : La moyenne des maximums du mois le plus chaude en degrés kelvin.

m : La moyenne des minimums du mois le plus froid en degrés kelvin. « Les températures sont exprimées en degrés kelvin : $t^{\circ} k = t^{\circ} c + 273^{\circ} c$ ».

- L'usage du Quotient pluviothermique permis à son auteur de proposer une classification des climats méditerranéens qui est fort utile en écologie. (RAMADE, 2009)

D'après (LE HOUEROU, 1995):

- La zone semi-aride :
Pluviosité moyenne annuelle : 400 à 600 mm
Longueur de la saison pluvieuse : 15 à 100 jours.
Q₂ : 40 à 80.
- La zone aride :
Pluviosité moyenne annuelle : 100 à 400 mm
Longueur de la saison pluvieuse : 15 à 100 jours.
Q₂ : 10 à 45.
- La zone hyperaride :
Pluviosité moyenne annuelle : inférieure à 100 mm
Longueur de la saison pluvieuse : 0 à 15 jours.
Q₂ : inférieure à 10.

Tableau 9 : Valeurs du Quotient pluviothermique

Station	P (mm)	m° k	M° k	Q ₂	Étage bioclimatique
M'sila 441 m	207	276.2	314.8	18.15	Aride inférieure à hiver tempéré

Le tableau (09) montre que la zone d'étude appartient à l'étage bioclimatique aride inférieure à hiver frais à tempéré. Elle est visible sur le climagramme d'Emberger de la figure (07)

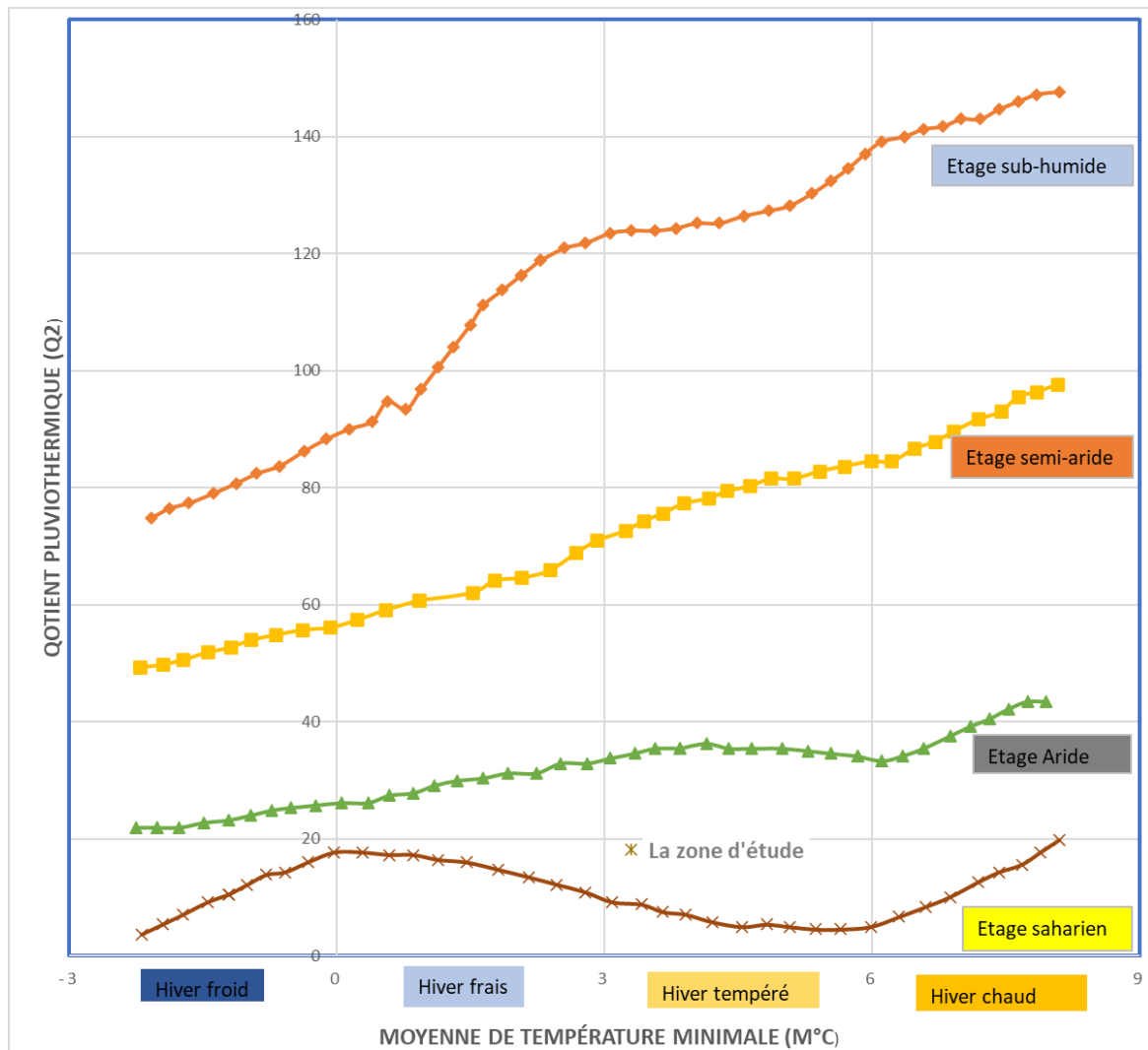


Figure 7 : Climagramme d'Emberger

2.7.3. Indice d'aridité de DE MARTONNE

L'indice d'aridité (I), a été défini par **DE MARTONNE (1926)** pour des études hydrologiques, mais il est parfois utilisé pour souligner les grandes variabilités climatiques et biogéographiques. Les valeurs obtenues sont d'autant plus basses que le climat est aride. Un indice supérieur à 20 indique une humidité suffisante ; la tendance à la sécheresse s'affirme entre 10 et 20 ; au-dessous de 10 c'est l'aridité et au-dessous de 5 un climat hyperaride.

$$I = P/(T+10)$$

I : Indice d'aridité.

P : Précipitation annuelle moyenne (mm).

T : Température annuelle moyenne (°c).

(FOUCAULT, 2009)

Tableau 10 : Valeurs de l'indice (I) d'aridité de (DE MARTONNE (1926))

Station	P (mm)	T (°c)	I
Station météorologique de M'sila à 441m	207	19.2	7.09

La zone d'étude est donc qualifiée d'aride voir tableau 10.

8. Chapitre III : Matériel et Méthodes

***CHAPITRE III :
MATERIEL ET
METHODES***

1. Le matériel d'étude

1.1. Choix de la zone d'étude

Notre choix a porté sur la partie sud du périmètre de Ksob située entre la ville de M'sila et le Chott à cause de la disponibilité de la carte des sols comprenant des profils types, et une notice qui renferme les données analytiques des dits profils, l'étude a été réalisée par le bureau d'étude Efragaria. (EFAGRARIA, 1967)

1.2. Les documents de base de l'étude

Pour l'évaluation de la salinité du sol nous avons pris en considération les caractéristiques suivantes en relation avec la caractérisation et la mise valeur des sols salé réclamé par (Richards, 1954) :

- La texture du sol matérialisée par les fractions Argiles, Limon et Sables
- Le pH_{eau} ou acidité actuelle du sol
- La conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée
- L'ESP ou pourcentage du sodium échangeable
- La vitesse d'infiltration qui caractérise le drainage naturel
- Le calcaire actif utilisé comme source de calcium lors de la mise en valeur.

Les documents utilisés sont :

- Le MNT de la zone d'étude télécharger à partir du site : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services> pour l'analyser du relief de la zone d'étude (carte des pente)
- Cartes pédologiques au 1/10000 au nombre de six couvrant l'ensemble de la zone d'étude.
- Fiches analytiques et d'observations des profils types décrit et analysés.
- Carte géologique de l'Algérie 1/500000 (FLANDRIN, 1952)
- Carte pédologique du Hodna 1/800000 (BOYADGIEV, 1975)
- Hydrographie de la zone d'étude extraite de la carte de base à partir du site : <http://services.arcgisonline.com/arcgis/services>

2. Méthodes d'étude :

L'étude comprend l'analyse statistique des variables utilisé dans la présente étude, la réalisation d'un système d'information géographique (SIG) sur Arcgis 10.8, en se basant sur les documents disponibles et enfin l'exploitation du SIG pour la caractérisation et la mise en valeur de la salinité du sol.

2.1. Analyse statistique des données

L'analyse statistique à été réalisée sur Statistica 12 elle comprend les statistiques descriptives des différentes variables utilisées, l'analyse de la variance par rapport aux horizons du profil (variable de classement) et l'analyse des corrélations entre les variables. Voir figure 08

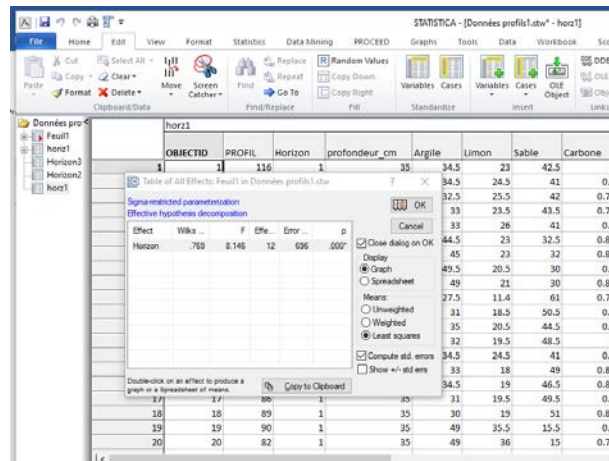


Figure 8 : Analyse statistique sur Statistica12

2.2. Réalisation d'un SIG

Cette commence par la numérisation et le géoréférencement de la carte des sols, se prolonge par la vectorisation des données points concernant les profils des sols et enfin la définition et l'instruction des tables d'attributs liées aux variables étudiées.

2.2.1. Numérisation et géoréférencement de la carte des sols

La carte pédologie numérisé est obtenue sous forme de fichier (.img,) une fois ouvert sur Arcgis10.8 on entame l'opération de Calage de la carte en utilisant des repères connus car la grille du système de coordonnées n'existe pas. On ce qui nous concerne nous avons choisi le système de coordonnées projeté UTM (WGS84) zone 31. Voir figure 09

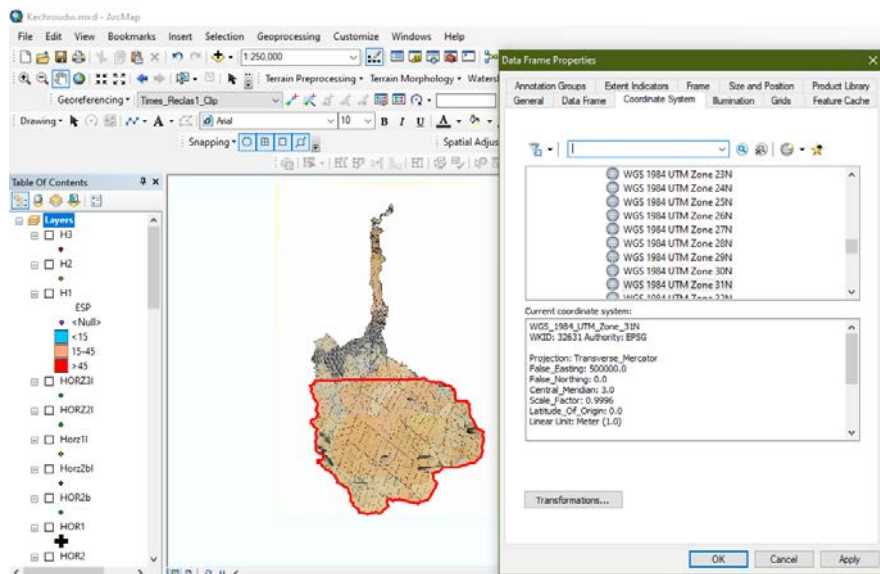


Figure 9 : Calage et géoréférencement de la carte pédologique sur Arcgis10.8

2.2.2. Vectorisation des profils types

L'opération consiste à extraire de la carte pédologique les données ponctuelles matérialisant les profils types elle est réalisée en deux temps ; on commence par créer un fichier vecteur de type point ensuite l'instruire manuellement point par point à partir de la carte pédologique. Voir figure 10

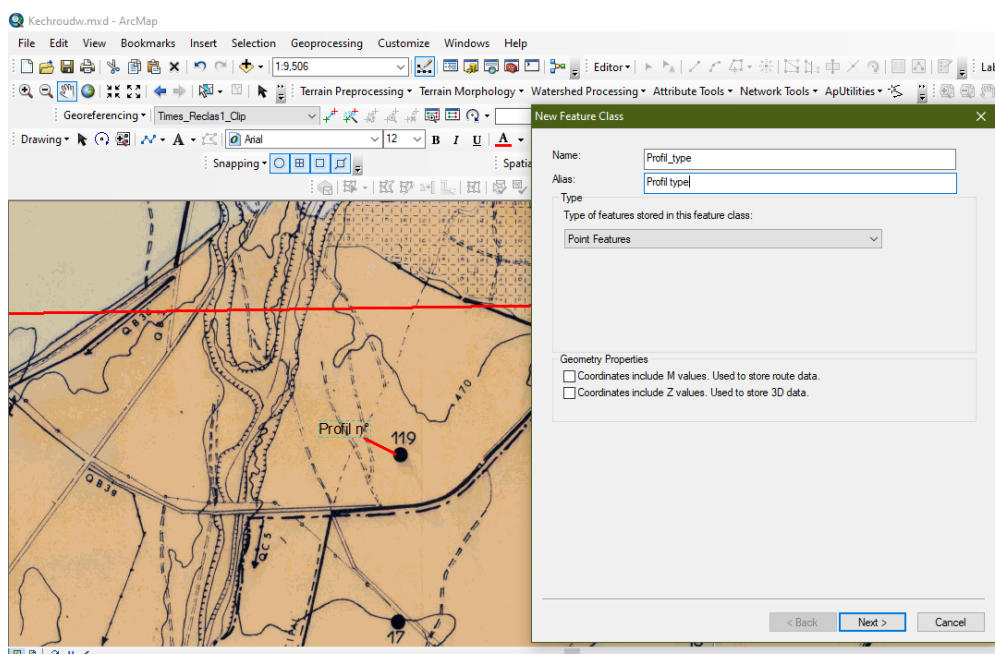


Figure 10 : Création de fichier vecteur de type point sur Arcgis10.8

2.2.3. Les tables attributaires

Chaque profil type est constitué de trois horizon ; horizon1(0-35cm), horizon2 (35-50cm) et horizon3 (50-80cm) donc pour chaque horizon une table d'attribue est créer elle prend en considération les variables citées au paragraphe 1.2 ci-dessus. Voir figure 12

PPOINT Y	POINT Z	PROFIL	Horizon	Argile	Limon
3950938.6396	35	80	1	45	30
3951130.7222	35	1	1	50	37
3950901.9018	35	119	1	47.5	37
3951054.4154	35	104	1	48	37
3949751.411	35	102	1	47.5	26
3950227.6707	35	98	1	54	28.02
3950535.5292	35	94	1	56	30.5
3950443.4348	35	17	1	42	31
3950340.8153	35	16	1	49	39.5
3950519.7416	35	2	1	47.5	38
3949967.1751	35	3	1	42	40
3950222.4082	35	79	1	49.5	32
3950464.4849	35	77	1	48	33.5
3950161.889	35	75	1	31	24.5
3950809.1812	35	76	1	30.5	25.5
3949496.1779	35	72	1	35	31
3948919.93	35	73	1	45	32
3948390.9681	35	74	1	43.5	32
3948948.874	35	5	1	39	31

Figure 11 : Table attributive pour l'horizon 1

2.3. Les requêtes

Les requêtes sur le SIG ont pour but la caractérisation de la salinité et la présentation de la mise en valeur adéquate à chaque type de salinité.

2.3.1. Caractérisation de la salinité

La caractérisation de la salinité se base sur les trois variables ; la conductivité électrique CE de l'extrait de pâte saturée, le pH et le pourcentage de sodium échangeables, les deux premières variables sont des variables continue alors que la troisième est discrète (<15%, 15-25%, 25-45) (Richards, 1954) voire l'organigramme de la caractérisation de la salinité figure 12

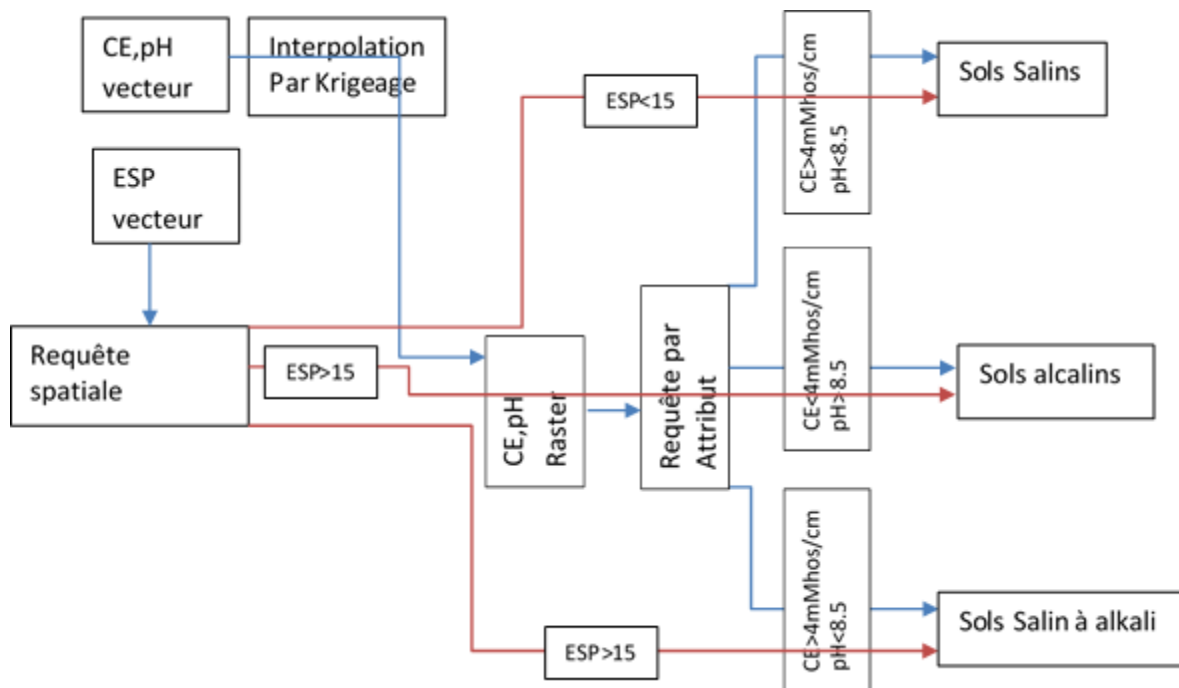


Figure 12 : Organigramme pour la caractérisation de la salinité

Pour généraliser les valeurs des variables continues (pH et CE) sur l'ensemble de la zone d'étude il est nécessaire d'interpoler les valeurs ponctuelles de ces variables par l'une des méthodes en usage pour ce faire nous avons choisie la méthode du Krigeage ordinaire. Sur le raster obtenu on effectue une sélection multivariable par attribut (le valeur seuil de pH (8.5) et de CE (4 mMhos/cm) le résultat est croisé par des requêtes spatiale (intersection avec la couche ESP) en utilisant les valeur seuil de 15%. Le résultat est aussi un raster représentant les trois classes des sols salés qu'il va falloir convertir en vecteur polygone avant affiche.

2.3.2. Mise en valeur des sols salés

Selon (Richards, 1954), la mise en valeur des sols salé (CE < 4 mMhos/cm, pH < 8.5, Esp < 15%) nécessite le lessivage des sels en excès et le drainage pour évacuer les sels de la zone exploitée par les racines et éviter leur remonté par capillarité.

Selon (MERMOURD, 2006) les besoins en lessivage sont donnés par la formule suivante
 $LR = C_i / C_s = CE_i / CE_s$

LR : Besoin en eau du lessivage en fraction du besoin de la culture

C_i et CE_i : concentration en sels et conductivité électrique de l'eau d'irrigation

C_s et CE_s : concentration en sels et conductivité électrique de l'eau de drainage telle que l'effet sur les cultures reste limité.

Selon le même auteur s'il en veut garantir les besoins de la plante et conserver la zone racinaire à une concentration en sels inférieure au seuil toléré par la culture, (Mermourd, 2006) propose la formule suivante :

$$IR = (C_s / (C_s - C_i)) * (ET - Pr)$$

IR : Besoin en eau d'irrigation et lessivage pour assurer une concentration en sels inférieure au seuil

Cs : Concentration en sels dans la zone racinaire

Ci : Concentration en sels de l'eau d'irrigation

Les sols salés présentant le taux de sodium échangeable (ESP) supérieur à 15 pourcents sont mis en valeur par un amendement constitué par une source de calcium soluble (gypse par exemple le calcaire actif constitue une source de calcium, et même le calcaire total, mais moins soluble au pH alcalin dans ce cas l'emploi de l'acide sulfurique peut améliorer la solubilité du calcium. (Sol-Na + CaSO₄ = Sol-Ca + Na₂SO₄) le sulfate de sodium est nocif pour les plante (Abrol, Yadav, & Massoud, 1988)

Selon (Abrol, Yadav, & Massoud, 1988) le taux de sodium échangeable doit être abaissé jusqu'à 5%.

En prenant en compte cette condition les besoins en amendement sont donnés par la formule suivante :

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ (meq/100g)} = (X-5) * \text{CEC}/100$$

CaSO₄·2H₂O : Besoin en gypse en meq/100g du sol

X : valeur de ESP en % si supérieur ou égale à 15%

CEC capacité d'échange cationique en meq/100g

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ (%) } = [(X-5) * \text{CEC}/100] * 0.068$$

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ (Kg/Ha)} = (X-5) * \text{CEC} * 0.068 * \text{das} * \text{Pr} * 10^{-6}$$

Pr: profondeur en cm

Das : densité apparente sèche (g/cm³)

9. Chapitre 4 : Résultats et Discussion

CHAPITRE IV : RESULTATS ET INTERPRETATION

1. Présentation des données

L'analyse des données montrent que le nombre d'observation concernant la vitesse d'infiltration est faible 60 sur 356 pour les autres variables (voir tableau 11) d'où la nécessité de compléter les données manquantes en exploitant d'éventuelles corrélation entre la vitesse d'infiltration et les autres variables.

Nous remarquons aussi que l'écart type est plus élevé pour les variables sable et vitesse d'infiltration.

Tableau 11: Statistique descriptive des données

Variable	Descriptive Statistics				
	Valid N	Mean	Minimum	Maximum	Std.Dev.
Argile %	356	45.76573	27.50000	61.50000	7.66741
Limon %	356	30.50146	6.00000	51.50000	7.35307
Sable %	356	23.75056	3.50000	66.50000	12.93960
Poids spécifique apparent	356	1.14654	1.02000	1.30000	0.04177
Vitesse d'infiltration mm/h	60	40.41667	30.00000	99.00000	16.96286
Conductivité mMHos/cm	356	6.99270	0.80000	45.60000	4.54064
pH	356	8.09466	3.20000	8.60000	0.30682
CACO3 %	356	35.86826	19.70000	56.85000	4.99193

2. Analyse de la variance

L'analyse de la variance pour l'ensemble des variable quantitatives montre des variances significatives selon les horizons (voir tableau 12)

Tableau 12: Analyse de la variance multivariable en relation avec la variable Horizon

Tests de signification multivariés						
Effect	Test	Value	F	Effect df	Error df	p
Intercept	Wilks	0.000040	1460304	6	348	0.000000
Horizon	Wilks	0.768857	8	12	696	0.000000

L'analyse de l'homogénéité des groupes montre que les variables sable, pH et calcaire sont homogène vis à vis des horizons. Voir tableau 13

Tableau 13: Homogénéité des groupes pour variables sable calcaire et pH (test de Newman-Keuls)

Horizon	pH Mean	1
2	8.056667	****
1	8.102500	****
3	8.125862	****
Horizon	CACO3 % Mean	1
2	35.24500	****
1	35.86250	****
3	36.51897	****
Horizon	Sable % Mean	1
2	22.64083	****
3	24.18966	****
1	24.43583	****

Alors que les variables conductivité électrique, limon et argiles sont homogène pour les horizons 1 et 2 pour la conductivité électrique et 2 et 3 pour les variables limon et argiles voir tableau (14)

Tableau 14 : Homogénéité des groupes pour les variables Argiles, limon et conductivité électrique (test de Newman-Keuls)

Horizon	Argile (%) Moyenne	1	2
1	43.26083		****
3	46.57155	****	
2	47.49167	****	
Horizon	Limon % Moyenne	1	2
3	29.23966	****	
2	29.87333	****	
1	32.34933		****
Horizon	Conductivité (mMhos/cm) Moyenne	1	2
1	6.041667	****	
2	6.840000	****	
3	8.134483		****

Les variables argiles et conductivité montrent des valeurs moins importantes en surface (horizon1) et augmentent en profondeur (horizon 2et3) la situation est inversée pour la variable limon voir figure (13)

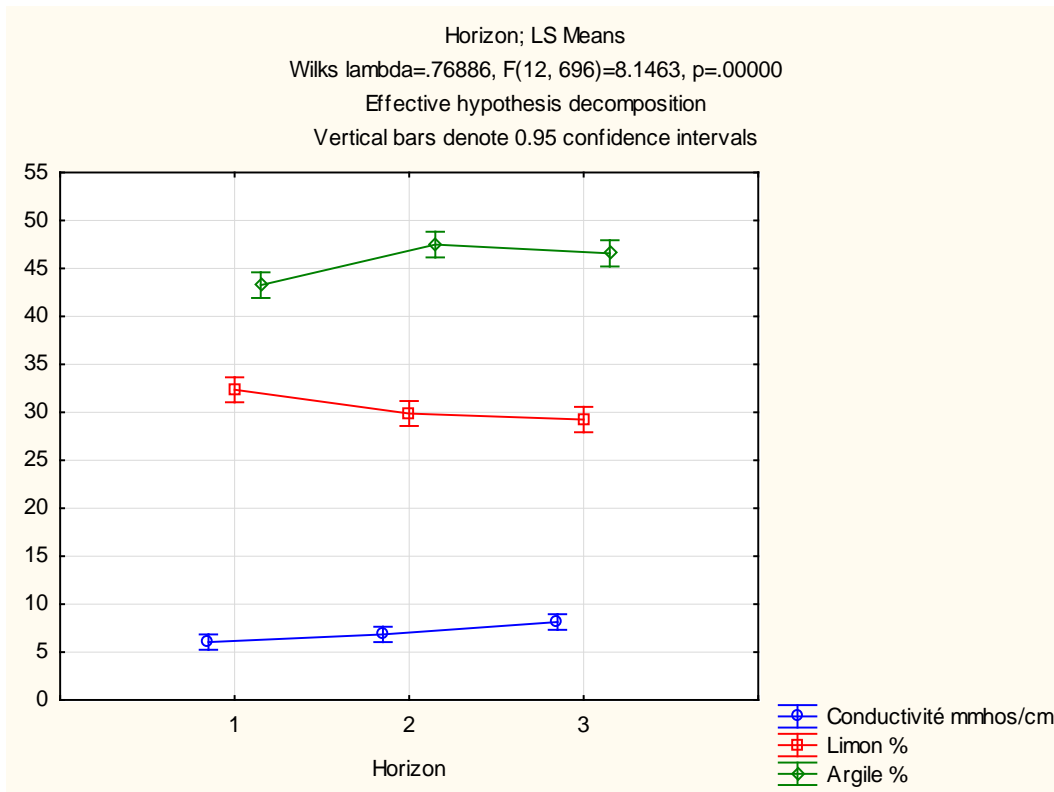


Figure 13: Répartition des valeurs des variables limon, argiles et conductivité selon les horizons

3. Analyse des corrélations

Il existe des corrélations significatives entre la vitesse d'infiltration d'une part et les variables argiles, limon et sales d'autre part (voir tableau 15)

Tableau 15 : Corrélation entre les variables quantitative et la vitesse d'infiltration

Correlations Marked correlations are significant at $p < .05000$ N=60 (Casewise deletion of missing data)						
Variable	Argile %	Limon %	Sable %	Poids spécifique apparent	pH	Conductivité (mmhos/cm)
Vitesse d'infiltration mm/h	-.3999	-.4583	.4723	.1851	.2398	-.1762
Seuil α	p=.002	p=.000	p=.000	p=.157	p=.065	p=.178

Les équations de corrélation sont données dans le tableau ci dessous, les données manquantes de la vitesse d'infiltration sont complétées en utilisant l'équation de corrélation concernant les limons car ils présentent l'écart type le plus faible (voir tableau 16)

Tableau 16 : Équations de corrélation entre vitesse d'infiltration et texture

Variable	Équation de corrélation	Corrélation :
Argile	Vitesse d'infiltration mm/h = 88.469 - 1.104 * Argile %	r = -.3999
Limon	Vitesse d'infiltration mm/h = 77.766 - 1.152 * Limon %	r = -.4583
Sable	Vitesse d'infiltration mm/h = 24.269 + .67470 * Sable %	r = .47234

Le résumé de la variable vitesse d'infiltration une fois les données manquantes sont complétées par l'équation citée ci-dessus tableau 17

Tableau 17 : Statistique descriptive de la variable complétée vitesse d'infiltration (cm/H)

Vitesse d'infiltration = 77.766 - 1.152 * Limon %	
Moyenne observation 1-363	42.6283173
Ecart type observation 1-363	8.47073179
VALID_N observation 1-363	356
MIN observation 1-363	18.438
MAX observation 1-363	70.854

4. Caractérisation de la salinité du sol

Les sols de la zone d'étude qui remplissent les conditions de la salinité et de l'alcalinité d'après les caractéristiques du sol prise en compte à savoir le pH, le taux de sodium échangeable (ESP) et la conductivité électrique (CE) de l'extrait de pâte saturée ; se répartissent entre sols non salés, sol salin et sols salins à alcali (voire figure 14)

Figure 14: Répartition des différents sols salés dans la zone d'étude**4.1. Les sols non salés**

Ce sont les sols présentant des conductivités électriques de l'extrait de pâte saturée inférieur à 4 mMhos/cm c'est à dire avec une concentration en sels de moins de 2.5g/l. Ce fait est signalé dans les Horizon 1 et 2 totalisant une épaisseur de 50 cm (voire figure 15)

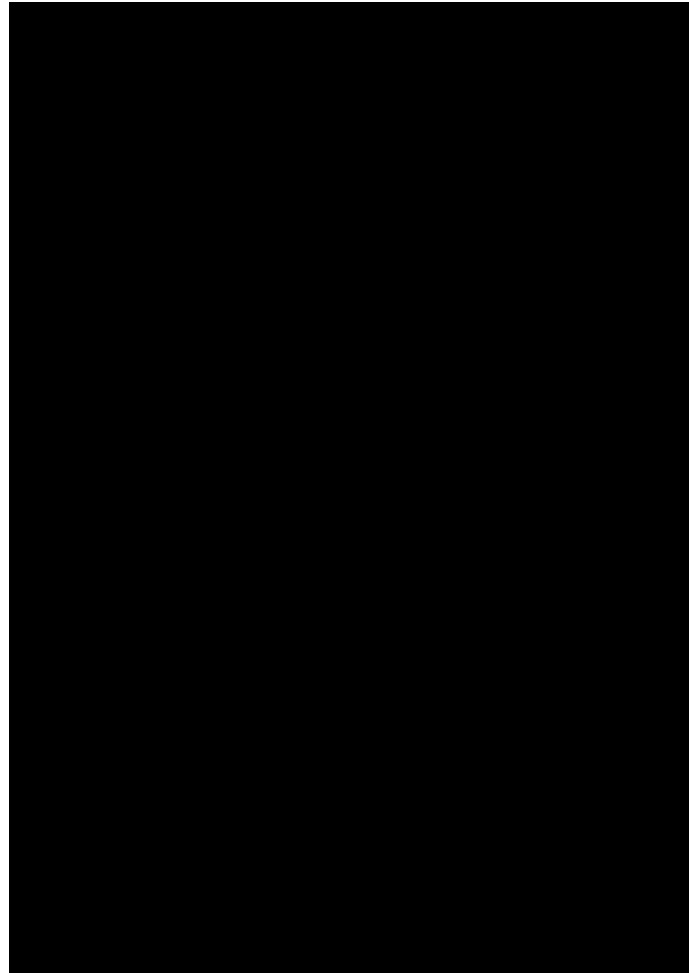


Figure 15: Les sols non salés de la zone d'étude

Ces parcelles éparses occupent 7.5 % de la surface de la zone d'étude, avec des dimensions variables allant de moins d'un hectare pour les parcelles 1,3 et 4 à près de 400 Ha pour la parcelle 7. Les sols non salés qui peuvent être cultivés sans mise en valeur vis à vis de la salinité sont minoritaires dans la zone d'étude. Voir tableau 18

Tableau 18: Dimension des parcelles non salées dans la zone d'étude

Numéro parcelle	Surface Ha	Surface %
1	0.14	0.00
2	137.91	0.95
3	0.14	0.00
4	0.27	0.00
5	96.64	0.67
6	95.89	0.66
7	393.74	2.71
8	3.70	0.03
9	359.73	2.48
Total	1088.15	7.50

4.2. Les sols salins

Ils occupent la périphérie de la zone d'étude (voir figure 4), avec des conductivités électriques de l'extrait de pâte saturée supérieur ou égale à 4 mMhos/cm ($\geq 2.5\text{g/l}$). Le pourcentage de sodium échangeable (ESP) est inférieur à 15% d'où l'absence de l'alcalinité. Ces sols pour être cultivés nécessite de la mise en valeur. Voir figure 16

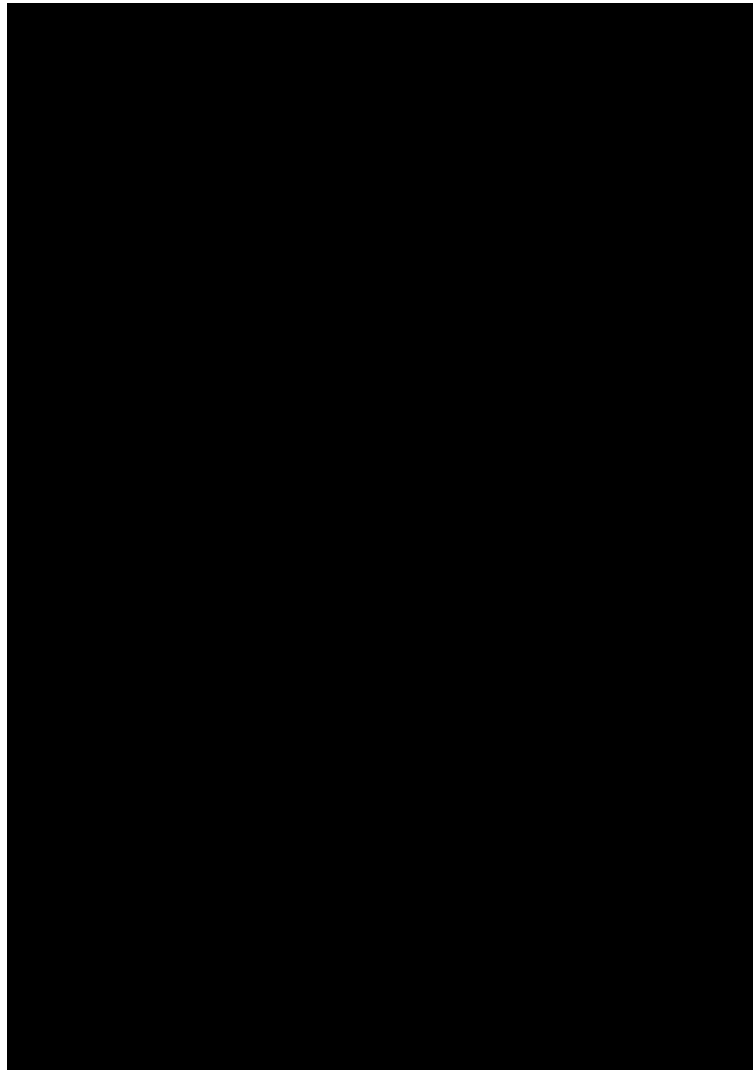


Figure 16 : Répartition des sols salin dans la zone d'étude

Pratiquement ces sols se composent de la parcelle 1 de dimension négligeable (moins de 0.6 Ha) voir tableau 09 et la parcelle 2 la plus dominante qui représente plus de 38% de la surface de la zone d'étude. Voir tableau 18

Tableau 19 : Dimension des parcelles des sols salins

Parcelle N°	Surface (Ha)	Surface %
1	0.60	0.00
2	5578.56	38.44

4.3. Les sols salins à alcali :

Ces sols ressemblent à ceux de la classe précédente par la conductivité électrique de la pâte saturé ($\geq 4 \text{mMhos/cm}$) et diffèrent par le taux de sodium échangeable qui est supérieur à 15% pour les sols de cette classe, dénotant une certaine alcalinité cachée dans le complexe d'échange, d'où une mise en valeur plus spécifique que celle de la classe précédente. Figure 17

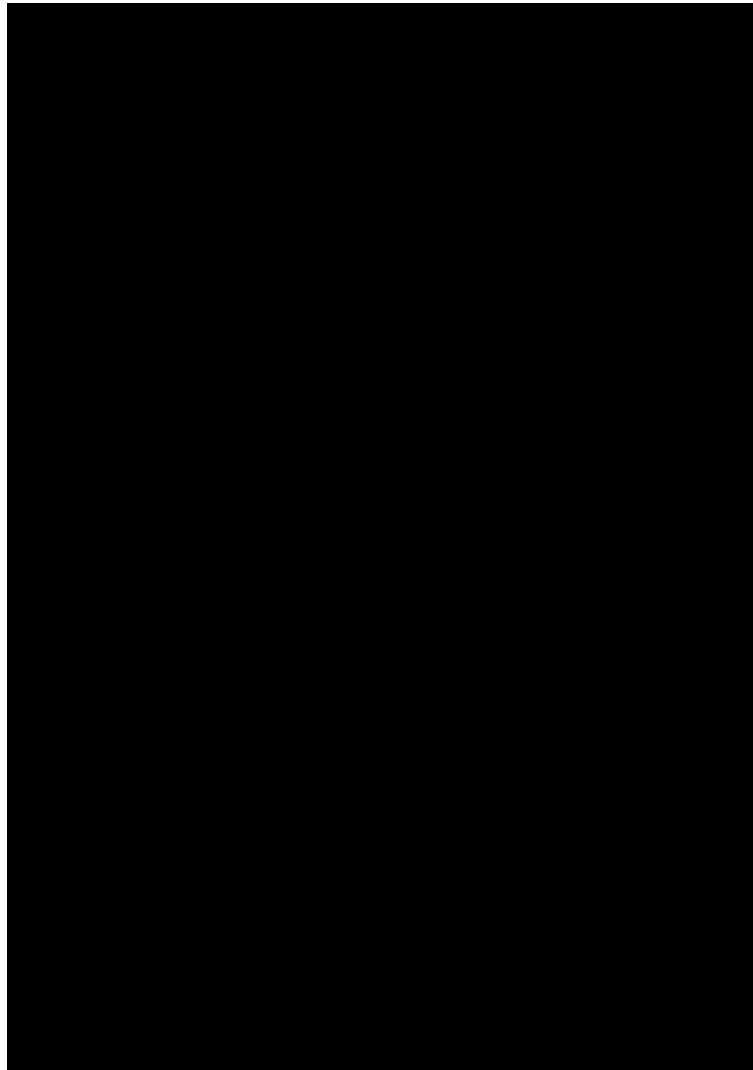


Figure 17 : Répartition des sols salin à alcali dans la zone d'étude

Ici on dénote trois parcelles (1 à 3) de très faibles dimensions donc négligeables, (voir tableau 10) la parcelle 4 est la plus importante avec une superficie de plus de 4600 Ha ou 32% de la surface de la zone d'étude. Voir tableau 20

Tableau 20 : Dimension des parcelles occupées par les sols salins à alcali

Parcelle N°	Superficie Ha	Superficie %
1	0.14	0.001
2	0.13	0.001
3	0.14	0.001
4	4632.64	31.919

5. Intensité de la salinité et influence sur les cultures

On remarque que les sols non salé ($CE < 2\text{mMhos/}$ sont faiblement représentés au niveau des horizons de surface (1 et 2) et inexistantes en profondeur (voir figure 18)

Figure 18 : Intensité de la salinité du sol selon la classification de la FAO (Abrol, Yadav, & Massoud, 1988)

Les sols légèrement salés ($2 \leq CE < 4$) sont un peu plus importants en superficie que les sols non salés en surface (horizon 1 et 2) et se manifestent même en profondeur.

Par ailleurs les sols modérément salés ($4 \leq CE < 8$) dominent en surface (horizon 1 et 2) et sont du même ordre de grandeur avec les sols fortement salés en profondeur (voir figure 06)

La salinité du sol affecte le rendement des cultures de manière différentiels commençant des cultures sensibles qui voient leur rendement diminuer dès que la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturé dépasse 2 mMhos/cm et arrivant aux cultures tolérantes qui résistent à une salinité plus forte. Voir figure (19)

Sans aménagement les sols de la zone d'étude nécessitent l'usage des cultures tolérantes (Orge, betterave et Colza) sur la majeure partie de la superficie de la zone d'étude, les cultures

sensibles (Carotte, Haricot, Salade) et moyennement tolérantes (légumes, grandes culture, Olive) reste possibles sur des superficies beaucoup plus faibles.

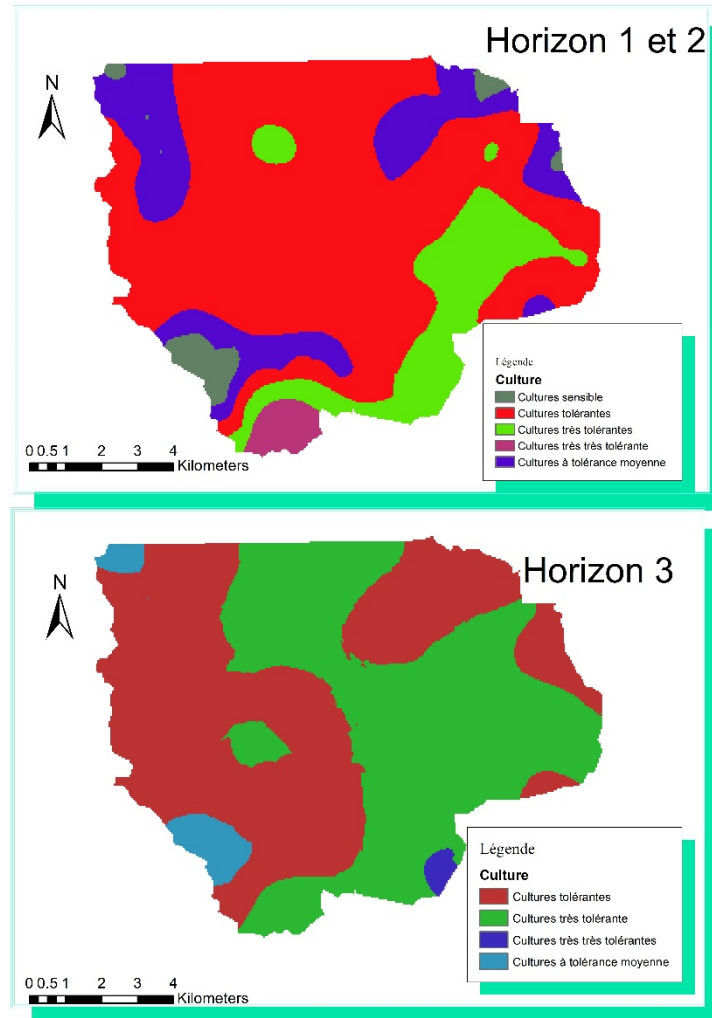


Figure 19 : Influence de la salinité sur les cultures selon la classification de la FAO (Abrol, Yadav, & Massoud, 1988)

6. Mise en valeur des sols de la zone d'étude

La mise en valeur des sols salés dépend de leurs trois caractéristiques ; le pH, la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturé (CE mMhos/cm) et le pourcentage de sodium échangeable (ESP %) qui distinguent les trois classes les sols salins, les sols alcalins et les sols salins à alcali. Dans la zone d'étude les sols alcalins ne sont pas représentés voir figure (02)

6.1. Mise en valeur des sols salins

Ces sols présentent un excès de sels dans la solution du sol ($CE > 4$ mMhos/cm), l'acidité actuelle ($pH < 8.5$) n'est fortement alcaline et le pourcentage de sodium échangeable ($ESP < 15\%$) est faible. Ces sols nécessitent deux opérations de mise en valeur ; un lessivage des sels par une eau moins salée que la solution du sol et un drainage pour évacuer les sels de zone exploitée par les racines.

6.1.1. Vérification du drainage naturel des sols de la zone d'étude

Le drainage naturel des eaux d'infiltration est commandé par la vitesse d'infiltration des différents horizons du sol. Selon (Duchaufour, 2004) une vitesse d'infiltration inférieure ou égale à 0.1 cm/H constitue un niveau limitant au drainage naturel et permet la création d'horizon hydromorphe.

La vitesse d'infiltration des sols de la zone d'étude varie entre 18.44 et 70,85 (cm/H) voir tableau (07) donc ils ne présentent aucun effet limitant le drainage naturel.

Il faut aussi surveiller le niveau de la nappe salée (actuellement le niveau n'est pas signalé proche de la surface), car s'il atteint la zone exploitée par les racines il nécessiterait un drainage adéquat.

6.1.2. Le lessivage des sels

Selon (Mermoud, 2006) pour éviter une accumulation de sels dans la zone exploitée par les racines il faut que :

La quantité apportée doit être égale à la quantité exportée par drainage avec un besoin en eau de lessivage égale :

$$LR = C_i / C_s = CE_i / CE_s$$

LR: Besoin en eau du lessivage en fraction du besoin de la culture

C_i et CE_i : concentration en sels et conductivité électrique de l'eau d'irrigation

C_s et CE_s : concentration en sels et conductivité électrique de l'eau de drainage telle que l'effet sur les cultures reste limité.

Sur la base d'une eau d'irrigation ayant une conductivité électrique inférieure au seuil toléré par les culture sensibles (CE_s=2mMhos/cm) les besoins en eau de lessivage sont calculés pour les trois catégories de culture (sensible, moyennement tolérante et tolérante)

Tableau 21: Besoin en eau du lessivage en fonction de la tolérance de la culture aux sels

Culture	CE _i	CE _s	LR
Culture sensible	1.5	2	0.75
Culture moyennement tolérante	1.5	4	0.38
Culture tolérante	1.5	8	0.19

Les résultats montrent que la tranche d'eau destinée au lessivage diminue d'une manière conséquente avec l'usage de culture tolérante d'où une économie en eau d'irrigation.

D'une autre manière s'il en veut garantir les besoins de la plante et conserver la zone racinaire à une concentration en sels inférieure au seuil toléré par la culture, (Mermoud, 2006) propose la formule suivante :

$$IR = (C_s / (C_s - C_i)) * (ET - Pr)$$

IR : Besoin en eau d'irrigation et lessivage pour assurer une concentration en sels inférieure au seuil

C_s : Concentration en sels dans la zone racinaire

C_i : Concentration en sels de l'eau d'irrigation

ET : Évapotranspiration

Pr : Précipitation

ET-Pr : déficit climatique

Les besoins en eau d'irrigation et lessivage sont donnés en fraction du déficit climatique (voir tableau 12), ils vont dans le même sens que pour la tranche de lessivage, ils diminuent avec l'usage de culture tolérante. Voir tableau 22

Tableau 22 : Besoins en eau d'irrigation et lessivage donnés en fraction du déficit climatique

Culture	CEi	CEs	IR
Culture sensible	1.5	2	4.00
Culture moyennement tolérante	1.5	4	1.60
Culture tolérante	1.5	8	1.23

6.2. Mise en valeur des sols salins à alkali

Avant de procéder au lessivage des sels en excès, ces sols nécessitent un amendement calcique, la source de calcium utilisé doit être soluble on emploie souvent le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Dans les données dont nous disposons ne figure pas le gypse, mais le calcaire dont les valeurs varient entre 20 et 57% (tableau 01) constitue une source de calcium moins soluble au pH alcalin donc moins convenable pour la correction de l'ESP. Dans ces conditions l'emploi d'un amendement acide (acide sulfurique) cette anomalie. L'absence de données concernant la capacité d'échange ne permet pas le calcul des doses de l'amendement à utiliser.

10. Conclusion générale

La salinité du sol est une contrainte à la production agricole qui se manifeste surtout comme un facteur limitant la disponibilité en eau et en éléments nutritifs pour les cultures.

La zone d'étude souffre de cette contrainte, le traitement des données issue de la carte pédologique détaillée à révéler les faits suivants

L'analyse de la variance a montré que les valeurs des variables ; pH, calcaire et sable ne sont pas différentes vis à vis des Horizons. Les variables argile et limon présentent des valeurs plus faibles en surface (Horizon 1) par rapport aux horizons 2 et 3 (ne sont pas différents). Les valeurs de la variable conductivité électrique sont plus élevées pour l'horizon 3 par rapport aux horizons 1 et 2 (ne sont pas différents)

L'analyse des corrélations entre la vitesse d'infiltration et les autres variables a permis de compléter les données manquantes (Vitesse d'infiltration (mm/h) = $77.766 - 1.152 * \text{Limon } \%$) au niveau des horizons 2 et 3.

La zone d'étude est dominée par les deux classes de sols salés, les sols salins et les sols salins à alcali, les sols non salés sont très faiblement représentés

La mise en valeur des sols salins est possible sans réseau de drainage car la vitesse de filtration est favorable pour un drainage naturel, en plus l'usage de cultures tolérantes permet de réduire la dose de lessivage et économiser l'eau d'irrigation.

Les sols salins à alcali nécessitent une source de calcium soluble pour corriger l'alcalinité ($\text{ESP} > 15\%$) avant de procéder au lessivage des sels en excès. La source de calcium présente dans ces sols n'est pas suffisamment soluble d'où l'usage de l'acide sulfurique pour surmonter cet obstacle.

L'absence de certaines données dans la notice de la carte dont la capacité d'échange cationique ne nous a pas permis de calculer les doses de l'amendement nécessaires à la mise en valeur.



11. Références

- Abrol, I. P., Yadav, J. S., & Massoud, F. I. (1988). Salt-Affected Soils and their Management. *FAO SOILS BULLETIN*(39).
- Aragues, R. (1983). Quality and availability of water used in irrigation systems. *AGRIS since*, 315-323.
- Bencharef, M. (1983). *Caractérisation de la matière organique des sols du Hodna(M'sila-Algérie)*. thèse ing Agro.I.N.A, ALGER.
- Bissati, s., Djerroudi, o., Mehani, m., & Belkhodja, m. (2011). *effet des stress salin sur deux parametre hydroliques (TURGESCEENCE ET TRANSPIRATION) de jeunes plqnts*.
- BOYADGIEV, T. (1975). *Les sols du Hodna, Etude des ressources naturelles et expérimentation et démonstration agricoles dans la région du Hodna, Algérie*. . ROME: FAO.
- Cherbuy, b. (1991). *les sols salés et leur réhabilitation*.
- CHERBUY, B. (1991). *Les sols salés et leur réhabitation*. CEMAGREF.
- Daoud, Y. (1999). *Influence des conditions salines sur les propriétés physiques des sols des plaines du Chéiff*. Seminaire national sur la salinisation des terres agricoles en algérie, Université de Chlef, Chlef.
- Daoud, Y., & Halitim, A. (1994). Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Secheresse*, 5(3), pp. 151-160.
- DJEBAILI, S. (1984). *Steppe algérienne, phytosociologie et écologie*. Alger: Office des publications universitaires (OPU).
- Duchauffour, P. (1988). *Abréges de pédologie 2 eme édition*. paris millan.barcelone mexico.
- Duchauffour, P. (2004). *Introduction à la science du sol* (éd. 6). Dunod.
- Durand, J. H. (1953). *Etude géologique hydrogéologique et pédologique des croutes en Algérie*. Alger: SERV. ET. SCI.
- Durand, J. H. (1983). *Les sols irrigables (étude pédologique)*. Paris: ACCT Agence de Coopération Culturelle et Technique.
- Duthil, j. (1973). Dans *Eléments d'écologie et d'agronomie tometi*. (p. 392). Bailliere.
- EFAGRARIA. (1967). *Etude de la mise en valeur de l'aire d'irrigation de Ksob. Annexe II Etude Agropédologique*. Direction du Génie Rural et de l'Hydraulique Agricole , Rome.
- El oumlouki, K., Moussadek, R., Zouahri, A., Dakak, H., Chati, M., & El amrani, M. (2004). Étude de la qualité physico-chimique des eaux et des sols de la région Souss. *J. Mater. Environ. Sci*, 5(S2), 2365-2374.



- Emerson, w., & Chi, C. (1977). analyse pollinique du quaternaire supérieur en jordanie méridional. pp. 111-144.
- FAO. (1984). Pronosis of salinity and alkanity . (FAO, Éd.) 31(31), p. 286 p.
- FAO. (1992). *Foresterie en zones arides - Guide à l'intention des techniciens de terrain*. ROME: FAO.
- FAO. (2005). *utilisation des engrais par culture en algerie*.
- FLANDRIN, J. (1952). *Carte géologique de l'Algérie*. Alger: Service de la carte géologique.
- FOUCAULT, A. (2009). *Climatologie et PaléoClimatologie*. Paris: Dunod.
- Girard, M. C., Walter, C., Remy, J. C., Berthelin, J., & Morel, J. L. (2005). *SOL ET ENVIRONNEMENT COURS EXERCICE ET ETUDE DE CAS*. PARIS: DUNOD.
- Halitim, A. (1973). *Etude experementation de l'amélioration des sols sodiques d'Algerie en vue de leur mise en culture*. These de 3ème cycle, univ de renne, Renne.
- Halitim, A. (1988). *Sols des régions arides d'Algerie*. alger: OPU.
- HALTIM, A., ROBERT, M., & PEDRO, G. (1983). Etude experimentale de l'epigenie calcaire des silicates en milieu confine - caracterisation des conditions de son developpement et des modalites de sa mise en jeu. *Sciences Geologique - Memoire, 71*, pp. 63-73.
- Lallemand, A. (1980). *Amenagement des sols sales irregation avec des eaux salées*.
- LE HOUEROU, H. (1995). Considérations biogéographiques sur les steppes arides du nord de l'Afrique. *Secheresse, 6*, pp. 167-182.
- Legros, j. (2007). *les grands sols du monde*. Universitaires romandes. presses polytechnique.
- Lozet, J., & Mathieu, C. (2002). *Dictionnaire de science du sol (Vol. 4 éme)*. france: Tec & Doc.
- Mallouhi, N., & Jacquin, F. (1988). Influence des ions sodiums sur les mécanismes d'humification. 26(4), pp. 215-222.
- Mathieu, C., & Pieltain, F. (2003). Analyse chimique des sols. paris: tec ey doc lavoisier.
- Mermoud, A. (2006). Maitrise la salinité. Dans A. Mermoud, *Cours de physique du sol*. Lausanne: ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE.
- MERMOUD, A. (2006). *Matrise de la salinité des sols*. cours de physique du sol, Ecol polytechnique fédérale de lausanne.
- NEIL, M., & COLEMAN, N. (1966). Effzct of solution compostion on soil hydraulic conductivity soil. *proc 20*, 308-312.
- OZENDA, P. (1982). La cartographie de la végétation des Alpes, centre de gravité d'une étude phytogéographique des montagnes européennes. *Veröff. D. forstl., 26*, pp. 113-133.



- PARIA, & DAS. (2005). *SALT TOLERANCE AND SALINITY EFFECTS ON PLANTS*. ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY.
- PARIDA, A., & DAS, A. (2005). *SALT TOLERANCE AND SALINITY EFFECTS ON PLANTS*. ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY.
- PARIDA, Q., & DAS. (2005). *SALT TOLERANCE AND SALINITY EFFECTS ON PLANTS*. ECOTOXICOLOGY AND ENVIRONMENTAL SAFETY.
- RAMADE, F. (2009). *Eléments d'écologie*. Paris: DUNOD.
- Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture Handbook, Handbook 60(60)*, p. 160p.
- Robert, m. (1996). *le sol: interface dans l'environnement , ressource pour le developement*. paris: Masson.
- SERVANT, J. (1976). Sur quelques aspects de la pédogenèse en milieu halomorphe: l'exemple des sols salés de la région méditerranéenne française. *Annales de l'INA*, 5(1), pp. 255-245.
- Servant, J. M. (1976). Sur quelques aspects de la pédogenèse en milieu halomorphe: l'exemple des sols salés de la région méditerranéenne française. (L'INRA, Éd.) *Annales de l'INA*, pp. 255-245.
- Servant, M. (1975). *Etude pédologique des sols halomorphes*. Thèse doctorat, Univ Montpellier.
- Zid, E., & Grinon, C. (1991). *les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. cas des stress salin et hydrique .l'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides*. Paris: Aupelf-uref.