



DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité

GESTION DURABLE DE L'ENVIRONNEMENT

THÈME

CONTRIBUTION AU DIAGNOSTIC DE L'ÉTAT DE  
SALINISATION DES SOLS DE LA PLAINE D'EL HMADENA

Présenté par

SOFFIH Mohamed

DEVANT LE JURY

ATTOU Sahnoun	MCB	Président	Université de Mostaganem
BENKHELIFA Mohammed	Pr	Encadreur	Université de Mostaganem
GORINE Mohamed	CR	Co-encadreur	INRAA El Hmadena ; Relizane
NEMMICHE Saïd	MCA	Examineur	Université de Mostaganem

Année universitaire : 2016-2017



## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents ;*

*Ma famille ;*

*Tous mes professeurs durant toutes mes études;*

*La promotion de master 2 Gestion durable de*

*l'environnement de l'année universitaire*

*2016-2017 - Mostaganem;*

*Mohamed*



## Remerciements

*Je remercie avant tout ALLAH, le tout puissant, de m'avoir guidé et de m'avoir donné la volonté, la patience et le courage pour terminer ce travail.*

*Mes remerciements vont d'abord à monsieur Mohamed BENKHELIFA Professeur à l'université Abdelhamid Ibn Badis -Mostaganem (promoteur), qui est à l'origine de ce travail et qui m'a soutenu et conseillé tout au long de celui-ci, je lui adresse mes plus sincères remerciements et mes plus profondes excuses.*

*À monsieur ATTOU Sahnoun (Maitre de conférences à l'université Abdelhamid Ibn Badis -Mostaganem), qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse.*

*Mes remerciements les plus respectueux vont à Monsieur NEMICHE Saïd (docteur à l'université Abdelhamid Ibn Badis -Mostaganem), qui m'a fait l'honneur de prendre connaissance de ce travail et d'en être examinateur. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.*

*Ainsi, j'adresse toute ma gratitude à monsieur GORINE Mohamed (Chercheur à l'INRAA-El Hmadena) a qui je témoigne toute ma reconnaissance pour leur soutien.*

*Je remercie toute la promotion du post graduation Gestion durable de l'environnement.*

## ملخص

في الجزائر، أكثر من 20% من الاراضي المسقية تعاني من مشكل الملوحة. الجزء الشمالي الغربي من الجزائر، يقع سهل الشلف في المنطقة الأكثر تضررا حيث يتراوح ما بين 80 و 85% من مساحته الاجمالية تعاني مشكل الملوحة. ومع ذلك، فإن الخصائص الهيدروديناميكية و قابلية الانجراف لهذه التربة غير معروفة جيدا.

وأظهرت الأعمال الطبوغرافية التي أجريت مؤخرا في سهل شلف الأسفل أن مشكلة ملوحة التربة تؤثر على 80 في المائة من المساحة الكلية للسهل. وهي منطقة تتميز بانخفاض معدل هطول الأمطار وارتفاع معدل التبخر، كما ان مياه الري أكثر أو أقل ملوحة وذلك وفقا للمواسم وأصل هذه المياه. ويزداد خطر الملوحة من خلال القوام الدقيق للتربة غالبا ما يكون طينيا، ومخاطر الفيضانات خلال الامطار الطوفانية.

والهدف من هذه التجربة هو تقييم الحالة الفيزيوكيميائية و الهيدروديناميكية لقطعة ارض ذات مساحة 325,2 هكتار، تقع في محطة التجارب للمعهد الوطني للبحث الزراعي INRAA بالحمادنة. كما أجريت قياسات النفاذية بواسطة جهاز (infiltrmètre à disque) على الطبقة السطحية (cm20-0) ل 12 موقع على هيئة شبكة ذات 50 م للخطوة.

وأظهرت قياسات النفاذية أيضا أن تربة موقع التجربة لها نفاذية معتدلة ومستويات عالية من الصوديوم ، مما قد يؤدي إلى خطر التدهور الذي يمكن أن ينعكس سلبا على الناقلية الهيدروليكية لهذه التربة (الري والصرف).

## الكلمات الاستدلالية

الملوحة، الخصائص الهيدروديناميكية، النفاذية، قابلية الانجراف، تدهور بنية التربة، الصوديوم القابل للتبادل.

## Résumé

En Algérie, plus de 20 % des sols irrigués sont concernés par le problème de la salinité. Dans la partie nord-ouest de l'Algérie, la plaine du Bas-Chélif se situe dans la zone la plus touchée avec de 80 à 85 % de ses sols qui ont des problèmes due à la salinité et sodicité. Or les propriétés hydrodynamiques et l'érodibilité de ces sols sont mal connues.

Les travaux de cartographie effectués récemment dans la plaine du Bas-Chélif ont montré que le problème de la salinisation des sols touche 80 % de la superficie totale étudiée. Il s'agit d'une région caractérisée par une faible pluviométrie moyenne et une forte évapotranspiration moyenne, une eau d'irrigation plus ou moins chargée selon les saisons et l'origine de l'eau. Le risque de salinisation est accentué par une texture fine souvent lourde et des risques d'inondation lors des grandes averses.

L'objectif de cette expérimentation est d'évaluer l'état physico-chimique et hydrique actuel d'une parcelle de 2,325 ha située dans la station de l'INRAA d'El Hmadena ; les mesures de la conductivité hydraulique ont été effectuées par l'infiltromètre à disque, sur la couche superficielle (0-20cm) de 12 points situés aux nœuds d'une grille d'un pas d'étude de 50m.

Les résultats montrent que le sol du site expérimental a une perméabilité modérée et des teneurs élevées en sodium échangeable, cela peut engendre un risque de dégradation qui sera reflété sur la conductivité hydraulique de ce sol (irrigation et drainage).

### Mots clés

Salinité, sodicité, propriétés hydrodynamiques, perméabilité, érodibilité, dégradation, sodium échangeable.

## Abstract

In Algeria, more than 20% of irrigated soils are affected by the problem of salinity. In the northwestern part of Algeria, the Bas-Cheliff plain lies in the most affected zone with 80 to 85% of its soils affected by salinity and sodicity problems. However, the hydrodynamic properties and the erodibility of these soils are poorly known.

Recent mapping work in the Bas-Cheliff plain has shown that the problem of soil salinization affect 80% of the total area studied. It is a region characterized by low average rainfall and a high means evapotranspiration, irrigation water more or less charged according to the seasons and the origin of the water. The risk of salinization is accentuated by a fine texture often heavy and risks of flooding during heavy rains.

The objective of this experiment is to evaluate the current physicochemical and hydrological state of a plot of 2,325 ha, located in the INRAA station of El Hmadena; The hydraulic conductivity measurements were carried out by the disk's infiltrometer on the upper layer (0-20 cm) of 12 points located at the nodes of a grid with a study pitch of 50 m.

The results show that the soil of the experimental site has a moderate permeability and high levels of exchangeable sodium, which can lead to a risk of degradation, which will be reflected on the hydraulic conductivity of this soil (irrigation and drainage).

### Key words

Salinity, sodicity, hydrodynamic properties, permeability, erodibility, degradation, exchangeable sodium.

## Abréviations

**BNEDER** : Bureau National d'Etude pour le Développement Rural

**CPCS** : Commission de pédologie et de cartographie des sols

**FAO**: Food and Agriculture Organization of the United Nations

**INRAA** : Institut National de Recherche Agricole Algérien

**INSID**: Institut National des sols, d'Irrigation et de Drainage

**ONID**: Office National d'Irrigation et de Drainage

**U.S.S.L.S.:** United State Salinity Laboratory Staff

**USDA**: United States Department of Agriculture

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

**WRI**: World Ressources Institute

# Sommaire

ملخص.....	1
Résumé.....	2
Abstract .....	3
Abréviations .....	4
Sommaire.....	5
Liste des figures.....	9
Liste des tableaux.....	11
Introduction.....	13
Première partie .....	15
Synthèse bibliographique.....	15
Chapitre I.....	16
Généralités sur les sols salés .....	16
I. Les sols salés .....	17
I.1. Les sols salés dans le monde et en Algérie.....	17
I.1.1. Sols salés dans le monde .....	17
I.1.2. En Algérie .....	19
I.2. La genèse d'un sol salin et/ou sodique .....	21
I.2.1. Formes de salinisation des sols.....	23
I.2.1.1. Salinisation primaire .....	23
I.2.1.2. Salinisation secondaire.....	23
I.2.2. Paramètres de caractérisation des sols salés.....	24
I.3. Classification des sols salés .....	24
I.3.1. Sols salés.....	26
I.3.2. Sols sodiques et à alcali .....	27
Chapitre II.....	30
Méthodes de mesure de la salinité de sol .....	30
II. Méthodes de mesure de la salinité de sol .....	31
II.1. Méthodes de laboratoire .....	31
II.2. Méthodes de terrain .....	33
II.3. Résistivité électrique.....	34

II.4.	La réflectométrie TDR (Time Domain Reflectometry).....	34
II.5.	L'Induction électromagnétique.....	35
II.5.1.	Principe de mesure.....	35
II.5.2.	Le conductivimètre EM38, Géonics LTD .....	37
II.6.	Influence des paramètres pédologiques sur la CEa .....	38
	Chapitre III.....	40
	Dégradation des sols salés .....	40
III.	Effets de la salinité et de la sodicité .....	41
III.1.	Effets sur les propriétés physico-chimiques des sols.....	41
III.1.1.	Effets sur les propriétés physiques des sols .....	42
III.1.1.1.	Effets des sels sur la stabilité structurale .....	43
III.1.1.2.	Effets des sels sur la perméabilité .....	44
III.1.1.3.	Effets des sels sur la rétention en l'eau.....	45
III.1.2.	Effets sur les propriétés chimiques.....	45
III.1.2.1.	Conductivité électrique .....	45
III.1.2.2.	Le potentiel Hydrogène pH .....	46
III.1.2.3.	Taux de sodium échangeable (ESP).....	47
III.1.2.4.	SAR « Sodium Adsorption Ration » .....	47
III.1.2.5.	Composition ionique de la solution du sol.....	48
III.2.	Effets sur la plante .....	48
III.3.	Dégradation des sols salés .....	50
III.3.1.	Dégradation physique et chimique des sols salés .....	50
III.3.2.	Dégradation biologique des sols salés.....	51
III.4.	Mise en valeur des sols salés.....	52
III.4.1.	Etat d'évacuation des eaux de drainage .....	52
III.4.2.	Qualité de l'eau d'irrigation et doses de lessivage.....	54
III.4.3.	Amélioration des sols salés par amendements chimiques.....	55
III.4.3.1.	Amendements calciques .....	56
III.4.3.2.	Techniques d'application des amendements calciques .....	56
III.5.	Choix des cultures .....	56
	Chapitre IV .....	57
	Présentation de la région d'étude.....	57
IV.	Présentation du site d'étude .....	58
IV.1.	Conditions climatiques .....	60
IV.1.1.	Précipitations et températures.....	60
IV.1.2.	Humidité .....	63
IV.1.3.	Vent .....	64

<b>IV.2. Géologie et géomorphologie .....</b>	<b>64</b>
<b>IV.2.1. Les glaciers colluvionnaires.....</b>	<b>65</b>
<b>IV.2.2. La plaine alluviale .....</b>	<b>65</b>
<b>IV.2.3. Les lits des oueds actuels .....</b>	<b>65</b>
<b>IV.2.4. La Sebkhah de Benziane.....</b>	<b>65</b>
<b>IV.2.5. La Gaa.....</b>	<b>66</b>
<b>IV.2.6. La colline de partage.....</b>	<b>66</b>
<b>IV.3. Ressources en eau .....</b>	<b>67</b>
<b>IV.3.1. Les ressources en eaux superficielles.....</b>	<b>67</b>
<b>IV.4. Hydrologie et hydrogéologie .....</b>	<b>69</b>
<b>IV.5. Périmètres irrigués .....</b>	<b>71</b>
<b>IV.6. Drainage.....</b>	<b>72</b>
<b>IV.7. Occupation du sol .....</b>	<b>73</b>
<b>Deuxième partie .....</b>	<b>74</b>
<b>Etude Expérimentale.....</b>	<b>74</b>
<b>Chapitre V.....</b>	<b>75</b>
<b>Matériels et méthodes .....</b>	<b>75</b>
<b>V. Objectif de l'étude.....</b>	<b>76</b>
<b>V.1. Matériels.....</b>	<b>77</b>
<b>V.1.1. Parcelle expérimentale.....</b>	<b>77</b>
<b>V.1.2. Dispositif d'échantillonnage .....</b>	<b>77</b>
<b>V.1.2.1. Présentation du dispositif d'échantillonnage.....</b>	<b>77</b>
<b>V.1.2.2. Choix du dispositif .....</b>	<b>78</b>
<b>V.2. Méthodes .....</b>	<b>78</b>
<b>V.2.1. Mesure de la conductivité hydraulique non saturée .....</b>	<b>78</b>
<b>V.2.2. Prélèvement et extraction de la solution de pâte saturée .....</b>	<b>78</b>
<b>V.2.3. Méthodes d'analyse.....</b>	<b>79</b>
<b>V.2.3.1. Granulométrie.....</b>	<b>79</b>
<b>V.2.3.2. Humidité.....</b>	<b>79</b>
<b>V.2.3.3. Densité apparente .....</b>	<b>79</b>
<b>V.2.3.4. Calcaire total.....</b>	<b>79</b>
<b>V.2.3.5. Calcaire actif.....</b>	<b>79</b>
<b>V.2.3.6. pH eau du sol .....</b>	<b>80</b>
<b>V.2.3.7. Conductivité électrique (CE) de l'extrait de pâte saturée .....</b>	<b>80</b>
<b>V.2.3.8. Bilan ionique .....</b>	<b>80</b>
<b>Chapitre VI .....</b>	<b>81</b>
<b>Résultats et discussion.....</b>	<b>81</b>

<b>VI. Caractéristiques physico-chimiques et hydriques du sol.....</b>	<b>83</b>
VI.1. Humidité du sol .....	83
VI.2. La conductivité électrique .....	85
VI.3. Granulométrie.....	86
VI.4. La densité apparente, réelle et la porosité .....	87
VI.5. L'infiltration.....	88
VI.6. Comparaison d'infiltration a différents potentiels .....	89
VI.7. L'infiltration instantanée .....	90
VI.8. La conductivité hydraulique à saturation .....	91
VI.9. Le potentiel Hydrogène (pH) .....	93
VI.10. Les cations de sodium et potassium .....	94
VI.11. Les anions de bicarbonates et du chlore .....	95
VI.1. Le Calcaire total et actif.....	96
<b>Conclusion .....</b>	<b>97</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>98</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>110</b>

## Liste des figures

<b>Fig.1- Carte des zones arides dans le monde (wri, 2002) .....</b>	<b>18</b>
<b>Fig.2 - Répartition des précipitations dans le nord de l'Algérie (FAO, 2005) .....</b>	<b>19</b>
<b>Fig. 3 - Répartition des sols salins du nord de l'Algérie.....</b>	<b>21</b>
<b>Fig.4- Principe de fonctionnement du conductimètre électromagnétique (Corwin et Lesch, 2005)..</b>	<b>36</b>
<b>Fig.5- Position des dipôles par rapport à l'appareil (Job et al.1987) .....</b>	<b>37</b>
<b>Fig.6- Réponses de l'EM38 en fonction de la profondeur (Job et al., 1987).....</b>	<b>38</b>
<b>Fig.7 - Processus des différentes voies de la salinisation et leur impact sur la dégradation des sols et sur les cultures. (Tabet, 1999).....</b>	<b>42</b>
<b>Fig.9 -Carte de la situation géographique du site d'étude (épinglé en jaune).....</b>	<b>58</b>
<b>Fig.10 - Localisation de site d'étude (Google Earth,2016) .....</b>	<b>59</b>
<b>Fig.11- Image aérienne de l'INRAA El Hmadna (GoogleEarth,2016) .....</b>	<b>59</b>
<b>Fig.13 - Histogramme des Températures moyennes mensuelles (2000 à 2016) Station INRAA Hmadna Relizane.....</b>	<b>62</b>
<b>Fig.14- Diagramme ombrothermique de la station climatique d'El Hmadna (2000-2016) .....</b>	<b>63</b>
<b>Fig.15- Carte des sols du site d'El Hmadna (Durand, 1956) .....</b>	<b>67</b>
<b>Fig.16 - Réseau hydrographique et principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif.....</b>	<b>68</b>
<b>Fig.17-Qualité des eaux des barrages de Gargar et de Merdjet Sidi Abed (ABH-CZ –chlef zahrez 2002).....</b>	<b>69</b>
<b>Fig.18 - Ressources en eaux souterraines dans le bassin hydrographique Chlef- Zahrez. (Source : ABH-CZ, 2006) .....</b>	<b>70</b>
<b>Fig.19- Principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif.....</b>	<b>71</b>
<b>Fig.20- Schéma des réseaux de drainage (INRAA-El Hmedna).....</b>	<b>72</b>
<b>Fig.21-Schéma du mode opératoire pour les analyses des échantillons de sol.....</b>	<b>76</b>
<b>Fig.22 - Localisation du terrain d'étude .....</b>	<b>77</b>
<b>Fig.23 - Schéma de prélèvement des échantillons du sol.....</b>	<b>78</b>
<b>Fig.24 - Extraction de l'extrait de pâte saturée par centrifugation .....</b>	<b>79</b>
<b>Fig.25 - courbe d'étalonnage de sodium .....</b>	<b>80</b>
<b>Fig.26 - Courbe d'étalonnage de potassium .....</b>	<b>80</b>
<b>Fig.27 - la carte de l'humidité initiale (par surfer v.14).....</b>	<b>83</b>
<b>Fig.28 - La carte de l'humidité à saturation –finale (par surfer v.14) .....</b>	<b>84</b>
<b>Fig.29 - Histogramme de l'humidité initiale et à saturation (finale).....</b>	<b>84</b>
<b>Fig. 30- La carte des classes de salinité (par surfer v.14).....</b>	<b>85</b>
<b>Fig.31 - Carte des classes de salinité de l'INRAA El Hmedna (octobre 2016) .....</b>	<b>86</b>
<b>Fig.32 - La densité apparente des échantillons .....</b>	<b>87</b>
<b>Fig.34 - Évolution temporelle de l'infiltration instantanée I pour une charge de pression h-1 du point 12 .....</b>	<b>90</b>

<b>Fig.35- Évolution de Ks au niveau des divers points .....</b>	<b>92</b>
<b>Fig.36- Le potentiel d'hydrogène pH .....</b>	<b>93</b>
<b>Fig.37 – La carte des ph des échantillons prélevés .....</b>	<b>94</b>
<b>Fig.38 - Les concentrations de sodium et potassium .....</b>	<b>94</b>
<b>Fig.39- Les taux de calcaire total et actif en % .....</b>	<b>96</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 - Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008).....</b>	<b>18</b>
<b>Tableau 2 - Superficies des zones arides d'Algérie en 103 Km2 (Le Houerou, 1995) .....</b>	<b>20</b>
<b>Tableau 3 - les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest du pays (ONID (ex AGID) 2003). .....</b>	<b>20</b>
<b>Tableau 4 - Classes des sols affectés par les sels (USSS, 1954).....</b>	<b>24</b>
<b>Tableau 5-les références des sols salés (AFES 2008) .....</b>	<b>29</b>
<b>Tableau 6- sodium échangeable en fonction des valeurs du pH des pâtes de sol saturé (Boulaine, 1978).....</b>	<b>46</b>
<b>Tableau 7 - Nature de la salinisation selon <math>Cl^-/SO_4^{2-}</math> .....</b>	<b>48</b>
<b>Tableau 8- Données pluviométriques (2000-2016). (Source: Station de l'INRAA H'Madna).....</b>	<b>61</b>
<b>Tableau 9 - Humidité de la station de H'madna (Avril 2016- Mars 2017).....</b>	<b>63</b>
<b>Tableau 10- Le vent de la station d'El Hmadena (Avril 2016- Mars 2017).....</b>	<b>64</b>
<b>Tableau 11- texture du sol pour les points 1,6 et 11 .....</b>	<b>87</b>
<b>Tableau 12 - Les résultats de la porosité des échantillons .....</b>	<b>88</b>
<b>Tableau 13- Equations du taux d'infiltration pour h=0 des différents points .....</b>	<b>91</b>
<b>Tableau 14- Equations du taux d'infiltration pour h-1 des différents points .....</b>	<b>91</b>
<b>Tableau 15 - Estimation de la perméabilité à saturation en cm/h.....</b>	<b>93</b>
<b>Tableau 16 - Le bicarbonate en méq. <math>L^{-1}</math>et mg/l .....</b>	<b>95</b>
<b>Tableau 17 - Le Chlore <math>Cl^-</math> en <math>mmol/l^{-1}</math> et mg/l.....</b>	<b>95</b>

## Introduction

La salinisation est un processus majeur de la dégradation des terres irriguées en zones arides et semi-arides. En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables chaque minute, dont 3 hectares du fait de la salinisation. En effet, 10 à 15% des surfaces irriguées sont soumises au phénomène de salinisation à des degrés divers (Mermoud, 2006). Elles sont estimées à environ 400 millions d'hectares (Bot et *al.*, 2000). D'après la FAO in Legros (2007), les sols salés représentent à eux seuls près de 2% des terres cultivables, ce qui correspond approximativement à 300 millions d'hectares. A l'échelle régionale, 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 cultivable (Mashali et *al.*, 2005). Sur les six millions et demi d'hectares cartographiés en Algérie, un million est concerné par sols salés (Chabane et Benreda, 1997). Selon le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 4 % de la S.A.U est affectée par la salinisation secondaire. Dès lors, ce phénomène ne cesse de se développer rapidement.

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 son extension spatio-temporelle. 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 axé principalement sur leur fonctionnement salin et les processus physico-chimiques qui les régissent. 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. Dans ce cas, leur étude est confrontée à des difficultés de classement et de délimitation des unités pédologiques. Ceci n'est pas sans effet sur le diagnostic de leur contamination et par conséquent sur la gestion de leur mise en valeur agricole (Hadj Miloud, 2010).

L'objectif du présent travail est d'étudier les effets de la salinité et la sodicité sur les caractéristiques physico-chimiques et hydriques des sols salés de la plaine d'El Hmadena. Pour cela, le document est présenté sous forme de deux parties chacune contient trois chapitres.

La première partie est consacrée à une synthèse bibliographique sur la présentation des sols salés et de leur situation dans le monde et en Algérie, leur genèse et l'effet destructif de la salinité et la sodicité sur ces sols.

La deuxième partie porte essentiellement sur la présentation de la zone d'étude dans le premier chapitre ; dans le deuxième chapitre, nous avons abordé la méthodologie de travail choisie et le matériel utilisé en cours d'expérimentation, et enfin dans le dernier chapitre, nous avons présenté et discuté les résultats obtenus achevés par une conclusion.

# **Première partie**

# **Synthèse bibliographique**

# **Chapitre I**

# **Généralités sur les sols**

# **salés**

## I. Les sols salés

Les sols salés ou sols halomorphes appelés actuellement sols salsodiques représentent 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 *et al.*, 2005).

Les sols salés contiennent des sels plus solubles que le gypse susceptible de passer dans la solution du sol en quantité assez importante 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 (Jean Paul Legros, 2007).

La salinisation est un processus d'enrichissement du sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin (Keren, 2000 ; Levy, 2000 ; Brady et Weil, 2002 et Essington, 2004). D'après Mermoud (2006), 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.

Les zones arides 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 limitants la productivité végétale (Zid et Grignon, 1991). Un sol est dit salé quand la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée est supérieure ou égale à  $4 \text{ dS.m}^{-1}$  (Robert 1996 ; Calvet, 2003).

### I.1. Les sols salés dans le monde et en Algérie

#### I.1.1. Sols salés dans le monde

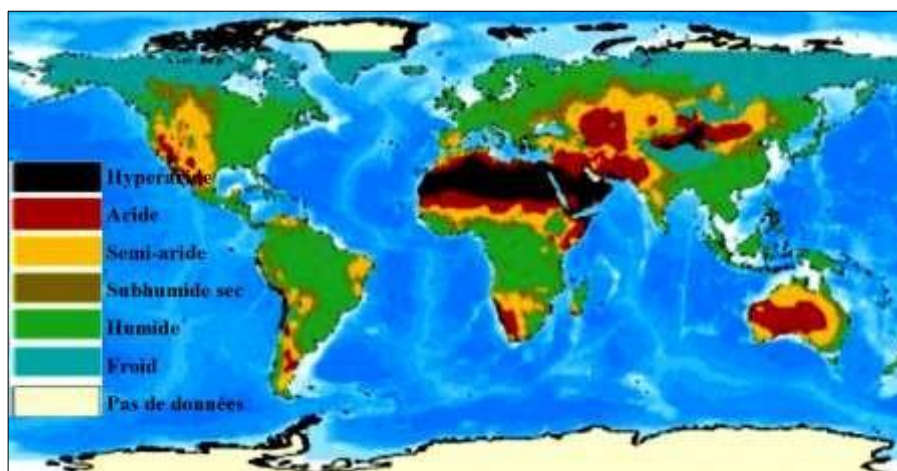
A l'échelle mondiale, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent une grande ampleur pour l'agriculture. Leurs distributions géographiques se superposent presque entièrement à celle des zones arides et semi arides et des zones côtières (Durand, 1983 ; FAO, 2005). La surface affectée par la salinité dans le monde est évaluée à 954,8 millions d'hectares (Tableau 1), soit 23 % des terres cultivées (FAO, 2008). WRI (2002), propose un classement des zones arides basé sur les valeurs du rapport ratio précipitation annuelle/évapotranspiration potentielle moyenne annuelle (Figure 1), le monde est de ce fait, divisé en :

- Zone hyper aride couvrant environs 11 millions de Kilomètres carrés, soit 8% des terres totales et elle correspond principalement au désert du Sahara.

- Zones arides, semi-arides et subhumides sèches qui couvrent près de 54 kilomètres carrés principalement concentrés en Asie et Afrique.

**Tableau 1 - Superficie affectée par la salinité dans le monde (FAO, 2008)**

Région	Superficie
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du Nord	15,7
Amérique du Sud	129,2
Australie	357,3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du Sud Est	20
Asie du centre et du Nord	211,7
Asie du sud	87,6
Total	954,8

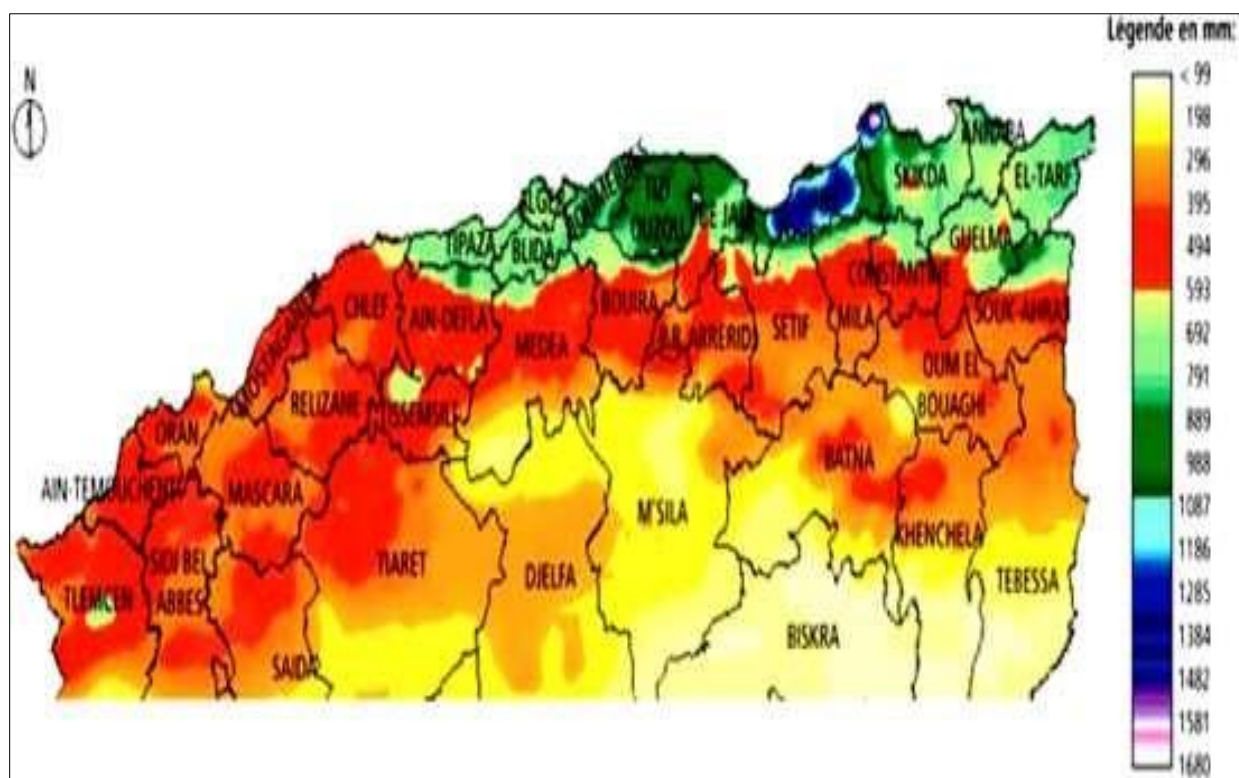


**Fig.1- Carte des zones arides dans le monde (wri, 2002)**

## I.1.2. En Algérie

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (Durand, 1983). Les sols salins sont répandus dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de la Mina près de Relizane, sur les hautes plaines Sud de Sétif et de Constantine et aux bords de certains chotts comme le chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà (Durand, 1983).

La classification bioclimatique d'Emberger et sauvage a été largement adoptée en régions méditerranéennes. Cinq étages du bioclimat méditerranéen ont été définis pour l'Algérie : Saharien, aride, semi-aride, subhumide et humide (Figure 2).



**Fig.2 - Répartition des précipitations dans le nord de l'Algérie (FAO, 2005)**

On distingue selon Nedjraoui (2003) :

- Le semi- aride : 300- 600 mm.
- L'aride : 300- 100 mm.
- Le Saharien < 100 mm qui occupe 89,5% la superficie totale de l'Algérie.

La superficie des zones arides en Algérie selon Le Houerou (1995) est de 216000 Km<sup>2</sup>, et 386000 Km<sup>2</sup> de zones hyper arides supérieures (Tableau 2).

**Tableau 2 - Superficies des zones arides d'Algérie en 103 Km<sup>2</sup> (Le Houerou, 1995)**

<b>Pluviosité moyenne</b>	<b>Superficie</b>
Semi- aride à humide P> 400	181
Aride supérieur 400> P> 300	59
Aride moyenne 300> P> 200	70
Aride inférieur 200> P> 100	87
Zone aride total	216
Hyper aride supérieur	386

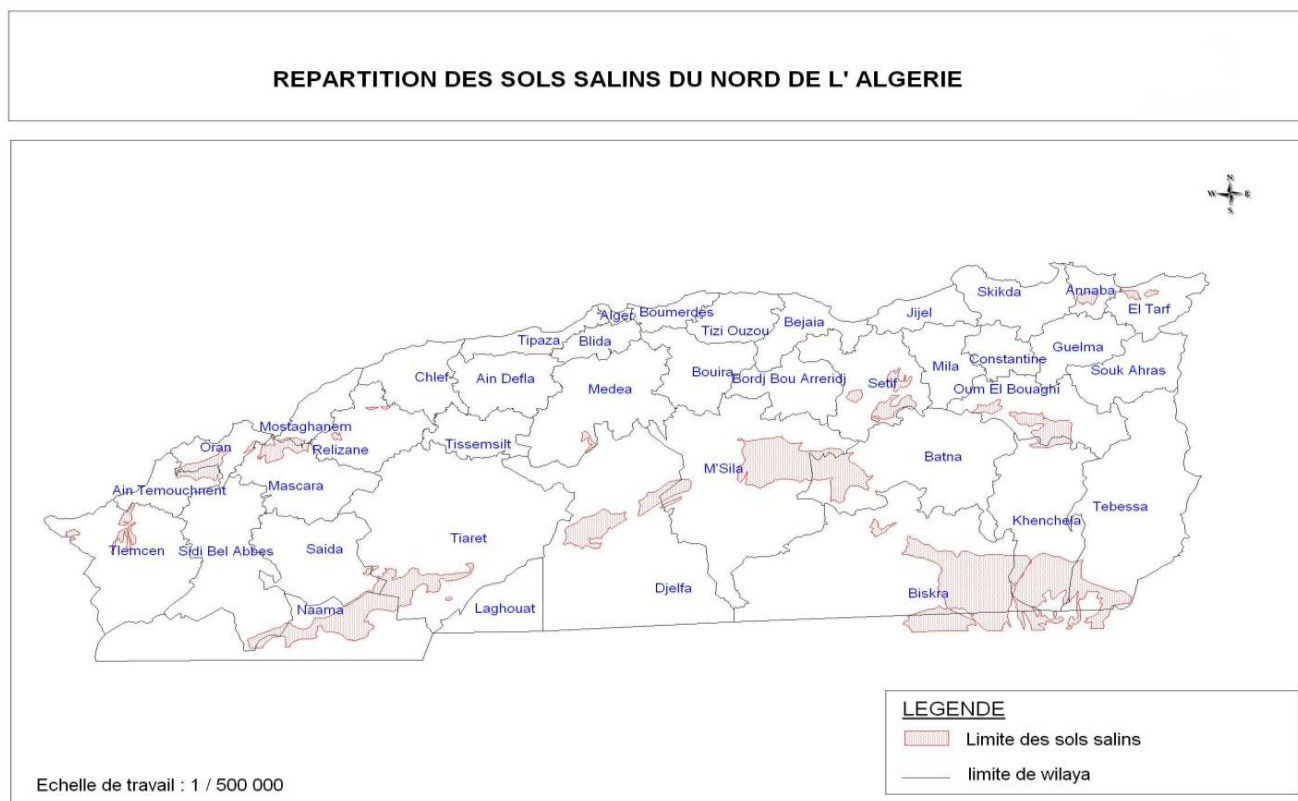
D'après Halitim (1988), dans les régions arides, les sols représentent environ 25 % de la surface cartographiée. Soit 3,2 millions d'hectares (Hamdi, 1999). Les sols situés au Sud sont nettement plus sodiques que ceux du Nord (Daoud, 1999).

D'après les études spécialisées réalisées par l'INSID pour le Bas Chélif (40 000 hectares et la Mina (sur près de 5 000 ha) en 1997, près de 11 000 ha (soit 27 % de la surface étudiée) sont affectés par un degré de salinité de plus de 8 ds.m<sup>-1</sup>

Dans le tableau suivant il est donné un aperçu sur les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'ouest du pays.

**Tableau 3 - les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'Ouest du pays (ONID (ex AGID) 2003).**

<b>Périmètres irrigués</b>	<b>Superficies irrigables</b>	<b>Superficies affectées</b>	<b>Pourcentage %</b>
Haut Cheliff	20 200	6 400	32
Moyen Cheliff	21 800	8 700	40
Bas Cheliff	22 500	15 000	67
Mina	9 600	4 190	44
Habra	19 600	8 100	41
Sig	8 600	3 200	37



**Fig. 3 - Répartition des sols salins du nord de l'Algérie**

## I.2. La genèse d'un sol salin et/ou sodique

Les sels dans le sol peuvent se déplacer d'un horizon à un autre sous l'action de divers facteurs. Les sels les plus solubles sont généralement les plus mobiles. Le mouvement des sels dépend de l'état physique de l'eau du sol, du gradient de température existant dans ce sol, et de la texture des sols etc.

La composition de la solution, le pH et la température sont les paramètres influençant la solubilité des sels. Les sels se solubilisent par des formes différentes. En effet, les chlorures sont les plus solubles, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates sont moyennement solubles. En revanche, lorsque les sulfates et les carbonates sont associés au calcium, ils deviennent presque insolubles.

La formation d'un sol salin ou sodique résulte généralement de l'accumulation des sels dans les horizons de surface (Churchman et *al.* 1993, Naidu et Rengasamy 1993, Sumner 1993, Keren 2000, Levy 2000, Brady et Weil 2002, Essington 2004).

Le régime hydrique du sol, la forme de sel, les conditions climatiques et la texture des sols sont les paramètres les plus importants qui manifestent la genèse d'un sol salin. Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , et aux anions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ . Egalement le bore, le sélénium, l'arsenic et le molybdène (les éléments traces) sont considérés comme d'autres sels moins courants et plus toxiques à faibles concentrations (Keren 2000, Essington 2004). De façon analogue à la formation d'un sol salin, un sol devient sodique lorsque la proportion d'ions  $\text{Na}^+$  dépasse celle des autres électrolytes de plusieurs ordres de grandeur (Sumner 1993, Levy 2000, Essington 2004). Cela dépend de la source de sels mais aussi des conditions physico-chimiques du sol.

Selon Bolt et *al* (1978). Les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline et les pratiques culturales sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante. La salinisation secondaire, en particulier, aggrave le problème où une fois que les superficies agricoles productives deviennent impropres à la culture due à la qualité inférieure de l'eau d'irrigation (Ashraf et Foolad, 2005 in Hammia, 2012).

La salinité excessive affecte la rhizosphère et limite la répartition des plantes dans leur habitat naturel. Le fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions semi-arides et arides accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures (Denden et *al.*, 2005 in Hammia, 2012).

L'eau saline occupe 71% de la surface de la terre. Environ la moitié des systèmes d'irrigation existant du monde sont sous l'influence de la salinisation. De tels sols défavorables, de faibles fertilités sont généralement peu convenables pour la production agricole, entraînant la réduction des rendements. En raison du besoin accru de distribution de la production alimentaire et de l'augmentation des sols affectés par la salinité (Hammia, 2012). La recherche sur des réponses des plantes à la salinité a rapidement augmenté en quelques dernières décennies (Madhava Rao et *al.*, 2006).

## I.2.1. Formes de salinisation des sols

### I.2.1.1. Salinisation primaire

Près de 80 % des terres salinisées ont une origine naturelle « édaphique », on qualifie alors la salinisation de « primaire ». Dans ce cas, celle-ci est due à la formation des sels pendant l'altération des roches ou à des apports naturels externes :

- Dans les régions côtières, intrusion de l'eau salée ou submersion des terres basses.
- Inondation périodique par de l'eau de mauvaise qualité.
- Remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire (Mermoud, 2006).

Ce type de sol est très fréquent dans les zones arides dû à une évapotranspiration potentielle qui dépasse largement la quantité d'eau arrivée au sol (Antipolis, 2003).

### I.2.1.2. Salinisation secondaire

Près de 20% des terres salinisées ont une origine humaine ou anthropique ; sont qualifiées de « secondaires » dû principalement à l'irrigation des terres avec une eau de mauvaise qualité (eau saline), un lessivage insuffisant et un drainage défaillant (Anonyme, 2006 et Le Goupil, 1974), ou bien présence d'une nappe phréatique salée proche de la surface (Duchaufour, 1983 ; Cherbuy, 1991 ; Girard et al, 2005).

Dans ce cas, le sol avait déjà formé et avait acquis une personnalité pédologique. Par exemple, si une partie d'une plaine littorale est envahie par la mer, bien que le contact soit direct, la salinisation reste secondaire. Il en est de même d'un sol alluvial qui se sale sous l'effet de la remontée d'une nappe chlorurée.

Cette distinction tend à faire préciser à quel moment de son histoire, un sol a acquis le caractère halomorphe (Abbani et Abde-Lali, 2005).

## 1.2.2. Paramètres de caractérisation des sols salés

L'étude d'un sol sur le plan de la salinité se base sur un ensemble de facteurs :

\***Conductivité électrique:** La salinité est mesurée par la CE de l'extrait de pâte saturée ou l'extrait dilué du sol. Elle est exprimée en ds/m à 25°C.

\***pH du sol:** La notion du pH du sol permet de façon commode et précise de désigner la réaction du sol. Les sols salés ont un pH sensiblement égal à 7. Il augmente en corrélation avec le rapport Na<sup>+</sup>/CEC.

\***ESP (Le taux de sodium échangeable):** Ce terme permet de caractériser le stade d'alcalinisation d'un complexe d'échange, l'ESP est en fonction de la CEC exprimée en (meq/l).

\***ESP= Na<sup>+</sup>/ Quantité totale des cations absorbés**

\***SAR (Sodium absorption ratio):** Il s'agit d'un paramètre fondamental pour la détermination du niveau de l'alcalinisation de la solution du sol.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^{++}}{2} + \frac{Mg^{++}}{2}}}$$

## 1.3. Classification des sols salés

La salinité du sol est décrite et caractérisée en termes de concentration et de type de sels solubles. Elle est reliée à la conductivité électrique du sol mesurée en déci siemens par mètre (dS.m<sup>-1</sup>). Selon USSL (1954), les sols affectés par les sels sont classés en fonction de la conductivité électrique de leur extrait de pâte saturée (CE dS.m<sup>-1</sup>), du pourcentage de sodium échangeable (ESP en %) et de leur pH (tableau 4).

**Tableau 4 - Classes des sols affectés par les sels (USSL, 1954)**

Classes	CE (dS.m-1)	ESP (%)	pH
Non salin	<4	<15	<8.5
Salin	>4	<15	<8.5
Sodique	<4	>15	>8.5
Salin-sodique	>4	>15	>8.5

Avec :

**CE = conductivité électrique (CE) de l'extrait de pâte saturée**

**pH = pH de l'extrait de pâte saturée**

**ESP = pourcentage de sodium échangeable**

Cependant, les différents systèmes de classification des sols (CPCS, 1967 ; USDA, 2010 ; WRB, 2006 ; AFES, 2008), n'accordent pas la même importance à la salinité des sols. Ainsi, selon le concept de base du système de la classification considérée et l'importance accordée à la salinité dans le diagnostic des unités taxonomiques, les sols affectés par les sels se situent à des niveaux hiérarchiques différents. La CPCS (1967) accorde une place de choix à la salinité et lui dédie une classe des sols à part entière qui se situe au sommet du niveau hiérarchique de cette classification. La CPCS (1967) a proposé de les dénommer sols « sodiques ».

On peut y distinguer :

- (a) Les sols sodiques à structure non dégradée
- (b) Les sols sodiques à structure dégradée.

Les sols sodiques inclus dans ce système de classification présentent un schéma d'évolution dominé soit par une richesse en sels solubles dont la CE de l'extrait de pâte saturée est supérieure à 7 mmhos/cm à 25°C dans l'ensemble du profil, soit par la présence de sodium échangeable (et/ou de magnésium) occupant plus de 10% de la CEC, avec l'apparition d'une structure massive, diffuse, et une compacité élevée.

La classification de la FAO (WRB, 2006) cite deux groupes aux sols affectés par la salinité, le groupe des Solonchaks et celui des Solonetz. Les Solonchaks sont des sols ayant un horizon *salic* débutant dans les 50 premiers cm de la surface du sol et n'ayant pas d'horizon *thionic* dans la même profondeur. Les Solonetz sont d'autres sols ayant un horizon *natric* débutant dans les 100 premiers cm de la surface du sol. L'horizon *natric* est un horizon de subsurface dense dont la teneur en argile est plus élevée que celle de l'horizon sus-jacent, et l'horizon *salic* est un horizon de surface ou de subsurface contenant un enrichissement secondaire en sels solubles.

D'après AFES (le référentiel pédologique 2008), les sols salés et les sols sodiques sont classés dans le Solum « Salisols et Sodisols ». Il est formé sous l'influence dominante de sels solubles et/ou du sodium. Il en existe deux horizons de références spécifiques, un horizon salique et un horizon sodique. Le premier horizon est caractérisé par la présence d'une certaine quantité de sels solubles dans la solution du sol ou précipités dans l'horizon lui-même ; le second horizon est caractérisé par la présence, sur le complexe d'échange ionique de l'horizon, d'une quantité de sodium relativement importante par rapport aux autres cations adsorbés.

Pour ce qui est de la Soil Taxonomie (USDA 2010), il ressort que les sols affectés par les sels n'ont pas une place à part au niveau des ordres. Cette classification qui est fondée sur les critères diagnostiques considère deux horizons diagnostiques pour caractériser la sodicité et la salinité des sols, *natric horizon* et *salic horizon*. Le premier horizon est caractérisé par un pourcentage d'argile plus élevé que celui des horizons sus-jacents, une structure colonnaire, ESP égal ou supérieur à 15%, et un SAR qui est égal ou supérieur à 13. Le second est un horizon d'accumulation des sels solubles, d'une épaisseur de 15 cm ou plus, caractérisé par une CE de l'extrait de pâte saturée égale ou supérieure à 30 dS.m<sup>-1</sup>, et le produit de la CE (dS.m<sup>-1</sup>) par l'épaisseur (cm) est égal ou supérieur à 900. De ce fait, on retrouve les sols salés dans les différents niveaux de classification, par exemple au niveau des suborders (Salids), des grands groupes (Natrixeralfs, Natraquerts, Natrargids, Natrixerolls), ou des sous-groupes (Natric Haploxeralfs ; Natric Petrocalcids; Sodic Xerarents; Sodic Calcixerpts).

### 1.3.1. Sols salés

On distingue deux grands groupes :

- a) Les sols à complexe calcique dominant (solontchaks) : le Ca<sup>++</sup> (sous des formes diverses : bicarbonates, carbonates, nitrates) existe en proportion importante par rapport à NaCl. Vu l'adsorption préférentielle de Ca<sup>++</sup> sur Na<sup>+</sup>, l'ion Na minoritaire et bloqué dans le complexe absorbant. L'ion Na est représenté à raison de moins de 15% dans la capacité d'échange. La structure est bonne et ces sols sont alors stables.
- b) Les sols à complexe sodique dominant présentent la tendance inverse.

Il faut toutefois faire une distinction suivant leur origine :

1. **Les sols à alcali non salés** : proviennent d'une roche éruptive riche en minéraux sodiques, en climat sec où l'élimination de  $\text{Na}^+$  est insuffisante par lessivage. Dans ce cas, la saturation en  $\text{Na}^+$  du complexe absorbant est plus de 15 %. Il y a hydrolyse en période pluvieuse d'où l'augmentation du pH et la destruction de la structure du sol.
2. **Les sols à alcali salés** : sont des sols à nappe salée avec une faible proportion de  $\text{Ca}^{++}$ . Le  $\text{Ca}^{++}$  bloque  $\text{Na}^{++}$  aussi longtemps que la nappe salée reste proche de la surface. Dans ce cas, les argiles s'hydrolysent peu, le pH ne monte pas plus que 8-8,5 et la dégradation de la structure n'est que partielle.

### I.3.2. Sols sodiques et à alcali

La Classification des sols sodiques est délicate du fait des variations saisonnières ou sous l'action de l'homme qu'ils peuvent subir. Plusieurs noms sont utilisés : Sols salés Sols halomorphes, Sols sodiques ; aucun ne recouvre l'ensemble des sols concernés.

La dénomination de Sols Salsodiques que proposa Servant en 1975 semble bien meilleure. Deux sous-classes y sont distinguées en fonction de la présence ou de l'absence d'un horizon à structure dégradée.

Dans une première sous-classe, de sols salsodiques, à structure non dégradée, on peut distinguer deux groupes :

Celui des sols salins à complexe calcimagnésique dont la teneur en sodium du complexe d'échange est inférieure à 15%. Les sous-groupes peuvent y être les suivants :

- modal, friable et sur-salé en surface (hyper-solontchak, profil salin A ou C) (Servant ;1975)
- modal, friable en surface, sur-salé en profondeur (crypto-solontchak à profil salin de type B ou D (Servant, 1975)
- friable en surface, mais hydromorphe en profondeur,
- à croûte saline en surface (en pratique, toujours hydromorphe).
- à horizon d'accumulation gypseuse (en pratique, toujours hydromorphe).
- à salant hygroscopique,
- à sulfures acidifiants.

La deuxième sous-classe comprend les sols sodiques, dont un horizon sur au moins 20 cm présente une structure dégradée, une forte compacité, sous l'influence de la teneur élevée du complexe en sodium échangeable. Suivant les sols (teneur en argile et type de celle-ci, teneur en matière organique et type de celle-ci) la valeur critique de Na/T varie. Elle est toujours au moins de 10%. Actuellement K et Mg ne sont pas pris en compte : le premier est normalement en quantité faible, l'action du second est encore mal élucidée.

La classification Française paraît la plus appropriée dans les zones arides et en particulier pour les sols salés, puisque selon Halitim (1988), la classification Américaine est pragmatique et classe les sols dans des ordres différents en fonction d'une faible variation de l'évapotranspiration ou de la pluviométrie.

Dans la classification Française, les sols salés sont rangés dans la classe des sols salsodiques, elle – même subdivisée en deux sous classes :

- A. Sous classe des sols sodiques à structure non dégradée : ce sont des sols salins (solontchak), soumis à l'influence d'une nappe salée peu profonde, riches en sels de sodium, caractérisés par une conductivité électrique supérieure à  $4 \text{ dS.m}^{-1}$  (Duchauffour, 1988).
  1. Sols salins à complexe calcique (solontchaks) : très fréquents en Algérie (FAO, 2005), caractérisés par un ESP  $< 15\%$  et un profil peu différencié (Servant, 1975 ; Duchauffour, 1976). Ils se rencontrent dans les zones steppiques ou désertiques dans lesquelles des nappes salées contiennent à l'instar des sels solubles, une quantité importante de calcium qui alimente le profil (Halitim, 1973).
  2. Sols salins à complexe sodique (Solontchaks sodique) : ce type de sol est caractérisé par un ESP  $> 15\%$ , il se rencontre en bordure de mer, ou dans les lagunes côtières, sa structure tend à se dégrader et devient poudreuse (Duchauffour, 1988).
- B. Sous classe des sols sodiques à structure dégradée : ce sont des sols alcalins à structure détruite (Duchauffour, 1976). Selon Duchauffour (1988), on distingue trois (03) groupes selon les étapes d'évolution des profils :
  1. Sols alcalins non lessives (solontchaks solonetz) : leur profil est de type A, C ou A, B, C. Ils sont fréquents en Algérie (Durand, 1983).
  2. Sols alcalins lessives de type ABC. L'horizon de surface A, pauvre en argile (migration par l'effet de lessivage) (Duchauffour, 1983). Ces sols existent en Algérie, mais sont très localisés dans les zones humides (Durand, 1983).

3. Sols alcalins dégradés (Solonetz) : ils présentent une structure dégradée complètement en surface avec un pH de 4 à 5 et en profondeur un pH élevé de 9 à 10.

Selon Loyer (1995), on distingue selon le référentiel pédologique Français (Baize et Girard, 1995), sept références : sodisalisols (1 référence), salisodisols (1 référence), Salisols (2 références), sodisols (3 références) (tableau 5).

**Tableau 5-les références des sols salés (AFES 2008)**

Type de sol	Nombre de références	Observation
sodisalisols	1	- sodisalisols
salisodisols	1	- salisodisols
Salisols	2	- salisols chloruro-sulfatés - salisols carbonatés
sodisols	3	- sodisols indifférenciés - sodisols solonetziques - sodisols solodisés

# **Chapitre II**

## **Méthodes de mesure de la salinité de sol**

## II. Méthodes de mesure de la salinité de sol

Plusieurs méthodes ont été utilisées pour évaluer et quantifier la salinité du sol. On peut les regrouper en deux, (i) les méthodes de laboratoire et (ii) les méthodes de terrain.

### II.1. Méthodes de laboratoire

Le principe de base des méthodes de laboratoire repose sur la mesure de la conductivité électrique. Lorsqu'on applique un champ électrique à un milieu conducteur, un courant électrique parallèle et proportionnel à ce champ y apparaît selon la loi d'Ohm ( $\vec{i} = \sigma \cdot \vec{E}$ ) ;  $\vec{i}$  étant la densité du courant  $\vec{E}$  le champ électrique, et  $\sigma$  la conductivité électrique ( $\text{dS.m}^{-1}$ ).

Cette dernière est définie comme étant la capacité d'un matériau de 1 m de long à laisser passer un courant électrique (Schneider, 2010). Elle est représentée par la formule suivante :

$$\sigma = \frac{1}{2\pi a R} \text{ où } a \text{ est la distance inter-électrodes, et } R \text{ la résistance } (\Omega).$$

Les méthodes de laboratoire utilisées pour mesurer la CE des sols comprennent la mesure de la CE de l'extrait de pâte saturée (Richards, 1954), et la mesure de la CE d'un extrait dilué basé sur un rapport sol/eau de type 1/1, 1/2, 1/5, etc.

En raison de la progression faite dans la compréhension des sols salins, il a été constaté que la plante répond à la concentration des sels dans la solution du sol plutôt qu'à la teneur totale en sel dans le sol. Par conséquent, la conductivité de l'extrait de pâte saturée est recommandée comme méthode de référence pour estimer la salinité des sols par rapport à la croissance de la plante. L'utilisation de l'extrait de pâte saturée comme méthode de référence fournit une mesure plus représentative des sels solubles dans la solution du sol parce qu'elle se rapproche de la teneur en eau du sol sur le terrain quand il est à la capacité au champ. La CE a une relation directe avec l'humidité du sol sur le terrain (Sonmez et *al.*, 2008). Par ailleurs, le point de saturation est choisi parce qu'il simule l'état naturel de la solution du sol dans laquelle la solubilité et la phyto-disponibilité des ions sont élevées, et peuvent donc être liées à la réponse des plantes mieux que d'autres rapports sol/eau (Yazdi et Khorsandi, 2002). Cependant, cette méthode, bien

que plus précise, est plus longue, couteuse et plus susceptible d'erreurs dues à la variabilité entre les manipulateurs dans la préparation de la pâte saturée (Douaik, 2005).

Dans le cas où un grand nombre d'échantillons de sol doit être traité, la CE peut être mesurée par des rapports sol/eau plus dilués que la pâte saturée du fait qu'ils sont plus rapides à confectionner, moins couteux et plus faciles à mettre en œuvre surtout quand il s'agit d'étudier de grandes étendues de terre (Douaik, 2005). Les extraits dilués sont très utilisés dans le suivi temporel des variations verticales et spatiales de la salinité (Pansu et Gautheyrou, 2003).

Les extraits dilués doivent être calibrés avec les extraits de pâte saturée ( $CE_{ps}$ ). Dans ce sens, Hogg et Henry (1984) d'une part et Zhang et al. (2005) d'autre part ont mis en évidence une forte relation entre la  $CE_{ps}$  et la CE des différentes dilutions qu'ils ont étudié. La charge saline, le type de sel, et la texture du sol déterminent dans certaines mesures le rapport entre la  $CE_{ps}$  et la CE de l'extrait dilué. Pittman et al. (2001) ont étudié la corrélation entre  $CE_{ps}$  et  $CE_{1/1}$  en utilisant des équations de régression multiple, ils ont constaté que ces deux paramètres sont fortement corrélés mais que la corrélation dépend de la charge ionique et de la texture du sol. Yazdi et Khorsandi (2002) ont établi des rapports entre  $CE_{ps}$  et  $CE_{1/2}$  pour évaluer l'effet du gypse et de la texture du sol sur ces relations. Sonmez et al. (2008) ont trouvé une forte corrélation entre  $CE_{ps}$  et les différents rapports de dilution (1/1, 1/2,5, 1/5) en étudiant trois textures différentes (sableuse, limoneuse et argileuse). Visconti et al. (2010) ont trouvé que le rapport 1/5 est le plus fiable pour estimer  $CE_{ps}$  quand  $CE_{1/5}$  est supérieur à  $2,4 \text{ dS.m}^{-1}$  et le pourcentage du gypse dans le sol est inférieur à 0,2%. Tamazouzt (2013) a trouvé des corrélations très hautement significatives entre  $CE_{ps}$  et les rapports de dilution (1/1, 1/2,5, 1/5 et 1/10), avec un coefficient de corrélation situé entre 0,89 et 0,92.

## II.2. Méthodes de terrain

Comme alternative à la détermination de la CE au laboratoire, la salinité de sol peut être évaluée sur le terrain en mesurant la CE apparente (CEa). Cette dernière peut être représentée par la conductivité à travers trois voies agissant en parallèle (Rhoades, 1993 ; Corwin et Lesch, 2005):

- Conductivité par des couches alternatives des particules solides et de la solution du sol qui enveloppe et sépare ces particules (voie solide-liquide)
- Conductivité par des voies continues de la solution du sol (voie liquide)
- Conductivité le long des surfaces des particules en contact direct et continu entre elles (voie solide)

La conductivité électrique apparente est donnée par la formule suivante (Corwin et Lesch, 2005):

$$ECa \text{ (dS. m-1)} = \frac{(\theta_{ss} + \theta_{ws}) 2EC_{ws} EC_{ss}}{\theta_{ss} EC_{ws} + \theta_{ws} EC_{ss}} + (\theta_{sc} EC_{sc}) + (\theta_{wc} EC_{wc})$$

ECa: conductivité électrique apparente du sol

$\theta_{ss}$ : teneur en eau volumique dans la phase solide

$\theta_{sc}$ : teneur en eau volumique dans la surface solide

$\theta_{ws}$ : teneur en eau volumique dans les micropores (voies solide-liquide)

$\theta_{wc}$ : teneur en eau volumique dans les macropores (voies liquides)

EC<sub>ws</sub>: conductivité électrique de l'eau dans les micropores

EC<sub>wc</sub>: conductivité électrique de l'eau dans les macropores

EC<sub>ss</sub>: conductivité électrique de la phase solide

EC<sub>sc</sub>: conductivité électrique de la surface des particules solide

La conductivité électrique apparente peut être mesurée à l'aide de trois techniques différentes : sonde d'électrodes (résistivité électrique), induction électromagnétique, et sonde TDR.

## II.3. Résistivité électrique

La résistivité électrique d'un horizon de sol ( $\rho$ ) mesurée en (O.m) est égale à l'inverse de sa conductivité électrique ( $\rho = 1/s$ ), elle est donc définie par la capacité d'un matériau de 1 m de long à limiter le passage du courant électrique. La résistivité électrique d'un sol est influencée par plusieurs facteurs répartis entre les variables intrinsèques pérennes telles que la texture, la structure, la porosité et la carbonatation du sol et les variables d'états diachroniques comme la teneur en eau, la température et la concentration saline de la solution du sol (Goulet et Barbeau, 2004).

La méthode de résistivité électrique consiste à utiliser un dispositif désigné sous le nom de "Wenner" (Corwin et Lesch, 2003 ; Corwin et Lesch, 2005). Il contient quatre électrodes équidistantes espacées en ligne droite et insérées à quelques centimètres dans le sol, avec deux électrodes externes de "courant" ou de "transmission", et deux électrodes internes de "potentiel" ou de "réception" (Corwin et Lesch, 2005 ; Douaik, 2005). Les électrodes de transmission envoient un courant électrique constant tandis que les électrodes de réception sont utilisées pour mesurer le potentiel d'écoulement du courant. La profondeur de pénétration du courant est fonction de la distance inter-électrodes.

La résistivité électrique est une méthode bien adaptée aux applications de terrain parce que le volume de sol considéré pour la mesure est grand et réduit l'influence de la variabilité à l'échelle locale. C'est une méthode flexible sur le terrain où la profondeur et le volume de mesure peuvent facilement être changés en modifiant la distance entre les électrodes (Corwin et Lesch, 2003). Cependant, cette méthode est envahissante et elle exige un bon contact entre le sol et les quatre électrodes. De ce fait, elle fournit des mesures moins fiables dans certaines conditions (sols secs ou pierreux) (Corwin et Lesch, 2005).

## II.4. La réflectométrie TDR (Time Domain Reflectometry)

La mesure de la CEa par le réflectomètre TDR est basée sur la vitesse de propagation et la réflexion d'une impulsion électromagnétique envoyée par le dispositif le long des lignes de transmission. La constante diélectrique et l'impédance du milieu (le sol) peuvent être mesurées une fois que les lignes de transmission sont placées à l'intérieur du sol. Le premier paramètre (la constante diélectrique) est fonction de la teneur en eau du sol tandis que le second paramètre

(l'impédance du milieu) résulte d'une atténuation du signal qui peut être liée à la CEa (Douaik, 2005). Comme avantages, le TDR est de nature non envahissante, et peut être employé pour mesurer simultanément la teneur en eau et la conductivité électrique du sol (Douaik, 2005 ; Corwin et Lesch, 2003). L'inconvénient de cette technique est dû au fait que l'analyse devient progressivement inexacte à cause de l'atténuation du signal qui est proportionnel à la longueur de la sonde, au taux et type d'argile et à la teneur en eau (Scott et Dani, 2004).

## II.5. L'Induction électromagnétique

La salinité peut être mesurée par la méthode d'induction électromagnétique. Cette méthode est conçue pour être particulièrement utile pour la mesure de la salinité des sols dans un contexte géospatial (Corwin et Lesch, 2003) et temporel du fait que :

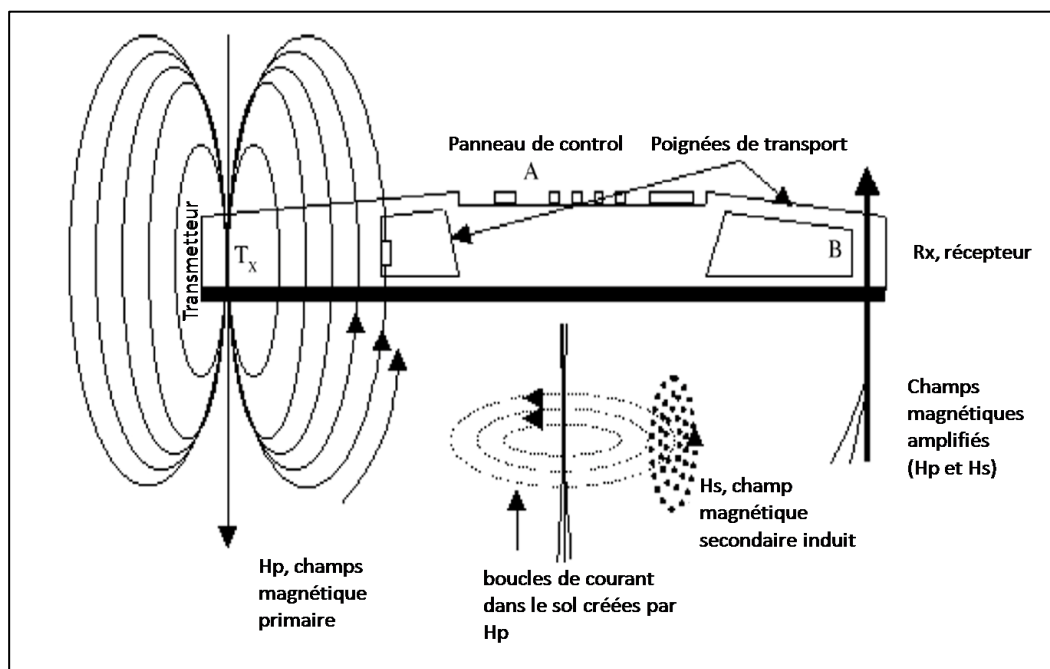
- les mesures peuvent être prises très rapidement quand on se déplace d'un endroit à un autre,
- la grande densité des mesures réduit la variabilité spatiale locale,
- les mesures peuvent être effectuées dans les sols relativement secs ou pierreux, parce qu'aucun contact n'est nécessaire entre le sol et le dispositif.

### II.5.1. Principe de mesure

La mesure se fait en plaçant le dispositif sur le terrain et en enregistrant les lectures des compteurs. Le dispositif comprend deux bobines électriques situées à ses deux extrémités, l'une transmettrice (Tx) et l'autre réceptrice (Rx). La bobine transmettrice induit un champ magnétique primaire ( $H_p$ ) qui crée des boucles de courant électrique circulaires dans le sol.

L'importance de ces boucles est proportionnelle à la conductivité électrique de la couche du sol. Chaque boucle de courant produit un champ électromagnétique secondaire ( $H_s$ ) proportionnel à la valeur du courant de la boucle. Le champ secondaire est superposé au champ primaire, et les deux sont arrêtés, amplifiés, puis mesurés par la bobine réceptrice de l'instrument. (Figure 1). L'amplitude et la phase du champ secondaire diffèrent de celles du champ primaire en raison de certaines propriétés du sol (taux d'argile, teneur en eau, et salinité), de

la distance inter-bobines et de leur orientation, de la fréquence du courant, et de la distance au-dessus de la surface de sol (Corwin et Lesch, 2005).



**Fig.4- Principe de fonctionnement du conductimètre électromagnétique (Corwin et Lesch, 2005)**

L'induction électromagnétique s'utilise en place sans perturbation du sol ni prélèvement d'échantillon. L'appareil est simplement posé sur le sol ou maintenu horizontalement à une certaine hauteur. Il n'y a donc pas de problème de contact sol-sonde, et la mesure est immédiate (Job et al., 1987).

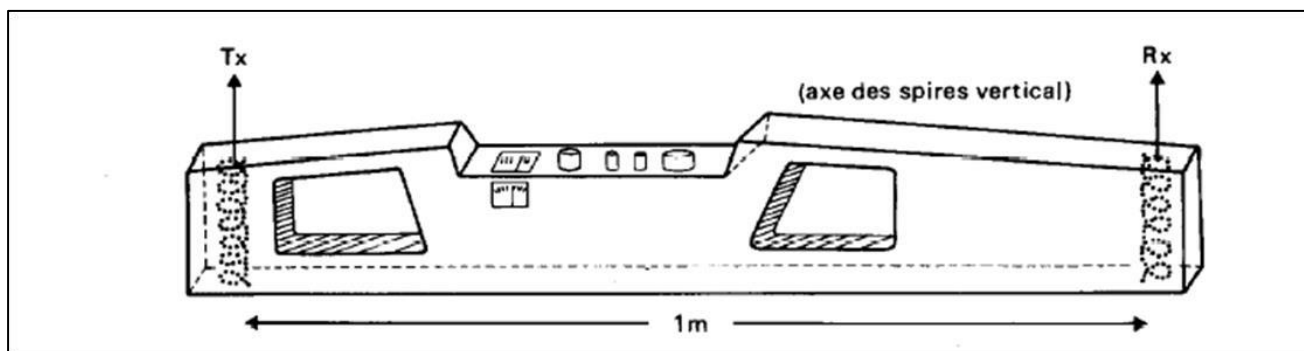
Bien que la profondeur de la pénétration de la mesure par EM puisse être changée en soulevant l'instrument au-dessus de la surface de sol, il reste néanmoins difficile de déterminer la profondeur et le volume du sol concerné par la mesure (Corwin et Lesch, 2003).

## II.5.2. Le conductivimètre EM38, Géonics LTD

L'EM38 (Geonics Ltd, Canada) est un dispositif commercial conçu pour mesurer la salinité des sols. La profondeur d'exploration – dans un profil homogène – tend jusqu'à 1,5 ou 2 m en mode vertical et à 0,75 ou 1 m en mode horizontal (Corwin et Lesch, 2005). La distance inter-spires est de 1 m et il fonctionne à une fréquence de 13,2 kHz. Il est alimenté par une batterie de 9 V et lit la CE directement (Rhoades, 1993 ; Rhoades et *al.*, 1999).

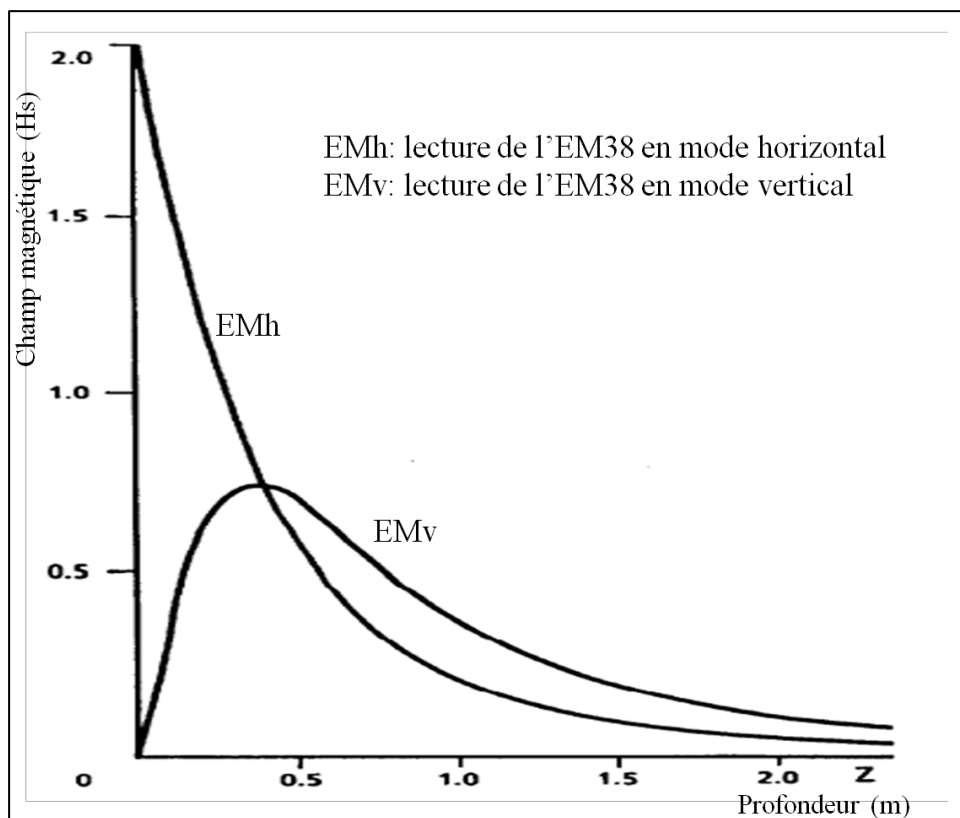
- **Positions et réponses de l'EM38 en fonction de la profondeur**

L'EM38 est conçu pour être placé dans une position verticale ou horizontale. La mesure de la salinité du sol avec cet appareil se base sur la mesure des dipôles des deux positions en même temps à fin d'évaluer qualitativement la distribution de la salinité dans le profil. Si l'axe des dipôles est parallèle à la surface du sol, la position de l'appareil est **horizontale**; si l'axe est perpendiculaire à la surface du sol, la position est **verticale** (figure 5).



**Fig.5- Position des dipôles par rapport à l'appareil (Job et al.1987)**

Les variations de la salinité dans le profil du sol influencent la mesure de la CEa. La réponse d'une couche élémentaire de sol homogène d'épaisseur ( $z$ ), dans les deux modes horizontal et vertical, change avec la profondeur. En mode horizontal (EMh), les intervalles de profondeur 0 à 0,3; 0,3 à 0,6; 0,6 à 0,9 et 0,9 à 1,2 m contribuent à environ 43, 21, 10 et 6 %, respectivement alors qu'en mode vertical (EMv) les pourcentages correspondants sont de 17, 21, 14 et 10 % respectivement (figure 6).



**Fig.6- Réponses de l'EM38 en fonction de la profondeur (Job et *al.*, 1987)**

Vu l'importance relative des lectures EMh et EMv à un point dans l'espace, il est possible de déterminer la forme générale du profil de salinité. Lorsque  $EMh > EMv$  on se trouve dans un profil salin décroissant avec la profondeur, situation indiquant une concentration des sels en surface. Dans le cas contraire il s'agit d'un profil salin croissant en profondeur, où les sels se sont accumulés (Job et *al.*, 1987 ; Rhoades et *al.*, 1999).

## II.6. Influence des paramètres pédologiques sur la CEa

Plusieurs paramètres peuvent influencer la salinité des sols. Malgré que dans les sols salins la salinité est le facteur dominant de la valeur de la CEa, il est nécessaire de connaître les autres facteurs qui l'influencent pour interpréter convenablement les résultats donnés à partir de la mesure de ce paramètre. Pour comprendre l'effet des paramètres pédologiques sur la CEa, Rhoades et *al.* (1989) ont formulé l'équation suivante:

$$ECa \text{ (dS. m}^{-1}\text{)} = \frac{(\theta_{ss} + \theta_{ws})^2 EC_{ws} EC_{ss}}{\theta_{ss} EC_{ws} + \theta_{ws} EC_{ss}} + (\theta_w - \theta_{ws}) \cdot EC_{wc} \dots (1)$$

Où

$$\theta_w = \theta_{ws} + \theta_{wc}$$

$$\theta_{ws} = 0,639\theta_w + 0,011$$

$$\theta_w = (PW + \rho b) / 100$$

$$\theta_{ss} = \rho b / 2,65$$

$$EC_{ss} = 0,019(SP) - 0,434$$

$$EC_w = EC_{ws} = EC_{wc}$$

$EC_{sc}$  est négligeable

$$EC_w = \left[ \frac{(CEps * \rho b * SP)}{100 * \theta_w} \right] \dots (2)$$

Avec :

**PW**: Humidité pondérale (%) ;

**$\rho b$** : densité apparente ;

**CEps**: conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (dS.m-1) ;

**SP**: taux de saturation (%) ;

**$\theta_w$** : Teneur en eau volumique totale (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)

En remplaçant l'équation (2) dans l'équation (1) on obtient une formule de la CEa qui indique que ce paramètre dépend des propriétés physiques et chimiques suivantes: (a) salinité, (b) teneur en eau, (c) taux de saturation, et (d) densité apparente. Le taux de saturation et la densité apparente dépendent du taux d'argile.

La CEa peut être également affectée par la texture (Rhoades, 1981 ; McKenzie et *al.*, 1989 ; Corwin et Lesch, 2003 ; Amezketa, 2007), la porosité (Bennett et George, 1995), la température (McKenzie et *al.*, 1989 ; Bennett et George, 1995), la compaction et la matière organique (Corwin et Lesch, 2005) et par la CEC (Rhoades, 1981).

# **Chapitre III**

## **Dégradation des sols salés**

### III. Effets de la salinité et de la sodicité

Les sols salés contiennent suffisamment des sels solubles dans leur solution (électrolytes) pour nuire à la croissance de la plupart des plantes. Ces sels solubles, sont principalement le sodium ( $\text{Na}^+$ ), le calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ), le magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) et de potassium ( $\text{K}^+$ ) et aussi les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) et les carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ).

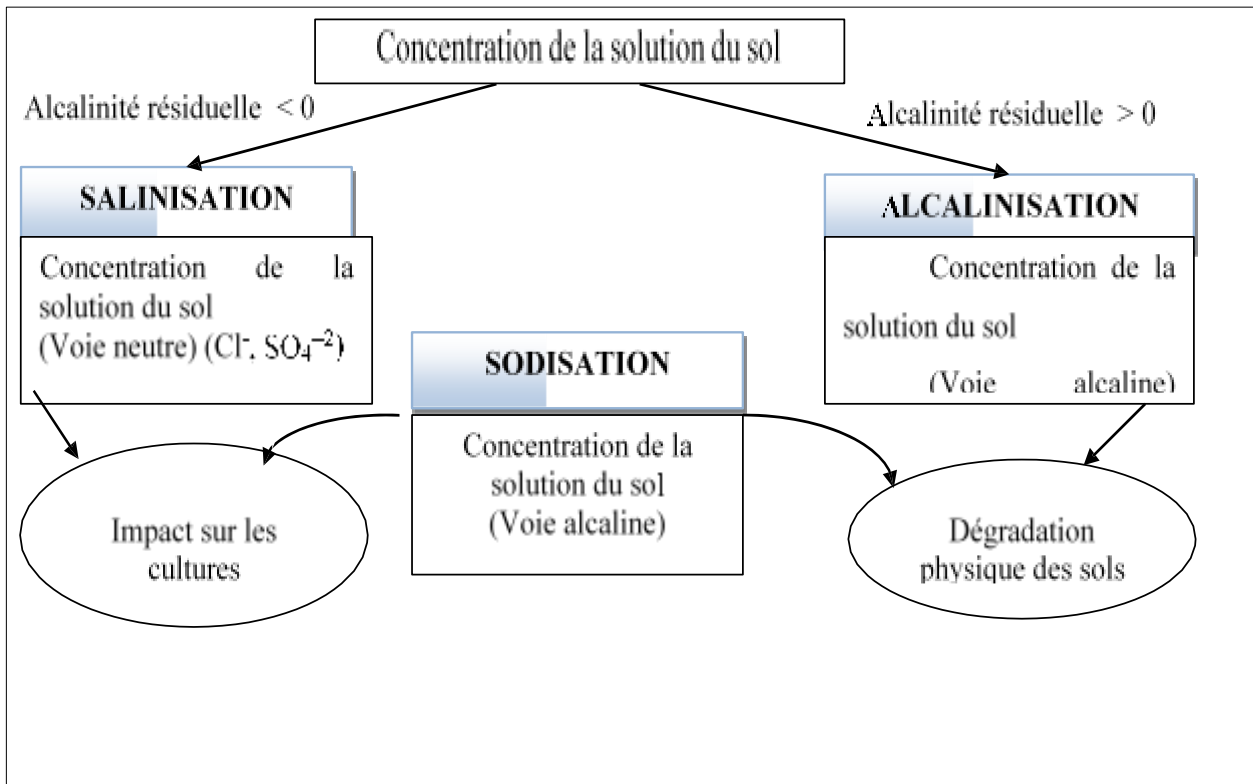
Le développement d'une gestion efficace des pratiques de lutte contre la salinité nécessite une bonne compréhension des effets de la salinité sur les sols et sur les plantes.

#### III.1. Effets sur les propriétés physico-chimiques des sols

Dans les sols salins, la présence excessive de sels solubles neutres floccule la fraction argileuse, mais les maintient stable, alors que dans les sols alcalins, un excès en sodium échangeable favorise la dispersion de l'argile et rend la structure du sol instable. Ces sols sont ainsi sensibles aux encroûtements de surface qui favorisent le ruissellement de surface (Hassan, 2005). Une prise en masse du sol peut également réduire fortement l'infiltration de l'eau dans le sol et conduire à une hydromorphie plus ou moins importante du sol selon sa texture et sa position topographique dans le paysage (Douaoui *et al*, 2004).

Un taux de sodium échangeable élevé a pour effet une dispersion des agrégats, ce qui conduit à une réduction de la perméabilité, de la porosité et un tassement des sols. Du point de vue agricole, cela se traduit d'une part par la prise en masse du sol qui devient très compact, dur, difficile à labourer, et d'autre part, par des difficultés de germination, et d'enracinement des plantes (Fig. 9). Par ailleurs le sol devient totalement asphyxiant, ce qui s'accompagne d'une atrophie du système racinaire, de son développement de plus en plus superficiel, avec des conséquences défavorables sur la nutrition minérale des plantes, et la baisse considérable des rendements :

- Difficulté de germination et de levée
- Stress hydrique de la plante
- Perturbation de la croissance
- Formation de croûtes de surface
- Imperméabilisation de la surface



**Fig.7 - Processus des différentes voies de la salinisation et leur impact sur la dégradation des sols et sur les cultures. (Tabet, 1999)**

Une grande quantité de sels solubles peut affecter les propriétés pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la chute de la perméabilité hydraulique (Servant, 1970 ; Cheverry 1972 ; Agassi et al 1981 ; Aubert 1983 ; Halitim, et al 1984 ; Daoud, 1993)

L'excès de sels dans un sol modifie les propriétés physiques et chimiques. Cette altération des conditions édaphiques constitue un stress indirect pour la croissance des plantes (Gregory, 2005).

### III.1.1. Effets sur les propriétés physiques des sols

Les sols salés sont les plus fragiles et souvent sujet de dégradation qui réduit leur stabilité structurale, décroît fortement lorsque le taux de Na échangeable atteint 12 à 15 % de saturation de la CEC (DUTHIL, 1971).

Une forte salinité réduit le gonflement et la dégradation des agrégats ainsi que la dispersion des particules du sol. Par contre une forte sodicité provoque un gonflement et une dispersion des particules colloïdales (GUPTA et al, 1990).il a été montré également que le gonflement de l'argile

est lié à la taille et au nombre des pores, alors que la conductivité hydraulique uniquement à la taille des rayons des constituants (HALITIM, 1985).

Tessier en 1984, considère que la contrainte physique et les conditions physico-chimiques influencent par des mécanismes différents sur la rétention en eau et la conductivité hydraulique.

Sigala et al., (1988), ont constaté que le sodium échangeable influe sur le taux de dispersion des argiles, donc la présence des sels transforme profondément l'évolution du sol, elle influence en particulier :

- Les rapports sol- eau.
- Les propriétés physiques du sol, structure, porosité, perméabilité donc circulation des solutions.
- L'état physique de certains éléments - en solution, pseudo - solution ou dispersion et par conséquent les possibilités de leur migration.

Les différentes recherches menées jusqu'à présent concernant les effets des sels sur les propriétés des sols ont concerné principalement la perméabilité et la stabilité structurale.

### **III.1.1.1. Effets des sels sur la stabilité structurale**

La dégradation de la structure du sol par la salinisation modifie la circulation de l'eau de pluie ou d'irrigation ou de ses solutions.

La stabilité d'un sol dépend des cations mis en jeu pour la saturation du complexe et le taux d'agrégats stables est décroissant suivant les cations fixés sur le complexe absorbant  $Ca^{++} < Mg^{++} < K^+ < Na^+$ . La stabilité structurale décroît dans les sols dès que le taux de sodium échangeable atteint 12 à 15% (Duthil, 1973). Le rapport  $Na^+/Ca^{++}$  influe sur la dispersion des colloïdes.

Cette dispersion apparaît dès que la quantité de sodium échangeable dépasse celle du calcium échangeable : c'est-à-dire lorsque le rapport  $Na^+/Ca^{++}$  dépasse la valeur de 1. (Derdour, 1981). Le  $Na^+$  par son pouvoir gonflant et dispersant d'argiles réduit la macro porosité.

Henin et al. (1969) ont constaté que l'ion Na conféré à un sol enrichi en solution une plus grande capacité que sur un sol environnant et l'enrichissement en ion  $K^+$  modifié relativement par la structure. Le taux d'agrégats stables est lié ainsi à la garniture ionique et au type d'argile dont la stabilité est liée au potentiel électrique.

En outre, Marih (1991) (YANKOVITCH., 1968- *in* MARIH R., 1991,) interprète cette liaison de la façon suivante :

- Si le potentiel électrique est élevé, les particules se repoussent en se dispersant et le taux d'agrégats stable est très faible (complexe à faible teneur en  $Na^+$ ) ;
- Si le potentiel électrique demeure bas, les particules s'attirent, s'agglomèrent en formant des flocons, c'est le phénomène de floculation qui donne naissance à des agglomérats stables (complexe saturé avec le  $Ca^{++}$ ). Une eau pure n'est bonne pour irriguer que si le sol est dépourvu de sels ou est à la rigueur saline. S'il est sodique et argileux, qu'il peut s'imperméabiliser.

Dans ce cas, une eau fortement minéralisée, par exemple l'eau de mer, peut être utilisée pour éliminer l'essentiel du sodium de la CEC. Après quoi, sur le long terme, on passe l'irrigation avec une eau qui idéalement, est légèrement saline et riche en calcium. Il vaut mieux éliminer le sodium de la capacité d'échange en plusieurs fois, c'est plus efficace et il faut moins d'eau car, entre deux irrigations lessivant, l'équilibre avec la solution du sol se rétablit, ce qui veut dire désorption du sodium. Alors cet ion en solution peut être éliminé plus facilement par l'apport d'eau suivant (Legros, 2007).

### III.1.1.2. Effets des sels sur la perméabilité

La conductivité hydraulique est l'une des propriétés physiques indispensable en agriculture irriguée, cette propriété dépend des conditions chimiques de la solution du sol.

La perméabilité dépend essentiellement de la texture, la structure, le type de cations absorbés et le taux de matière organique, la diminution de la perméabilité des sols salés à alcalins est une conséquence directe de la dispersion des colloïdes par l'ion Na (DERDOUR, 1981). Cette perméabilité commence à augmenter avec la salinité du fait de la formation des agrégats par l'action floculant des sels, puis elle se maintient constante (DEMELON, 1966).

La réduction de la perméabilité des sols salés est une conséquence directe de la dispersion des colloïdes par le sodium échangeable. Cette diminution est fonction de l'ion accompagnateur du sodium, elle diminue dans le sens suivant :  $\text{CO}_3^{--} > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^- > \text{Cl}^-$ .

SERVANT en 1971, signalait que le sodium réduit la percolation alors que le  $\text{K}^+$  l'augmente. Par contre les sols saturés par le  $\text{Ca}^{++}$  ont une meilleure perméabilité que ceux saturés par le  $\text{Na}^{++}$  et  $\text{K}^+$ .

Selon RICHARDS (1954), deux facteurs jouent ou régissent la diminution de la perméabilité :

- Le gonflement des particules d'argiles, causant la diminution de la taille des pores larges dans le système ;
- La dispersion des argiles provoque ainsi l'obstruction des pores et des canaux dans le sol.

### III.1.1.3. Effets des sels sur la rétention en l'eau

Possédant des éléments hygroscopiques, les sols salés peuvent rester humides même en saison sèche, mais selon Halitim (1973), en raison du potentiel osmotique de la solution du sol, cette réserve hydrique n'est pas toujours disponible.

## III.1.2. Effets sur les propriétés chimiques

Un sol salé contient des sels sous forme soluble tel que les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), les sulfates ( $\text{SO}_4^{--}$ ), et les carbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). Par ailleurs, il contient aussi des cations tels que le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ ), le sodium ( $\text{Na}^+$ ), et en teneur moins abondante du potassique ( $\text{K}^+$ ) (Doumergues et Mangenot, 1970).

### III.1.2.1. Conductivité électrique

La conductivité électrique d'une solution est la conductance de cette solution mesurée entre deux électrodes de  $1 \text{ cm}^2$  de surface. Elle permet de déterminer la salinité globale de l'extrait de pâte saturée. Elle est exprimée en  $\text{dS.m}^{-1}$  (Baize, 1988).

La CE exprime la quantité totale de sels présents dans la solution du sol ; d'après Calvet (2003), plus la concentration des sels dissous est importante, plus la CE de la pâte saturée est élevée.

Il est admis qu'un sol ayant une conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée supérieure ou égale à 4 ds.m-1 est considéré comme salé (Boulaine, 1978).

L'échelle agronomique mise au point par l'U.S. Salinity Laboratory (U.S.S.L) est graduée selon les valeurs de la CE, de 0 à 16 dS.m-1.

### III.1.2.2. Le potentiel Hydrogène pH

Le pH d'une solution est la quantité d'ions H<sup>+</sup> libres qu'elle contient (Soltner, 1982).

Le  $pH = 1/\log(H^+)$ . Le pH se mesure sur une suspension de terre fine. (Aubert, 1978).

L'accumulation des sels solubles dans le profil d'un sol, réduit son pH mais dans le cas d'un sol alcalin, le pH augmente avec la salinité à cause de la présence des bicarbonates et des carbonates de sodium (GUPTA *et al*, 1990). C'est pourquoi existe une relation entre la sodicité du sol et le pH de l'extrait de pâte saturée rapportée par Boulaine en 1978, en en terme de Na échangeable en fonction du pH.

**Tableau 6- sodium échangeable en fonction des valeurs du pH des pâtes de sol saturé (Boulaine, 1978).**

pH	ESP en %.	Observation
pH > 8,5	> 15 toujours	Présente de carbonate d'alcalino-terreux.
7,5 < pH < 8,5	> 15 pas toujours	Présence ou non présence de carbonate d'alcalino-terreux.
7 < pH < 7,5	< 15	Pratiquement pas de carbonate d'alcalino-terreux.
pH < 7	Très faible	Quantité significative de Na <sup>+</sup> échangeable

D'après Khatir (2000), les sols salés ont un pH généralement supérieur à 7, il peut atteindre des valeurs nettement supérieures à 8,5 quand il y a une forte abondance et une diversité en espèce chimique de sels. En fonction de la valeur du pH d'un sol, on peut classer les sols selon l'échelle d'alcalinité suivante :

- pH < 4,5 : sols très acide.
- 4,5 < pH < 6 : sols faiblement acide.
- 6 < pH < 7 : neutre, sols équilibrés permettant une bonne alimentation.
- pH > 7 : sols calcaires (alcalins, basiques).

### III.1.2.3. Taux de sodium échangeable (ESP)

Le pourcentage de sodium échangeable (EPS), représente la concentration en sodium Na<sup>+</sup> échangeable (exprimée en méq.100g<sup>-1</sup>) par rapport à la capacité d'échange cationique (CEC) du sol qui est la quantité totale de cation (ions<sup>+</sup>) que ce dernier peut adsorber sur son complexe d'échange avec la solution du sol.

$$ESP = (Na^+ / CEC) 100.$$

À partir de l'échelle de contamination du sol par le sodium échangeable, on peut classer un sol en fonction de son état de dégradation par la valeur de son EPS comme suit (F.A.O, 1984) :

- EPS < 5% : légère alcalinité.
- EPS de 5 à 20% : alcalinité modérée.
- EPS de 20 à 45% : alcalinité grave.
- EPS > 45% : alcalinité très grave.

### III.1.2.4. SAR « Sodium Adsorption Ration »

Dans l'étude des mécanismes de sodisation, l'Ecole de Riverside, à l'USDA (1969) utilise un paramètre précis pour définir la composition des solutions du sol ou des nappes salées. Il s'agit du SAR « Sodium Adsorption Ration » (Mathieu et Pieltain, 2003). Le SAR est calculé selon l'expression suivante :

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^{++}}{2} + \frac{Mg^{++}}{2}}}$$

Où Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup>, représentent les concentrations en milliéquivalents par litre dans la solution du sol ou dans l'eau d'irrigation. Le SAR donne des indications sur le risque d'alcalisation du milieu.

Les risques sont faibles si le SAR < 10, moyen si SAR est compris entre 10 et 18, élevés si SAR > 18, et très élevés si SAR > 26.

**Remarque :** il existe plusieurs relations empiriques entre le SAR et l'ESP. La relation la plus classique et la plus utilisée est celle proposée en 1954 par L'U.S.S.L sur la base des mesures réalisées sur 59 types de sols différents.

$$ESP (\%) = \frac{100 (-0,0126 + 0,01475 \times SAR)}{1 + (-0,0126 + 0,01475 \times SAR)}$$

### III.1.2.5. Composition ionique de la solution du sol

Afin de connaître la concentration en anions solubles ( $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  et  $HCO_3^-$ ) et en cations solubles ( $Na^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$ ), une analyse chimique est effectuée sur l'extrait de pâte saturée ou sur extrait aqueux dilué. Elle sert à classer le type de salinisation selon le diagramme de PIPER ou autre classification. C'est ainsi qu'on peut utiliser le rapport  $Cl^-/SO_4^{2-}$  pour classer les solutions du sol (Servant, 1966 /71). Elle sert aussi à calculer le SAR (Sodium Adsorption Ration) qui exprime le pouvoir de sodisation de la solution du sol.

**Tableau 7 - Nature de la salinisation selon  $Cl^-/SO_4^{2-}$**

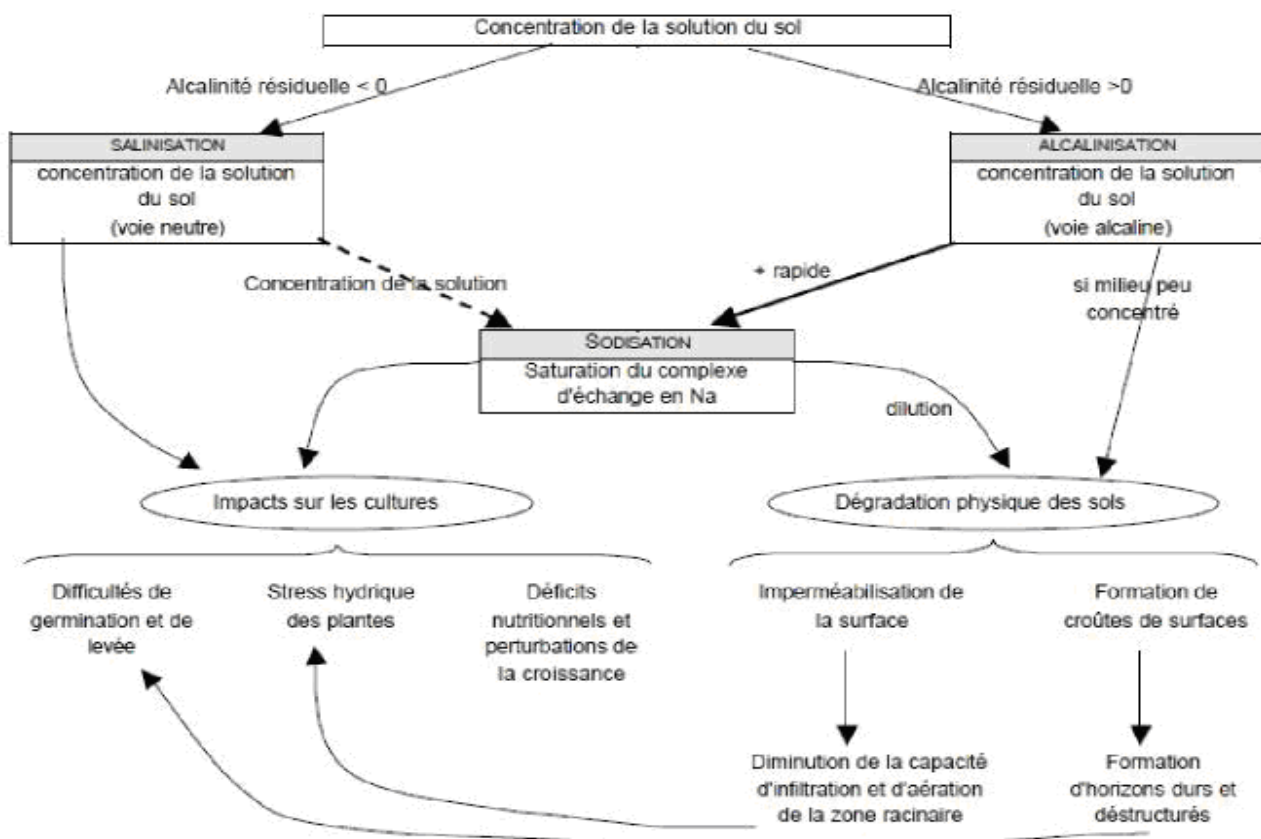
$Cl^-/SO_4^{2-}$	> 5	Salinisation Chlorurée
	1 - 5	Salinisation Chlorurée-sulfatée
	0,2 - 1	Salinisation Sulfato-chlorurée
	< 0,2	Salinisation Sulfatée

### III.2. Effets sur la plante

La salinité constitue un facteur limitant non négligeable pour l'agriculture mondiale (Hillel, 2000). L'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de la croissance et le développement (Munns et *al.*, 1983). Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance et la productivité végétale (Ashraf et Harris, 2004).

L'accumulation des sels dans les sols est un grave problème environnemental menaçant les processus physiologiques de la plante et la fertilité des sols (Halitim, 1988). Les sels constituent aussi un obstacle physique à l'enracinement à cause de la diminution de la disponibilité en eau et

de l'instabilité structurale du sol. Ils sont aussi à l'origine des déséquilibres nutritionnels observés chez les plantes. Seules les plantes tolérantes aux sels peuvent se développer. Dans certains cas, la salinité est tellement élevée que le sol devient stérile et dépourvu de toute végétation y compris de plantes halophytes. Dans ce cas, des problèmes de toxicité surviennent aussi ; outre le sodium et le chlore, d'autres éléments à l'état de traces tels que le bore, peuvent aussi être toxiques pour les plantes (Ayers et Westcot, 1988).



**Fig.8 - Schéma synthétique des processus géochimiques des différentes voies de salinisation et leurs impacts sur les propriétés physiques des sols et sur les cultures (Source: Tabet, 1999)**

### III.3. Dégradation des sols salés

#### III.3.1. Dégradation physique et chimique des sols salés

Les ions sodium, en solution dans l'eau, sont en équilibre avec d'autres qui sont fixés sur les argiles lesquelles sont l'un des constituants majeurs de la terre (au sens de matériaux).

L'ensemble a de bonnes propriétés physiques car le sodium qui est d'un côté concentré dans l'eau et de l'autre fixé sur l'argile, sert de flocculant. Les argiles sont maintenues sous forme de gros amas appelés agrégats. Entre les mottes, entre les agrégats donc, les racines passent, trouvent de l'eau à boire et de l'air à respirer. En dépit du sel, certains végétaux peuvent survivre.

Lorsque le sodium domine dans l'eau, on parle de « salinité » et lorsqu'il domine accroché à l'argile on parle de « sodicité ».

Mais dans certains sols, quand la concentration en sodium diminue dans l'eau l'imbibition, en relation avec une irrigation à l'eau pure, les ions sodium du milieu extérieur disparaissent. Ceux qui sont accrochés à l'argile y restent et s'hydratent ; ils s'entourent d'une fine couche d'eau à l'échelle moléculaire. Cela sert de lubrifiant. Chaque particule se met à flotter dans ce manteau hydrique, indépendamment de ses voisines tant et si bien qu'on obtient une sorte de purée qui devient béton quand l'eau s'en va. Voici un de ces bétons salés, certes fissuré tous les 20 cm par la sécheresse, mais impropre à la croissance des plantes.

En effet, les racines des plantes ne peuvent pénétrer le sol quand il sèche. Alors, l'eau d'irrigation et de dessalement ne peut plus passer. Si ce phénomène se produit, il est à peu près irréversible. Le sol est perdu pour des décennies voire des siècles. Autrement dit, en voulant dessaler, on peut détruire le sol. Le remède consiste à irriguer avec une eau chargée artificiellement en gypse (sulfate de calcium) de telle manière que le sodium qui s'en va de l'argile, y est immédiatement remplacé par du calcium. Alors, la floculation demeure.

La dégradation des sols salés est souvent chimique. On a vu que les roches contenaient des ions sodium (Na) libérés par l'altération. On a vu aussi, sans trop insister que ce sodium ( $\text{Na}^+$  en solution) était équilibré par les ions  $\text{CO}_3^{--}$  provenant du gaz carbonique de l'air. La sécheresse

concentre les eaux et donc ces ions. Or, le carbonate de sodium,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , le bicarbonate comme on dit en pharmacie, est un sel d'acide faible et de base forte. Il détermine une réaction basique. On s'en sert contre les aigreurs d'estomac. Autrement dit, le pH monte dans les sols salés, parfois jusqu'à 10 et même plus, ce qui fait périr les plantes. On parle alors de sol alcalin. Un pH très élevé du sol est souvent signe de salinité.

En fait c'est très compliqué et en même temps intéressant. Les différents anions et cations présents dans le milieu ( $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  etc.) co-précipitent. Le pH du sol va être déterminé par les plus réfractaires à la précipitation. Ce sont ceux qui sont spécialement abondants et, en plus, spécialement solubles. Suivant les cas, on obtient toutes sortes de sels différents : chlorures, sulfates, carbonates, nitrates parfois et un pH incroyablement variable entre 3 et 10.

### III.3.2. Dégradation biologique des sols salés

La pression osmotique de la solution des sols salés augmente en fonction de la richesse en sels et sa conductivité, ce qui rend l'alimentation en eau des plantes et celle du micro-organisme plus difficile (Aubert, 1988). Une forte salinité exerce également une action d'inhibition de l'activité des micro-organismes.

Dans le sol, ce qui ralentit l'évolution et la dégradation de la matière organique. Donc le sel influe sur l'activité biologique du sol et la nature des produits humiques formés ainsi que le cycle biochimique des éléments minéraux (Gallali, 1980). Les sols constituent pour de nombreux microorganismes un milieu défavorable à cause des sels solubles qui engendrent une augmentation de la pression osmotique, le pH basique, une structure dégradée et asphyxiante du sol.

À titre d'exemple : les micro-organismes fixateurs d'azote tels que les bactéries ne se multiplient pas ou meurent quand la teneur en sel varie de 2 à 5%. Les teneurs en sels supérieures à 0.5% nuisent à la fixation d'azote par les azotobacters et clostridium.

Selon Dellal et al (1992), la densité des micro-organismes est plus élevée dans les sols non salés, par contre dans les sols excessivement salés ( $22 \text{ dS.m}^{-1}$ ) il note une chute brutale de la population microbienne, ainsi que le nombre de germes nitrifiants et ammonifiants diminue fortement. Dans ce type de sols excessivement salés atteignant ce seuil de salinité, il en résulte l'inhibition de certains processus microbien particulièrement, la nitrification. Une forte salinité

exerce une action d'inhibition de l'activité des micros- organismes dans le sol, ce qui ralentit l'évolution et la maturation de la matière organique (Benzahi, 1994).

Par ailleurs, d'autres chercheurs ont constaté que les nématodes phyto-parasites sont généralement euryhalins, c'est-à-dire que la concentration en sels des sols n'a aucun effet sur la mortalité mais au contraire stimule la reproduction pour certaines espèces.

### **III.4. Mise en valeur des sols salés**

La restauration des sols salins et leur mise en valeur nécessitent des investissements très importants qu'il faille l'évaluer afin de justifier sur le plan de rentabilité des investissements nécessaires pour les différentes phases (Oustani, 2006).

Une bonne utilisation agricole des sols salée nécessite :

- L'élimination des excès de sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée). Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.
- L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.
- La reconstitution de la fertilité par des amendements organiques et minéraux.

#### **III.4.1. Etat d'évacuation des eaux de drainage**

La mise en œuvre d'un programme type d'amélioration du système d'évacuation des eaux dans un quartier passe par quatre phases principales :

- Lancement
- Planification
- Construction
- Entretien

Les deux premières phases revêtent une importance capitale, car elles sont déterminantes pour la suite des opérations.

Le lancement d'un programme d'amélioration du système d'évacuation des eaux peut avoir pour origine la prise de conscience, par la communauté, de la nécessité d'améliorer le système existant, éventuellement à la suite d'une inondation particulièrement grave ou d'améliorations entreprises dans d'autres quartiers. Bien souvent toutefois, le catalyseur est une instance extérieure : municipalité, parti politique, organisation non gouvernementale, ou personne privée soucieuse des intérêts de la communauté, telle qu'un professeur ou un membre du personnel de santé.

Cette phase suppose l'identification des besoins, la formation d'un consensus concernant l'étendue du problème et la solution souhaitée, et la création d'un comité spécial, du moins à titre provisoire. Lorsque l'initiative est due à une intervention extérieure, il est probable aussi qu'il faudra entreprendre un travail d'information auprès de la communauté pour la sensibiliser au problème et mobiliser son soutien (Cairncross, 1986).

Le drainage selon la FAO, est une technique de suppression naturelle ou artificielle des excès d'eau souterraine et de surface des sels dissous dans les terres afin d'améliorer la production agricole. Dans le cas du drainage naturel, l'excès d'eau s'évacue des champs jusqu'aux lacs, fleuves et rivières dans le système artificiel, l'excès d'eau souterraine ou de surface est éliminé par des canalisations souterraines ou de surface.

Le drainage a pour objectif :

1. d'évacuer l'excès d'eau de pluie par les drains de surface qui recueillent essentiellement l'écoulement de surface.
2. de contrôler la profondeur de la nappe et de lessiver les sels dans la rhizosphère.
3. de transporter l'eau récupérée dans les drains secondaires jusqu'au collecteur.
4. de transporter l'eau des collecteurs jusqu'à l'exutoire du système ou au site d'évacuation.

### **Quelques observations de base sur le drainage**

- La nappe doit être rabattue à plus de 1 m de profondeur dans les sols argileux. Les drains devront donc avoir une profondeur supérieure lorsque c'est possible en fonction de la topographie de la zone ;

- En saison sèche les drains devront être vidés soit naturellement (topographie suffisante) soit mécaniquement (motopompes) pour être parfaitement efficaces et rabattre correctement la nappe phréatique ;
- Les drains pour fonctionner correctement ne devront pas être remplis d'eau pendant la culture. Il faudra en particulier s'assurer qu'ils soient propres pour permettre l'évacuation des eaux de drainage chargées en sels ;
- Il ne faut jamais utiliser l'eau des drains pour l'irrigation ;
- Étant donné la faible perméabilité des sols, les drains devront être assez nombreux et rapprochés les uns des autres ;
- En générales pour choisir le circuit des drains, on le calque sur les zones d'écoulement des eaux de surface (les talwegs). Cela est particulièrement vrai pour les collecteurs principaux.

### III.4.2. Qualité de l'eau d'irrigation et doses de lessivage

La dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation avec des eaux, même peu chargées, constitue un danger sérieux pour la durabilité du système d'exploitation des terres. Il est bien connu que la conduite non optimisée d'une mise en valeur agricole sous irrigation en zones semi-arides et arides conduit le plus souvent à une dégradation de la qualité des sols (Mathieu et Ruellan, 1980; Larson et Pierce, 1991; Robert, 1996; Umali, 1993; Badraoui et Merzouk, 1994; Farhat, 1995; Badraoui et al., 1998a; 1998b).

Les principaux impacts sont :

- La salinisation secondaire des sols ;
- La recharge de la nappe par les eaux salées de drainage ;
- La remontée de la nappe salée ;
- La stagnation d'eau en surface dans le cas de sols à mauvais assainissement et drainage.

Le besoin en lessivage est calculé en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation, l'ET, les pluies et le niveau de salinité possible de la solution du sol, lui-même fonction du type de culture à mettre en place et le type de sol :

$$L = (ET - P) [C_i / (f \cdot C_{sm} - C_i)]$$

Avec

- L : besoin en lessivage (mm) ;
- ET: évapotranspiration (mm)
- P : pluviométrie (mm)
- $C_i$  : CE de l'eau d'irrigation ( $\text{dS.m}^{-1}$ )
- $C_{sm}$  : CE de l'extrait de pâte saturée du sol ( $\text{dS.m}^{-1}$ )
- f : efficacité du lessivage.

Cet indice indique le ratio entre la salinité de l'eau de drainage et celle de la solution d'un sol. Ce coefficient varie avec la texture du sol : 0,4 pour les sols lourds, 0,6 pour les sols moyens et 0,8 pour les sols sableux.

Le lessivage est efficace lorsque l'eau de drainage salée est déversée à travers des drains souterrains transportant cette eau à l'extérieur de la zone racinaire. Il peut être également efficace en l'absence de drains souterrains quand le drainage naturel est effectif et n'augmente pas le niveau de la nappe adjacente. Il est préférable d'effectuer le lessivage lorsque l'humidité du sol est faible et la nappe phréatique adjacente suffisamment basse.

### III.4.3. Amélioration des sols salés par amendements chimiques

Les amendements agrochimiques sont réservés aux sols alcalins (Solonetz) ayant leur complexe saturé de plus de 15% en sodium a au plus 0,25% de sels (Yaggodine, 1984).

Les sols salins à alcalins (Solontchaks – Solonetz) ayant un taux de sodium de plus de 15% et leur solution contient plus de 0,25% de sels nécessitent les mêmes amendements que les sols alcalins car ils peuvent évoluer en sols alcalins.

Les différents types d'amendements chimiques sont groupés en trois catégories :

- Les sels solubles de calcium :  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaCl}_2$ , et les phospho-gypses.
- Les sels peu solubles de calcium : calcaire et  $\text{CaCO}_3$ .
- Les acides ou éléments fortement acides :  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , sulfates d'Al ou de fer, les sulfates de chaux et la pyrite.

### III.4.3.1. Amendements calciques

Une petite quantité de sulfate de sodium ne constitue aucun danger pour les plantes. Mais lorsque le sol amélioré par le gypse présente un taux de sodium échangeable de plus de 20 %, le sulfate de sodium devient nocif et doit être lessivé. Le calcul du besoin en gypse X tient compte principalement du taux de saturation en sodium et de la C.E.C du sol (FAO 1984) :

$$X = \frac{ESP_i - ESP_f}{100} * CEC \quad \text{avec} \quad - X = \text{quantité de gypse en meq.100g}^{-1} \text{ de sol.}$$

- $ESP_i$  = ESP initial avant l'amélioration en %
- $ESP_f$  = ESP final (doit être < 5 %)
- CEC = capacité d'échange cationique en meq.100g

En tonnes.  $ha^{-1}$ :  $X = (ESP_i - ESP_f) \times CEC \times 86 \times 10 \times Z \times da$

Avec - Z = profondeur du sol en mètres

- da = densité apparente en  $Kg/m^3$

### III.4.3.2. Techniques d'application des amendements calciques

L'effet de l'amélioration dépend du degré de mélange du gypse avec le sol. Le gypse est souvent incorporé par labour profond en automne. Dans ce cas, l'horizon alcalin doit être bien mélangé avec le gypse. Les sols alcalins à encroutement superficiel sont traités après labour, le gypse est incorporé à l'aide d'un cultivateur.

Dans le cas des solonetz à structure colonnaire moyenne ou profonde, où l'horizon alcalin est à une profondeur de 7 à 20 cm, le gypse est appliqué suite au labour profond, par incorporation à l'aide d'un cultivateur.

Une autre option est l'utilisation de l'acide sulfurique, quand le sol contient du  $CaCO_3$ . Le principe est de dissoudre du  $CaCO_3$  pour libérer du calcium. Cette option, utilisée à grande échelle en URSS et aux Etats Unis, est en cours de développement rapide dans certains pays comme le Maroc (Messar, 2007).

## III.5. Choix des cultures

La sélection des cultures et des variétés dépend de l'état de contamination du sol par la salinité/sodicité et la qualité de l'eau d'irrigation. Dans tous les cas, un système de drainage en état de fonctionnement normal est fondamental pour escompter mettre en valeur un sol salsodique.

# **Chapitre IV**

## **Présentation de la région d'étude**

#### IV. Présentation du site d'étude

La zone d'étude est la station expérimentale de l'Institut National de Recherche Agronomique d'El H'madena INRAA. D'une superficie de 77 ha, elle est située à 3km de la partie nord-ouest de la ville d'El H'madena. Elle se trouve dans la plaine du Bas-Cheliff au nord-ouest de l'Algérie. Elle se trouve à  $35^{\circ}54'$  Nord et  $0^{\circ}45'$  avec une altitude maximale de 79m. par la route (RN4), elle se situe à 270 km d'Alger, à environ 70 km de la ville de Chlef et 30 km de la Relizane.



Fig.9 -Carte de la situation géographique du site d'étude (épingle en jaune)

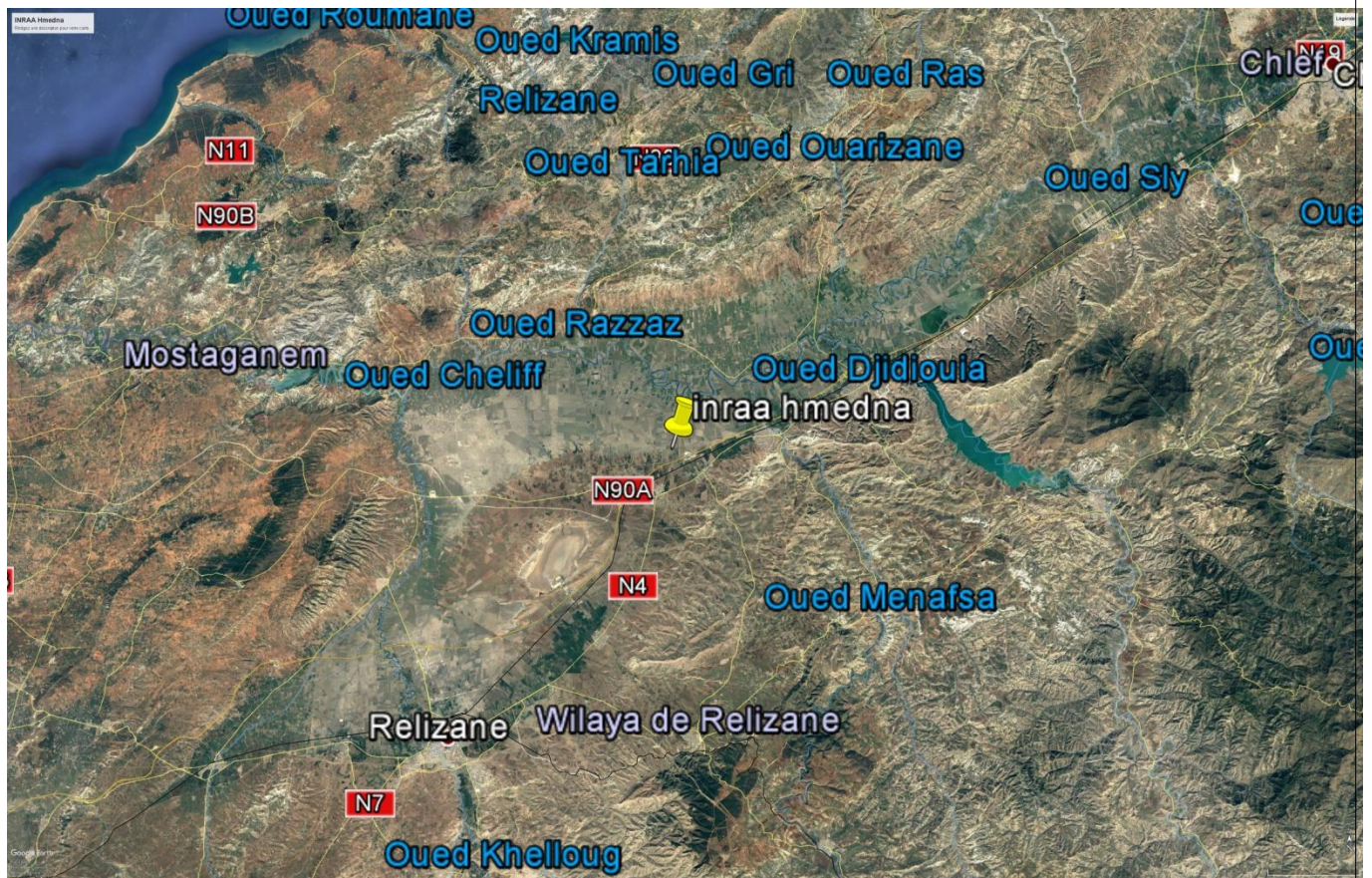


Fig.10 - Localisation de site d'étude (Google Earth,2016)



Fig.11- Image aérienne de l'INRAA El Hmadna (GoogleEarth,2016)

## IV.1. Conditions climatiques

Le climat de la région d'El Hmadna est spécifique, contrasté, caractérisé par des étés très chauds et des températures basses en hiver. D'après la carte des étages bioclimatiques du bassin du Chélif (figure 12), l'étage bioclimatique de la région de Hmadna est aride (indiqué dans la figure 12 en point rouge). Selon l'INSID (2005), l'évapotranspiration potentielle annuelle de la région est de l'ordre de 1600 mm/an.

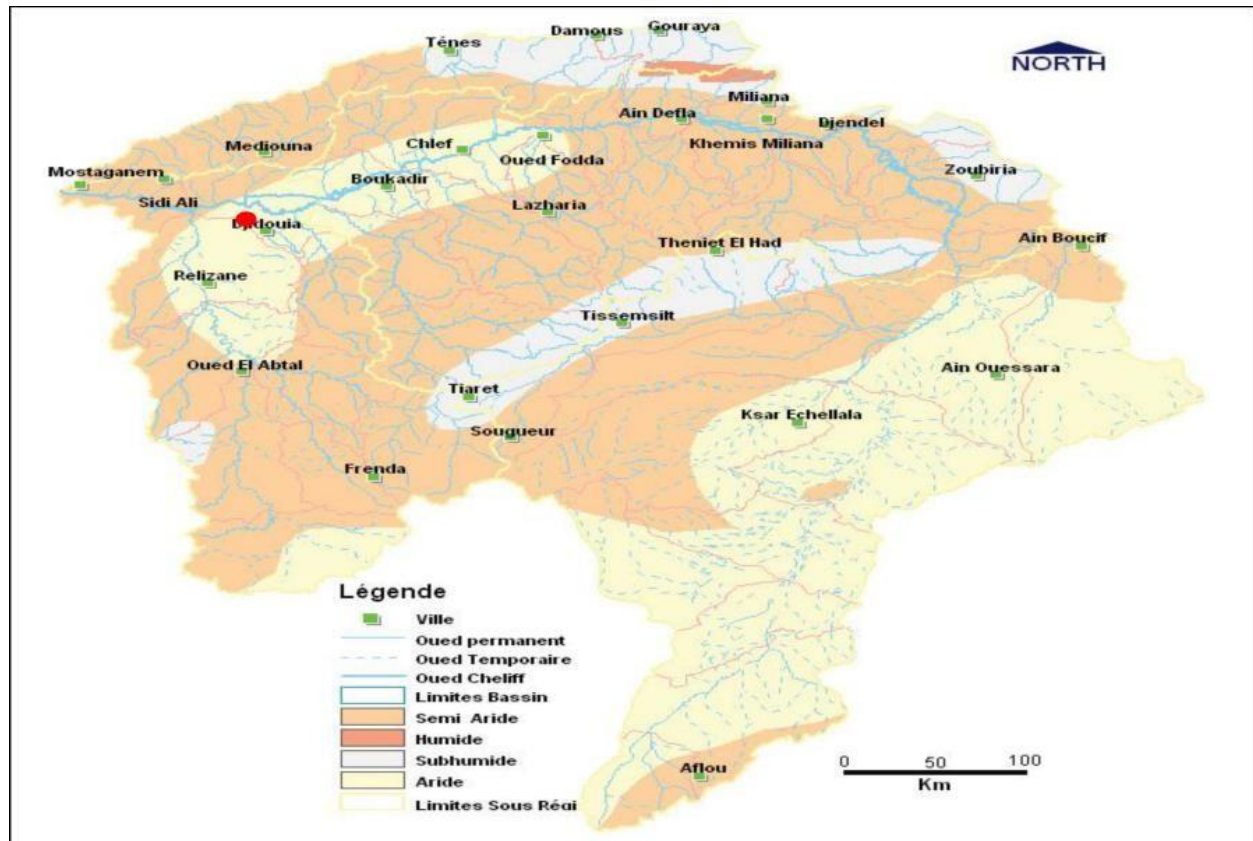


Fig.12 - Carte des étages bioclimatiques du bassin de Chélif

### IV.1.1. Précipitations et températures

Le tableau 7 représente les précipitations moyennes mensuelles de la région de Hmadna, calculée sur une période allant de 2000 à 2016.

**Tableau 8- Données pluviométriques (2000-2016). (Source: Station de l'INRAA H'Madna)**

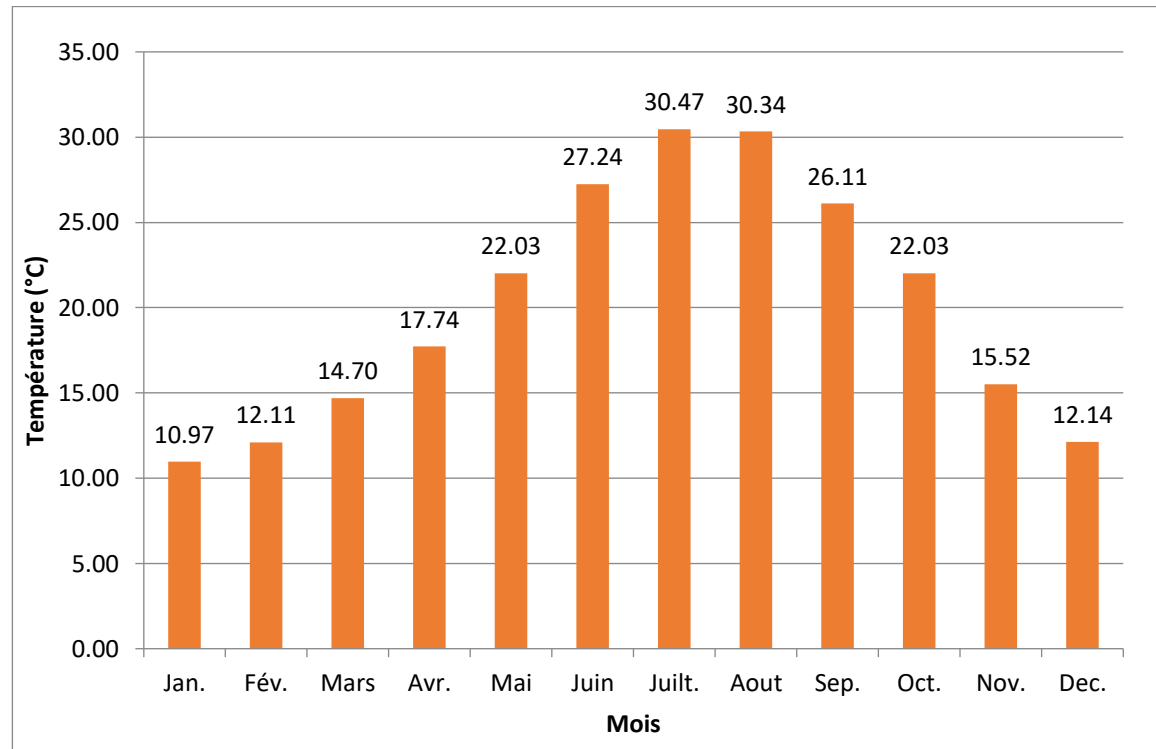
Mois	P(mm) .2000-2016
Janvier	39,72
Février	38.63
Mars	30.28
Avril	36.54
Mai	24.53
Juin	2.35
Juillet	0.57
Aout	3.37
Septembre	14.45
Octobre	30.49
Novembre	58.71
Décembre	34.79
<b>Somme</b>	<b>314.44</b>

L'analyse du tableau 8 montre que le mois de novembre est celui le plus pluvieux avec 58,71mm, alors que la faible pluviosité est enregistrée durant le mois de juillet avec une pluviométrie égale à 0,57 mm. La pluviométrie totale annuelle est de 314,44 mm, dont 93.4% tombent entre octobre et mai. En général, le climat de la région d'El Hmadna est caractérisé par une faible pluviosité répartie avec une grande irrégularité durant toute l'année.

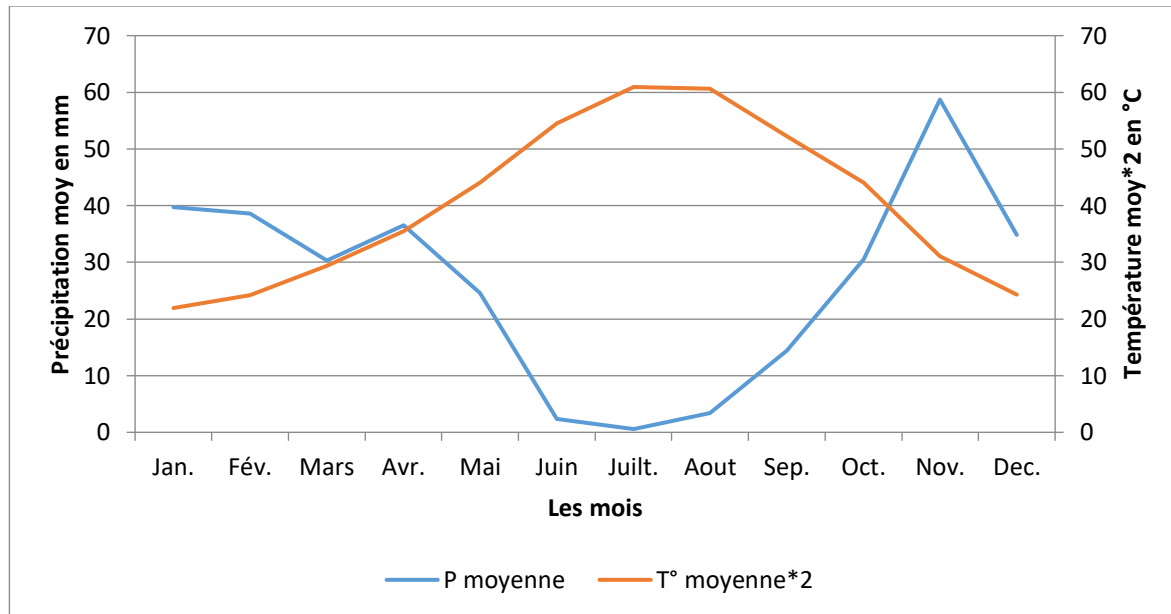
Les températures moyennes mensuelles de la région de Hmadna, enregistrées durant la période 2000 à 2016, sont mentionnées dans la figure 13.

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. Les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de juillet et août, où elles atteignent un maximum de 30.47 °C en moyenne, ce qui correspond à une forte évaporation et une remontée capillaire de la nappe qui se trouve parfois à un mètre de profondeur.

Les basses températures se manifestent au mois de janvier avec une température moyenne de 10,97 °C.



**Fig.13 - Histogramme des Températures moyennes mensuelles (2000 à 2016) Station INRAA Hmadna Relizane**



**Fig.14- Diagramme ombrothermique de la station climatique d'El Hmadna (2000-2016)**

Le diagramme ombrothermique de la station d'El Hmadna, présenté dans la figure 14, montre une période de sécheresse qui s'étale du mois d'avril vers le mois d'octobre.

#### IV.1.2. Humidité

L'humidité relative de l'air est généralement plus élevée le matin durant toute l'année, elle est de l'ordre de 66 à 84% en hiver et près de 40% en été (Tableau 9). Elle peut compenser relativement l'absence ou la rareté des précipitations en favorisant le développement des plantes.

**Tableau 9 - Humidité de la station de H'madna (Avril 2016- Mars 2017).**

Mois	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars
H %	61,6	48,1	36,6	39,2	43	44,5	54,9	66,5	84,2	76,5	67,2	63,6

### IV.1.3. Vent

Le vent agit soit directement par une action mécanique sur le sol et les végétaux, soit indirectement en modifiant l'humidité et la température (Ozenda,1982).

D'après les observations effectuées à la station du d'El Hmadena (Tableau 10), il ressort que le vent dominant est le vent de l'ouest. Sa vitesse moyenne varie de 6,1 à 11,9 Km/h, jouant le rôle de la dégradation mécanique du sol et agit sur l'amplitude de la température.

**Tableau 10- Le vent de la station d'El Hmadena (Avril 2016- Mars 2017).**

mois	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fév	Mars
V(Km/h)	8,7	9,9	11	10,6	10	8,9	8,3	10,7	6,1	9,8	11,9	9,6

## IV.2. Géologie et géomorphologie

La plaine est relativement jeune parce qu'elle date seulement du quaternaire, c'est un synclinal comblé dur harbien (quaternaire) encadré au Nord et au sud par des collines de l'âge Miocène pliocène (tertiaire). En conséquences, ces bordures fournissent directement par érosion les alluvions de la plaine du Bas-Chélif (McDonald et BNEDER, 1990).

Vers le sud, l'oued Rhiou et l'oued Djidouia traversent les collines, comprennent de schistes et de marnes salés, ce qui justifie la haute salinité des sols alluviaux de la plaine ainsi que le niveau de la salinité des eaux de la retenue du barrage Gargar. (McDonald et BNEDER, 1990).

Au Nord, les collines de Dahra sont composées principalement par les marnes et de limons argileux qui changent vers l'ouest en sables et des conglomérats plus grossiers. Encore une fois, certains de ces lits sont salés.

Les collines de l'Est du Bas-Chélif sont plus récentes que le Dahra et le massif de l'Ouarsenis, d'âge Villafranchien et sont composées de limons calcaires intercalés de sables, extrêmement tendres, une érosion sévère à ravines profondes.

Les principales formations géomorphologie sont :

#### **IV.2.1. Les glaciers colluvionnaires**

Assez étroits de 3 % à 5 % qui se retrouvent en bordure de la plaine où les formations récentes sont dominantes. La présence des croûtes calcaires qui caractérisent les formations plus anciennes est peu fréquente. Dans le cas échéant, on les retrouve par conséquent sur les piémonts du Sud des villes tel que : Oued Rhiou et de Djidiouia. Ils sont constitués par des matériaux en provenance des calcaires du Miocène supérieur.

#### **IV.2.2. La plaine alluviale**

Le Bas-Chélif est une plaine alluviale datant du Rharbien. Les alluvions qui la constituent sont d'une épaisseur considérable (plusieurs dizaines de mètres), les matériaux récents originaires des bassins versants du Chélif, de l'oued Rhiou et de l'oued Djidiouia sont ces constituants principaux (dominance des schistes et des marnes du Miocène et du Pliocène souvent riches en sels).

Alors la plaine ces formations récentes constituent la plaine proprement dite avec une pente très faible et des sols non évolués.

#### **IV.2.3. Les lits des oueds actuels**

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

L'oued Chlef est le principal oued de la plaine, il la traverse d'Est en Ouest. Au moment des grandes crues, il déborde sur les terrasses récentes en déposant en bordure de ses berges des bourrelets alluviaux le plus souvent sableux connus sous le nom de formations actuelles et qualifiés de formations modernes par Gaucher (1947).

L'oued Rhiou et l'oued Djidiouia forment des cônes de déjection assez étendus en contact avec la plaine du Bas-Chélif. Certains cours d'eau qui n'ont pu creuser leur lit jusqu'à l'oued Chlef, forment des cônes de déjection en pleine plaine.

#### **IV.2.4. La Sebkhia de Benziane**

C'est une dépression naturelle (cuvette elliptique de 5 km de long sur près de 3km de large, bordée au nord de falaise d'environ 15m) cavée dans la région de Benziane au Nord de la ville d'Oued El Djemaa. Boulaine (1957) avait retenu l'hypothèse selon

laquelle la sebkha a été formée par déflation éolienne d'une zone où s'étaient formés des sols salés à la suite de mouvements tectoniques par la combinaison d'un creusement au centre du bassin et d'une accumulation en bordure d'un bourrelet éolien.

En hiver, elle est recouverte par une couche d'eau d'environ 30 cm d'eau en son centre, en été, il y a accumulation des sels qui apparaissent sous forme d'une épaisse croûte blanchâtre. En plus de la Sebkha de Benziane, il existe d'autres cuvette qui sont: la Daya, la dépression du Douar Djerada, elle entourées de reliefs assez élevées que l'on appelle des lunettes (Boulaine, 1957).

#### **IV.2.5. La Gaa**

C'est une dépression fermée, couverte par des formations récentes très argileuses, elle se trouve dans la rive droite de l'oued Mina. On y retrouve des petits cours d'eau qui constituent des artères permettant une circulation d'eau vers le centre de la dépression où les eaux stagnent sur pratiquement toute l'année provoquant dans ceci une hydromorphie et une salinisation importante des sols (Douaoui, 2005).

#### **IV.2.6. La colline de partage**

C'est un relief caractéristique dans cette partie des plaines du Chélif qui domine Merdjet Sidi Abed d'une dizaine de mètres. Cette formation marque la limite entre la plaine du Bas-Chélif et la plaine du Moyen-Chélif. A ce niveau, la plaine alluviale est très étroite et ne fait que 2 à 3 km de large. Cette colline fait partie d'une série d'autres collines qu'on retrouve dans les autres plaines du Chélif (Moyen et Haut-Chélif). Les formations géologiques de ces collines sont continentales du Pliocène supérieur, du Villafranchien et du Quaternaire moyen, dont le matériau est un mélange de limons, de sables, de cailloux et de galets.

Les travaux réalisés par Durand (1956) ont montré que les sols du site de Hmadna sont tous des solontchaks solonetz à caractère sodique magnésique et calcique (figure 15). Ils présentent pour la grande majorité une texture très fine en surface et des textures à dominance limoneuse dans les horizons sous-jacents. L'analyse des résultats morphologiques et analytiques fait par Hadj Miloud (2010) sur un profil situé dans la station de Hmadna a montré qu'il correspond à : Hypersalic Vertic Gleyic Solonchak (Sodic, Chloridic, Clayic), selon la classification mondiale de la WRB (2006).

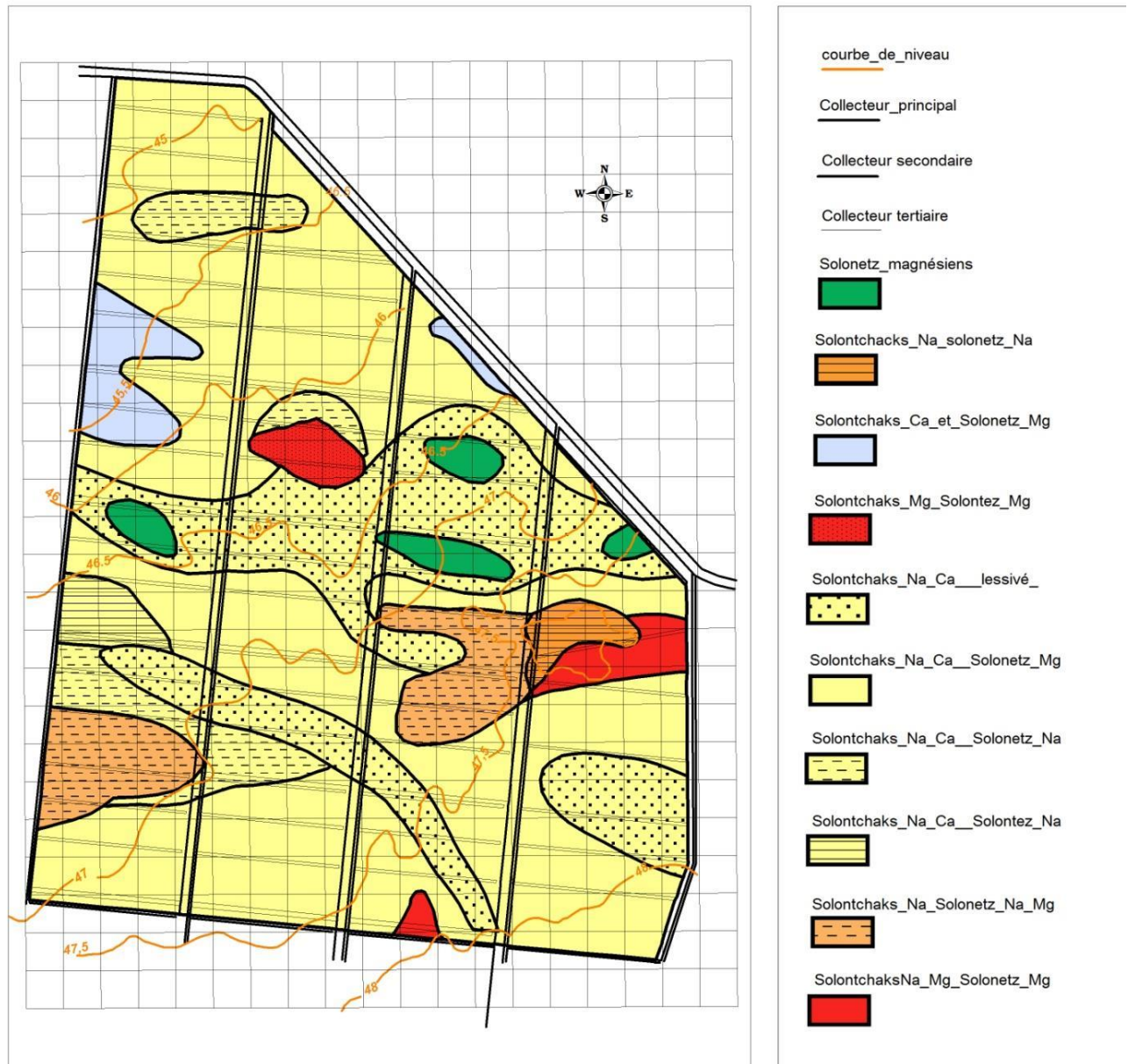


Fig.15- Carte des sols du site d'El Hmadna (Durand, 1956)

### IV.3. Ressources en eau

La plaine du Bas-Chélif comporte des potentialités importantes en eau, mais comme c'est le cas de plusieurs régions d'Algérie la plaine n'en profite pas (Douaoui, 2005).

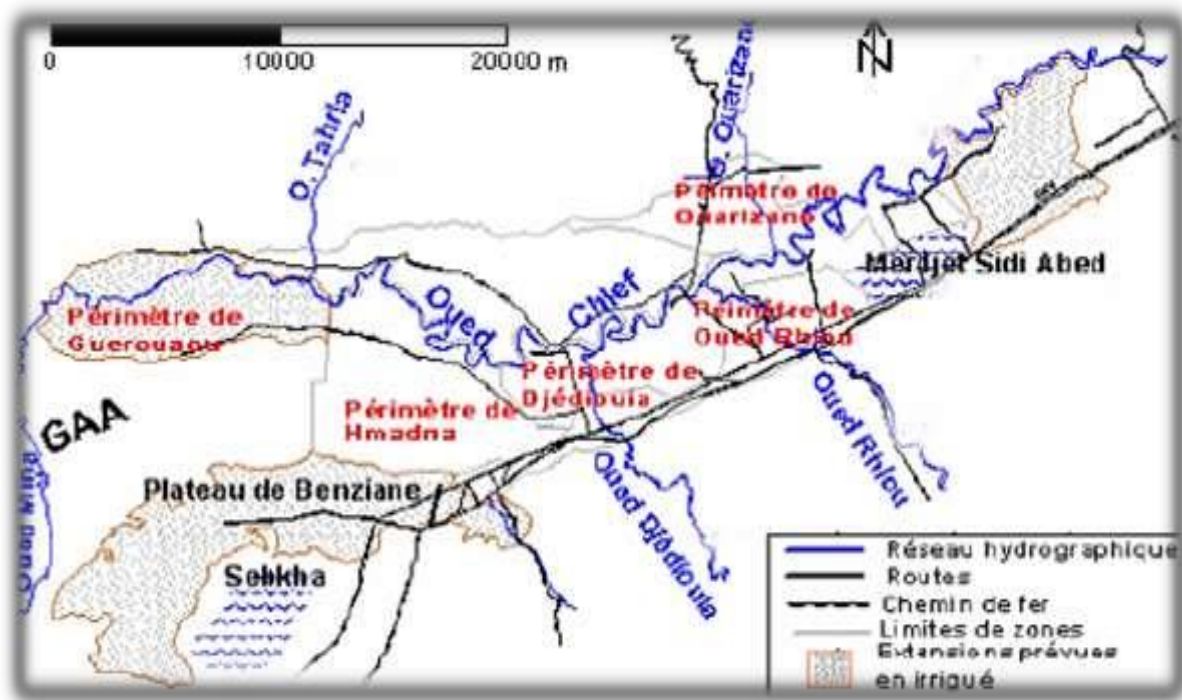
#### IV.3.1. Les ressources en eaux superficielles

Les deux principales ressources en eau sont constituées par deux retenues :

- Le barrage de Gargar sur Oued Rhiou : d'une capacité théorique de  $450\text{Hm}^3$ , il est l'un des plus grands barrages d'Algérie ;

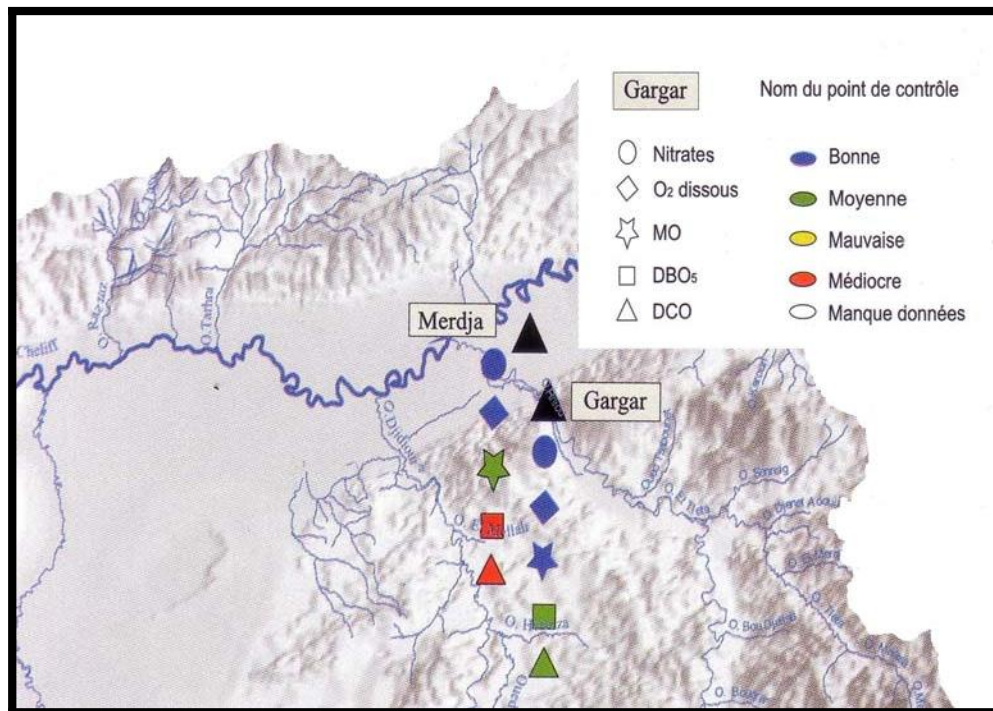
- La retenue de la Merdjat Sidi Abed, un réservoir hors cours d'eau d'une capacité de  $50\text{Hm}^3$ , elle remplit en hiver essentiellement par dérivation des eaux de l'oued Chlef, ainsi elle était dévasée en 2005.

En plus, le Bas-Chélif pourrait aussi être alimenté à partir des autres ressources en eau superficielle du bassin du Chélif, telles que les eaux non conventionnelles excédentaires du Chélif.



**Fig.16 - Réseau hydrographique et principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif**

La qualité de l'eau des cours d'eau dans le bassin de Chélif est aussi eue discutée, elle est en général plutôt médiocre. La salinité de l'eau dans l'oued Rhio varie entre  $0,5\text{g/l}$  environ pour les débits les plus forts et  $2\text{g/l}$  pour les débits d'étiage. La figure17 nous renseigne sur la qualité des eaux du barrage de Gargar et de Merdjat Sidi Abed pour l'année 2002.



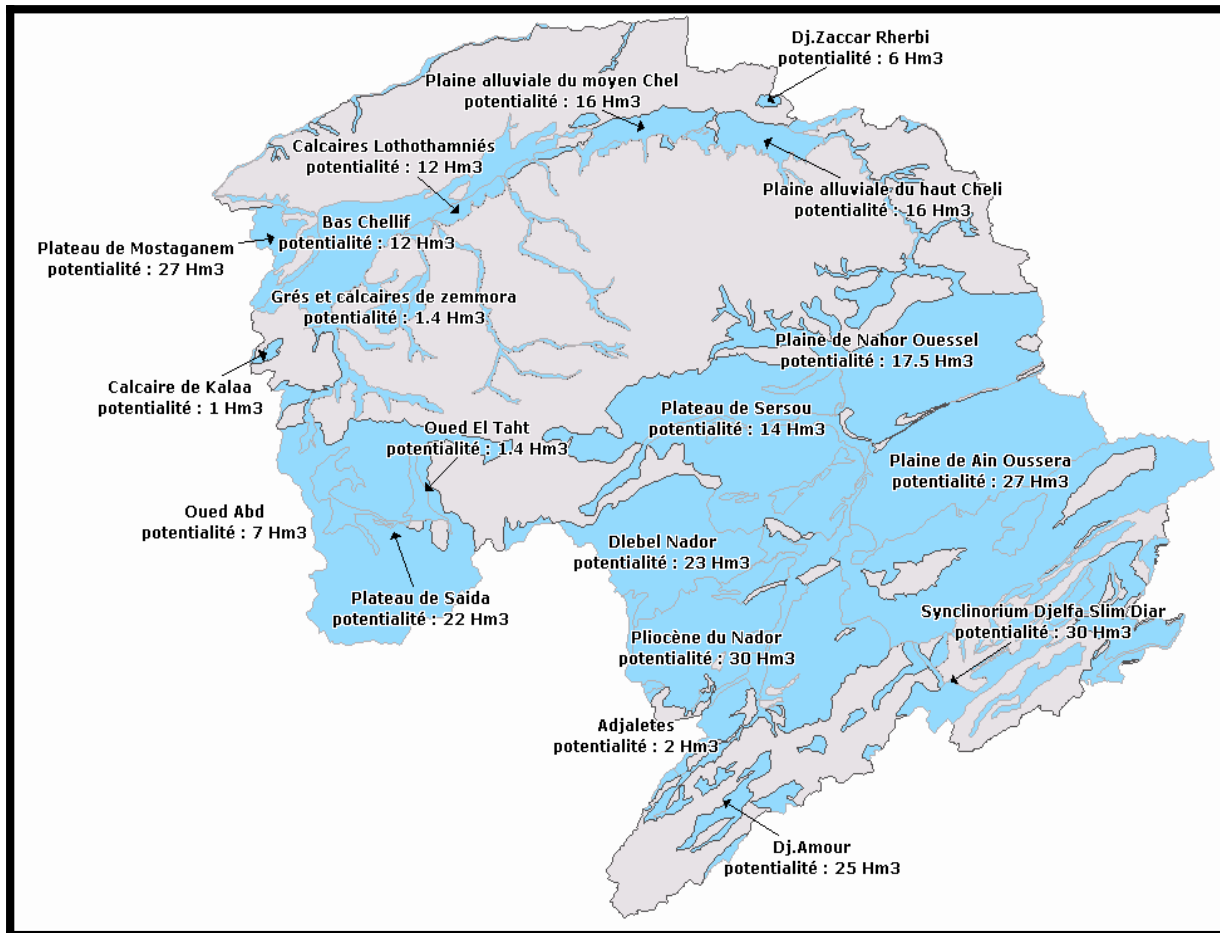
**Fig.17-Qualité des eaux des barrages de Gargar et de Merdjet Sidi Abed (ABH-CZ – chlef zahrez 2002)**

#### IV.4. Hydrologie et hydrogéologie

Les principaux aquifères du Bas-Chélif sont :

- Le Miocène calcaire: affleure le long de la limite sud de la plaine. Les descriptions lithologiques ont montré l'existence de zones de fracture productives entre 37 et 60 m de profondeur.
- Le Pliocène marin : c'est une suite d'argiles et de marnes avec des couches minces de grès qui affleurent au nord de la plaine. On le retrouve dans la région d'Ouarizane à plus de 55 m de profondeur et dans la région de Sebkheth Benziane à plus de 400 m de profondeur.
- Le Quaternaire-Pliocène continental: il est constitué de sédiments à base d'argile, de marnes et des lits de sable, de graviers et de conglomérats. La profondeur de ces forages est très variable selon les régions où elle peut aller jusqu'à 300 m alors que la moyenne est de 70 m. (Douaoui, 2005).

La figure suivante nous donne quelques chiffres.

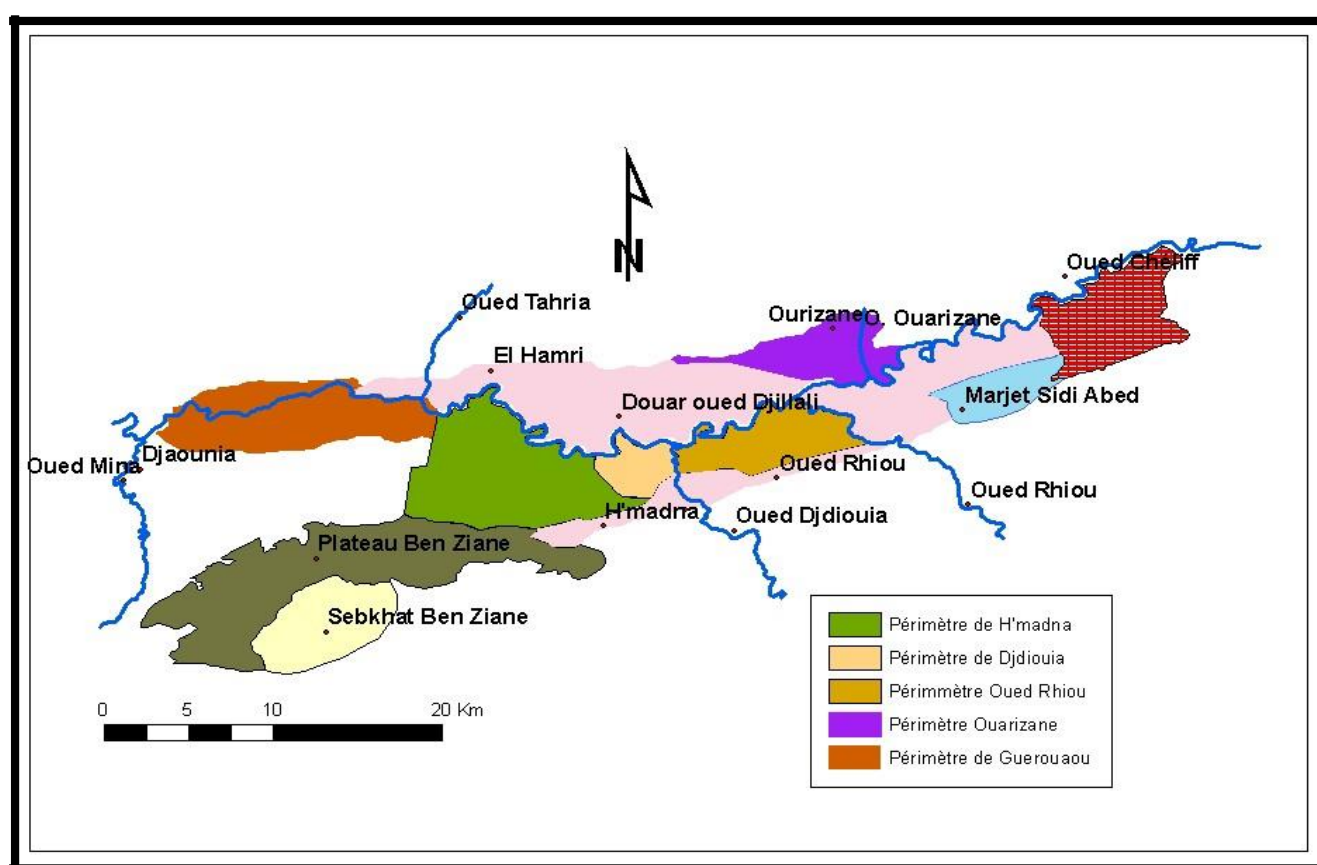


**Fig.18 - Ressources en eaux souterraines dans le bassin hydrographique Chlef-Zahrez. (Source : ABH-CZ, 2006)**

## IV.5. Périmètres irrigués

La région du Bas-Cheliff comporte plusieurs périmètres où l'irrigation est fréquente, dont les plus importants sont: le périmètre d'Oued Rhiou, le périmètre de Ouarizane, le périmètre de Djédouia, le périmètre Hmadna et le périmètre de Guerouaou (fig.13).

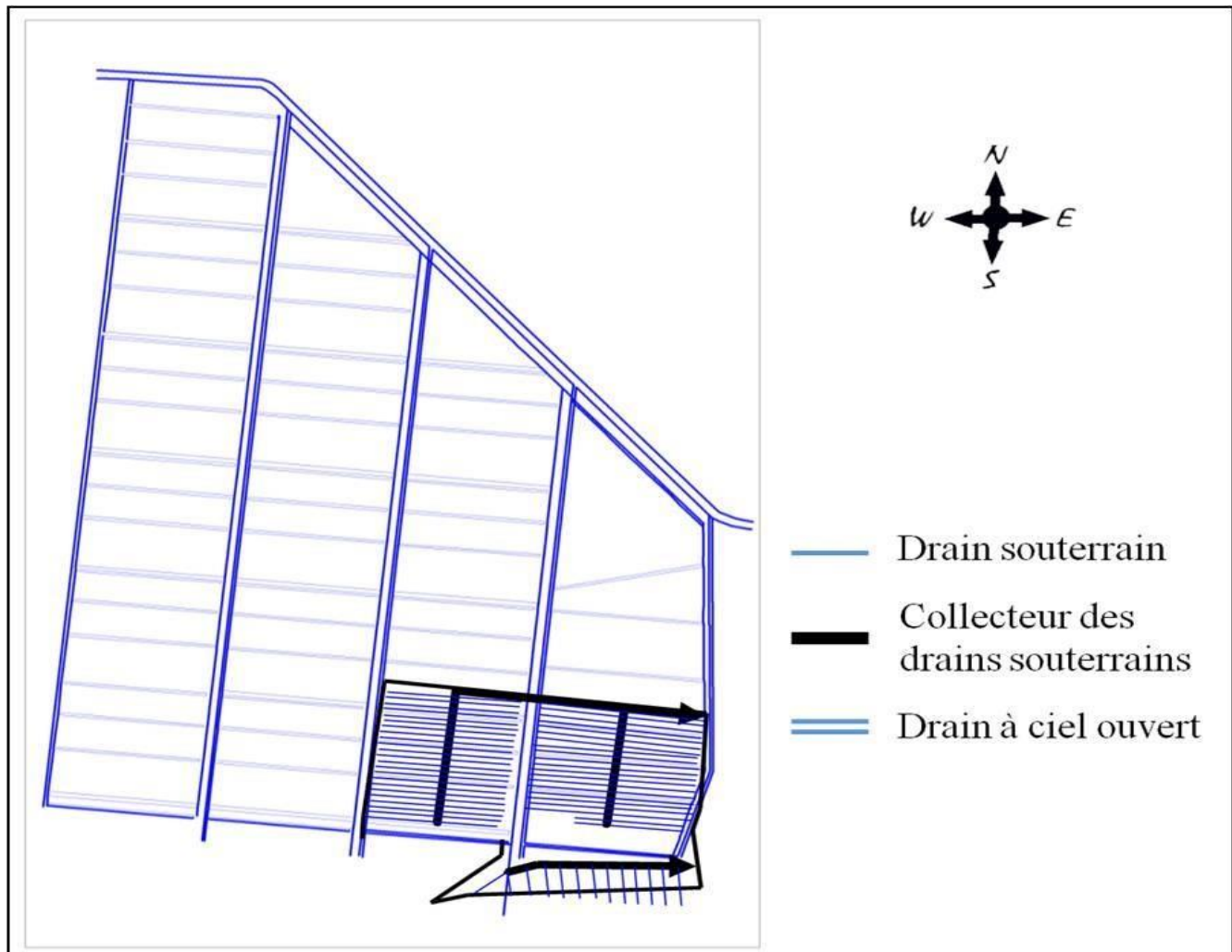
L'utilisation des eaux souterraines dans l'irrigation n'a pas été sans conséquence sur la dégradation de la qualité des sols de la plaine du Bas-Chélif. Cette dégradation qui se manifeste par une augmentation de la salinisation ou une sodisation ne s'est pas faite de la même façon dans les périmètres irrigués. C'est justement le périmètre de Hmadna dont l'eau d'irrigation est la plus mauvaise qui montre les sols les plus dégradés (Douaoui et Hartani, 2007).



**Fig.19- Principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif.**

## IV.6. Drainage

Le réseau de drainage dans le site de Hmadna est composé de 2 types de systèmes de drainage (figure 20). Le premier est un ancien système de drainage à ciel ouvert installé durant les années 1946-1947, et le deuxième est un nouveau système de drainage souterrain installé en 2001. Il est utile de noter que le nouveau système de drainage ne couvre qu'une petite partie qui se trouve au sud-est du site de Hmadna.



**Fig.20- Schéma des réseaux de drainage (INRAA-El Hmedna)**

## IV.7. Occupation du sol

Les sols du Bas-Chéliff sont, soit occupés par l'agriculture, soit abandonnés pour être occupés par la végétation halophyte. L'agriculture concerne essentiellement :

- Les vergers d'agrumes et d'oliviers dont la date de plantation remonte le plus souvent au milieu du vingtième siècle ; ces vergers sont irrigués et se localisent le plus souvent dans les périmètres des oueds Rhiou, Djédiouia et Ouarizane ;
- Les cultures maraîchères irriguées (melon, pastèque, artichaut, oignon...) sont cultivées dans les périmètres irrigués et se concentrent au bord des lits d'oueds ;
- Les cultures céréalières en sec principalement sur les sols calcimagnésiques du plateau de Benziane.

On les retrouve également dans les périmètres irrigués ;

Selon l'étude de McDonald et BNEDER (1990), ces types de cultures occupent respectivement : orge 20 %, blé 8,5 %, olivier 3,6 %, melons, pastèques et artichaut 6,7 % de la surface agricole utile. Les sols très salés abandonnés sont couverts par une végétation halophyte dont la densité de recouvrement est très variable dans l'espace et dans le temps. En été, certains types de sols, tels que ceux de la Gaa sont totalement dépourvus de végétation.

Aujourd'hui, la plupart des exploitations agricoles ont un statut juridique privé et ont un système de production maraîchage – céréale – élevage ou arboriculture -céréale –élevage.

# **Deuxième partie**

## **Etude Expérimentale**

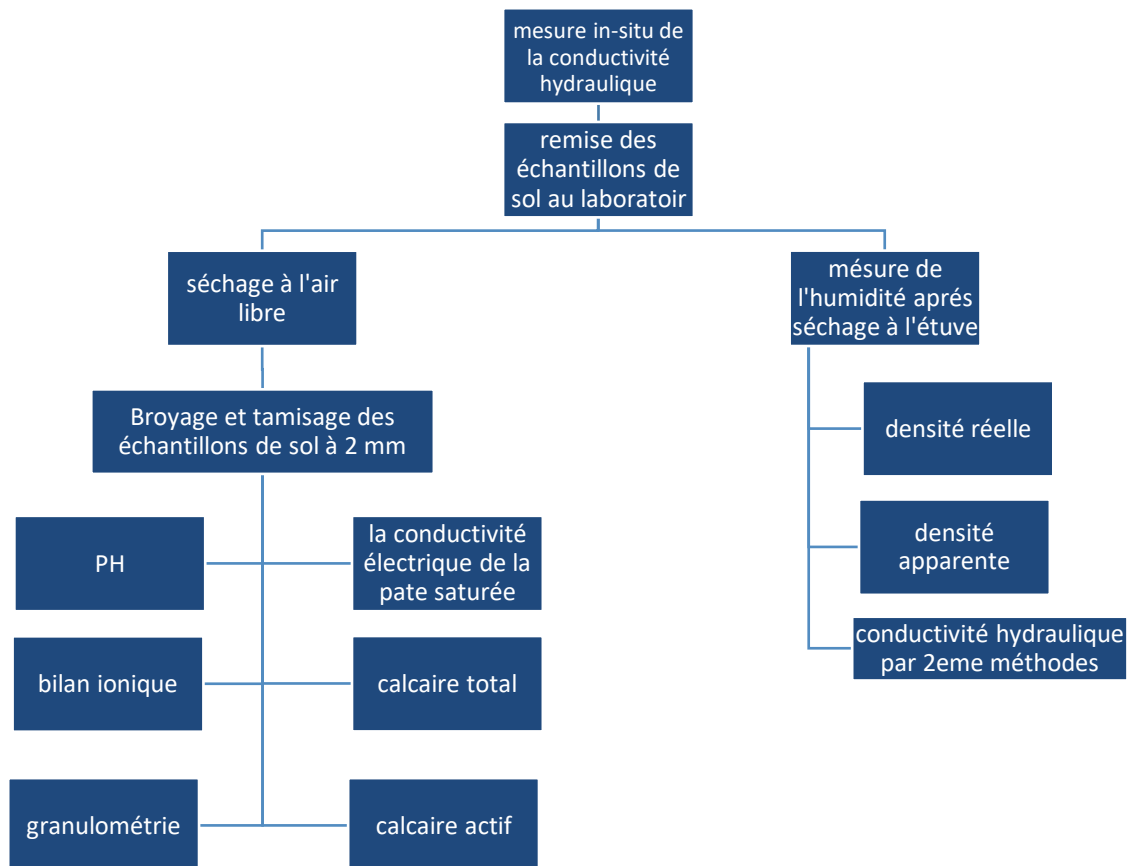
# **Chapitre V**

## **Matériels et méthodes**

## V. Objectif de l'étude

L'objectif de ce travail expérimental est d'étudier les effets de salinité sur les caractéristiques physico-chimiques et hydriques d'un sol de la plaine d'El Hmadna. Il s'agit d'effectuer un diagnostic de l'état de salinité et de sodicité actuelle des sols du site étudié et de voir quels sont leurs effets sur les propriétés physico-chimiques et hydriques de ces sols. Ce chapitre est consacré à la présentation du matériel d'étude et des méthodes d'analyses des sols utilisées lors de l'expérimentation.

Sur le plan méthodologique, la figure suivante (Fig. 21), résume les différentes étapes de préparation et d'analyses physiques et chimiques des échantillons de sol.



**Fig.21-Schéma du mode opératoire pour les analyses des échantillons de sol**

## V.1. Matériels

### V.1.1. Parcelle expérimentale

Le terrain choisi pour ce travail est identifié par « bloc expérimental » (Fig. 22). Il s'étend sur (250x93) m<sup>2</sup>. Dans cette parcelle, le prélèvement des échantillons de sol se fait à l'aide d'une pelle au niveau de la couche superficielle (horizon 1) de 0 à 20 cm.

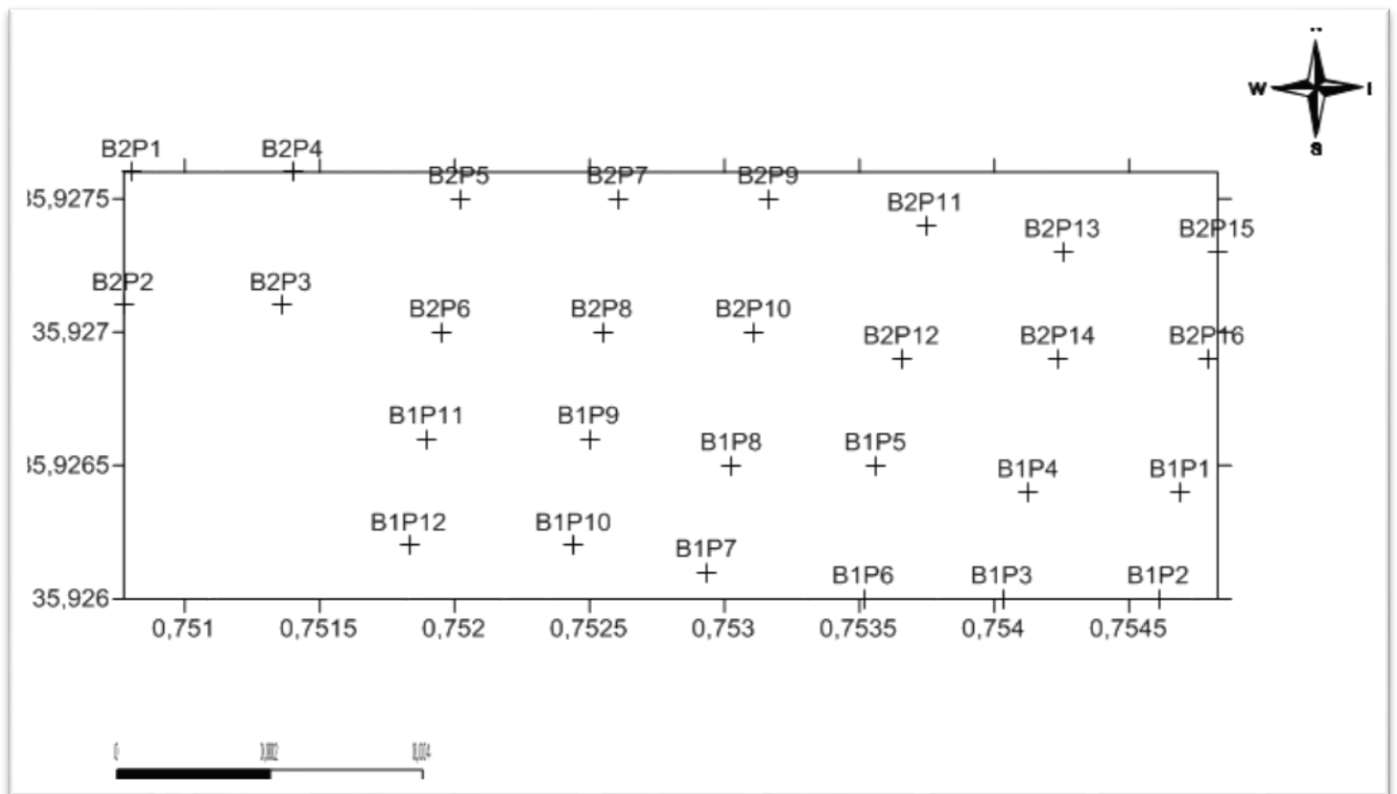


Fig.22 - Localisation du terrain d'étude

### V.1.2. Dispositif d'échantillonnage

#### V.1.2.1. Présentation du dispositif d'échantillonnage

Le dispositif d'échantillonnage est illustré à la figure. Localisation des 12 points d'observation a été établie selon un quadrillage régulier aux nœuds d'une grille à mailles de 50 m de côté. Les échantillons ont été prélevés à partir du premier horizon à une profondeur constante de 0.20 m, avec une méthode systématique.



**Fig.23 - Schéma de prélèvement des échantillons du sol**

### V.1.2.2. Choix du dispositif

La parcelle d'investigation retenue a une superficie de 2,325 ha avec 250 m de longueur et 93 m de largeur. Elle appartient aux terres de recherche de l'INRAA.

Le choix de la parcelle se justifie par le fait que les résultats expérimentaux cette station peuvent être extrapolés à toute la plaine, d'autant plus qu'une bonne partie appartient encore à la station expérimentale de l'INRAA de Hamadna.

## V.2. Méthodes

### V.2.1. Mesure de la conductivité hydraulique non saturée

La conductivité hydraulique sous charge négative a été déterminée au niveau du site à l'aide d'un infiltromètre à disque à succion contrôlée.

### V.2.2. Prélèvement et extraction de la solution de pâte saturée

Le prélèvement des échantillons de sol a été effectué durant la période du 01 au 22 mars 2017.

Les échantillons du sol ont été séchés à l'air, broyés et tamisés à 2 mm.

La pâte saturée est préparée sur un échantillon de 200g. L'ajout d'eau distillée à cet échantillon de sol se fait très minutieusement de manière à obtenir une surface brillante et lisse de la pâte qui se détache la spatule. Un sillon ouvert à la surface de la pâte, doit être fermé au bout de dix coups de vibration. La pâte repose une nuit sur les cristallisoirs pour être transférée dans les godets de la centrifugeuse où l'extraction est obtenue sous 3000 tours/mn(fig.23).



**Fig.24 - Extraction de l'extrait de pâte saturée par centrifugation**

### **V.2.3. Méthodes d'analyse**

#### **V.2.3.1. Granulométrie**

L'analyse granulométrique se fait avec la méthode internationale de pipette de Robinson (NFX31-107)

#### **V.2.3.2. Humidité**

Conformément à la norme internationale ISO 16586(Meynard et al, 1997), l'humidité est obtenue par différence de poids d'un échantillon de sol avant et après passage à l'étude à 105°C pendant 24 h.

#### **V.2.3.3. Densité apparente**

La densité apparente  $d_a$  est mesurée in-situ par la méthode du cylindre de Sieghrist.

#### **V.2.3.4. Calcaire total**

Le calcaire total est obtenu par la méthode du Calcimètre de Bernard.

#### **V.2.3.5. Calcaire actif**

Le calcaire actif est obtenu par la méthode Drouineau.

### V.2.3.6. pH eau du sol

Le pH eau est déterminé par la méthode potentiométrique. Il est déterminé à l'aide d'un pH-mètre de paillasse sur un extrait de sol aqueux de 1/2,5.

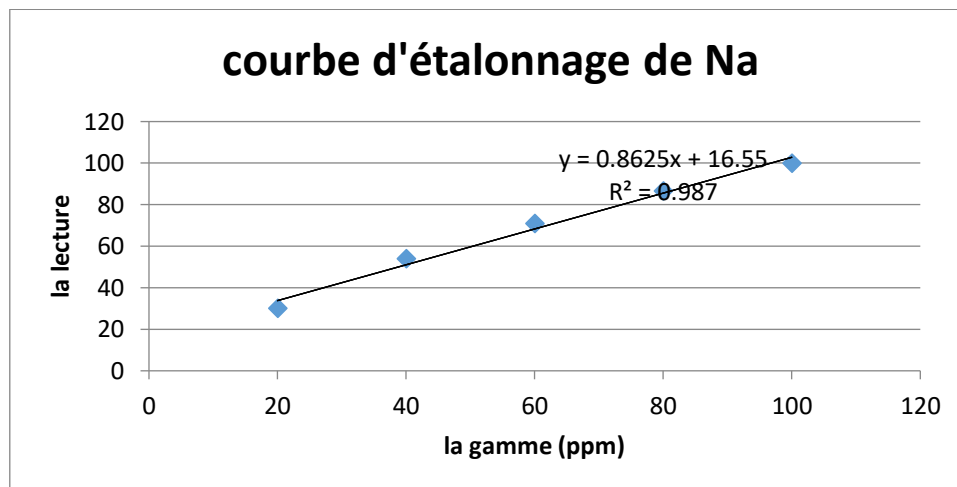
### V.2.3.7. Conductivité électrique (CE) de l'extrait de pâte saturée

Selon la méthode conventionnelle de l'USDA (**Richards, 1954**) par un conductivimètre de paillasse.

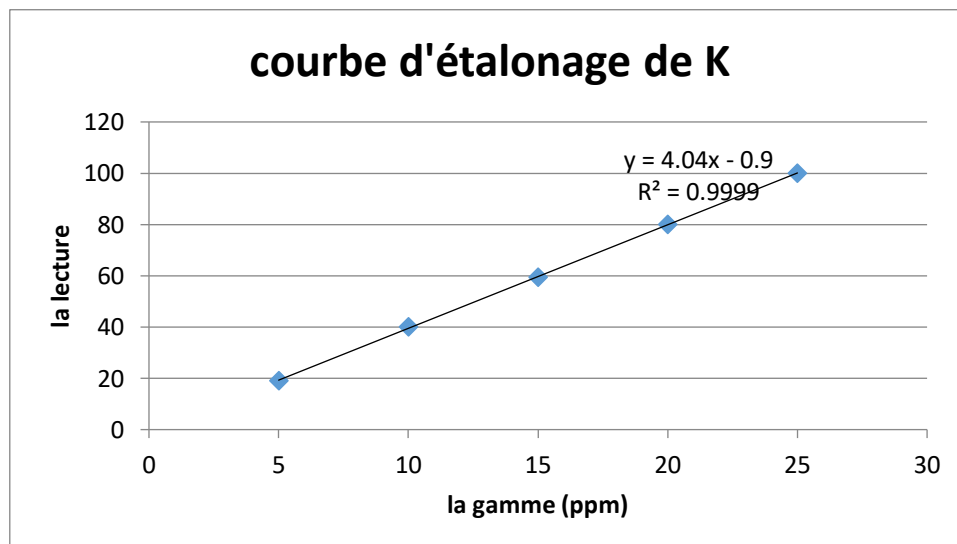
### V.2.3.8. Bilan ionique

Les cations  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  sont dosés par spectrophotométrie à flamme.

On fait la dilution de la solution de sol et on passe les solutions du sol dans un appareil appelé spectrophotomètre qui a été étalonné selon les résultats figurés dessous :



**Fig.25 - courbe d'étalonnage de sodium**



**Fig.26 - Courbe d'étalonnage de potassium**

# Chapitre VI

## Résultats et discussion

## VI. Caractéristiques physico-chimiques et hydriques du sol

### VI.1. Humidité du sol

Selon les résultats de l'humidité du sol obtenus pendant le mois de mars (après une période humide), de 12 échantillons de sols prélevés, avant et après la saturation (après utilisation de l'infiltromètre à disque), on observe une humidité relative initiale de moyenne de 13,54%, et finale de moyenne de 30,59% (figures 27 et 28).

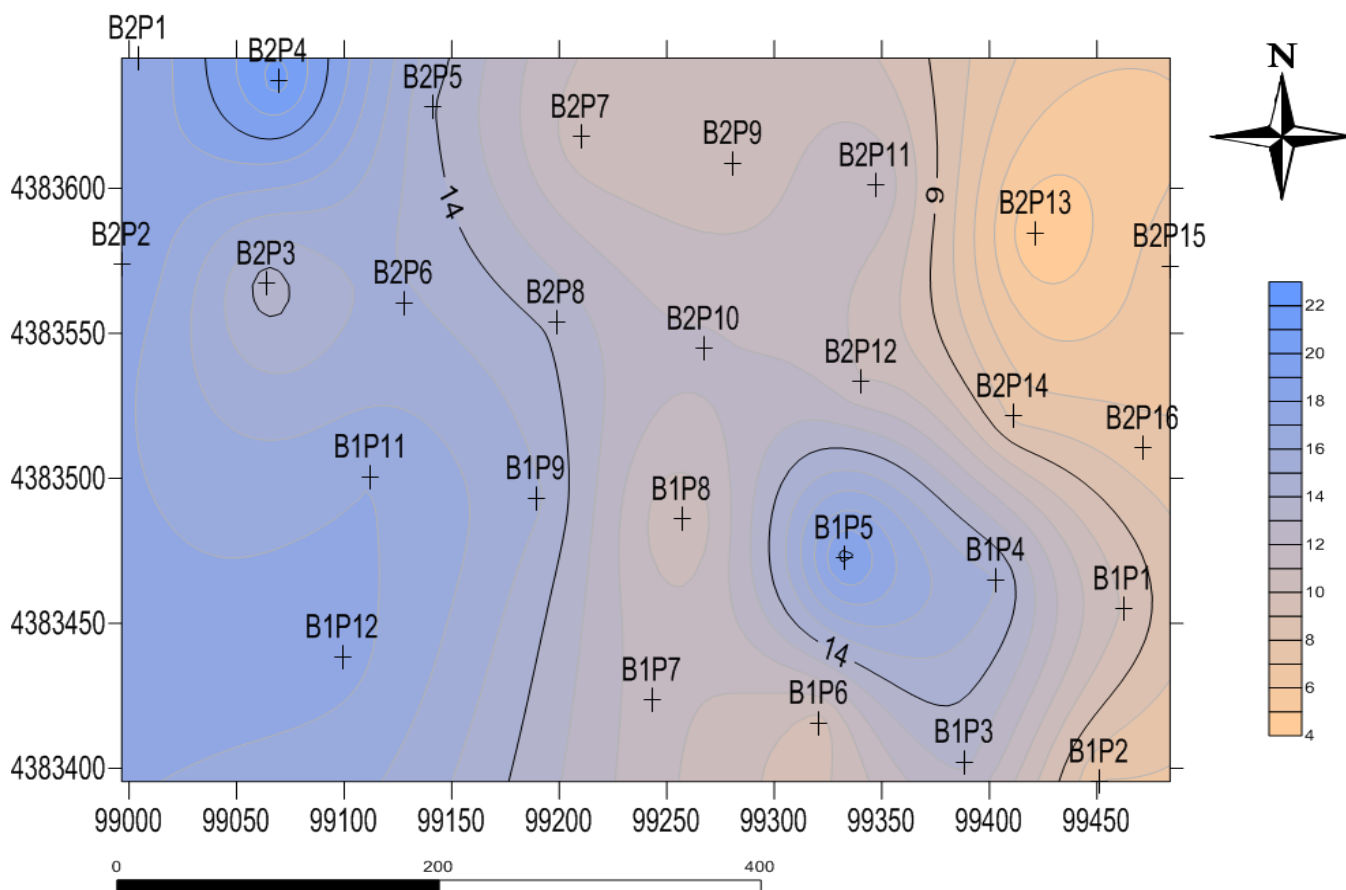
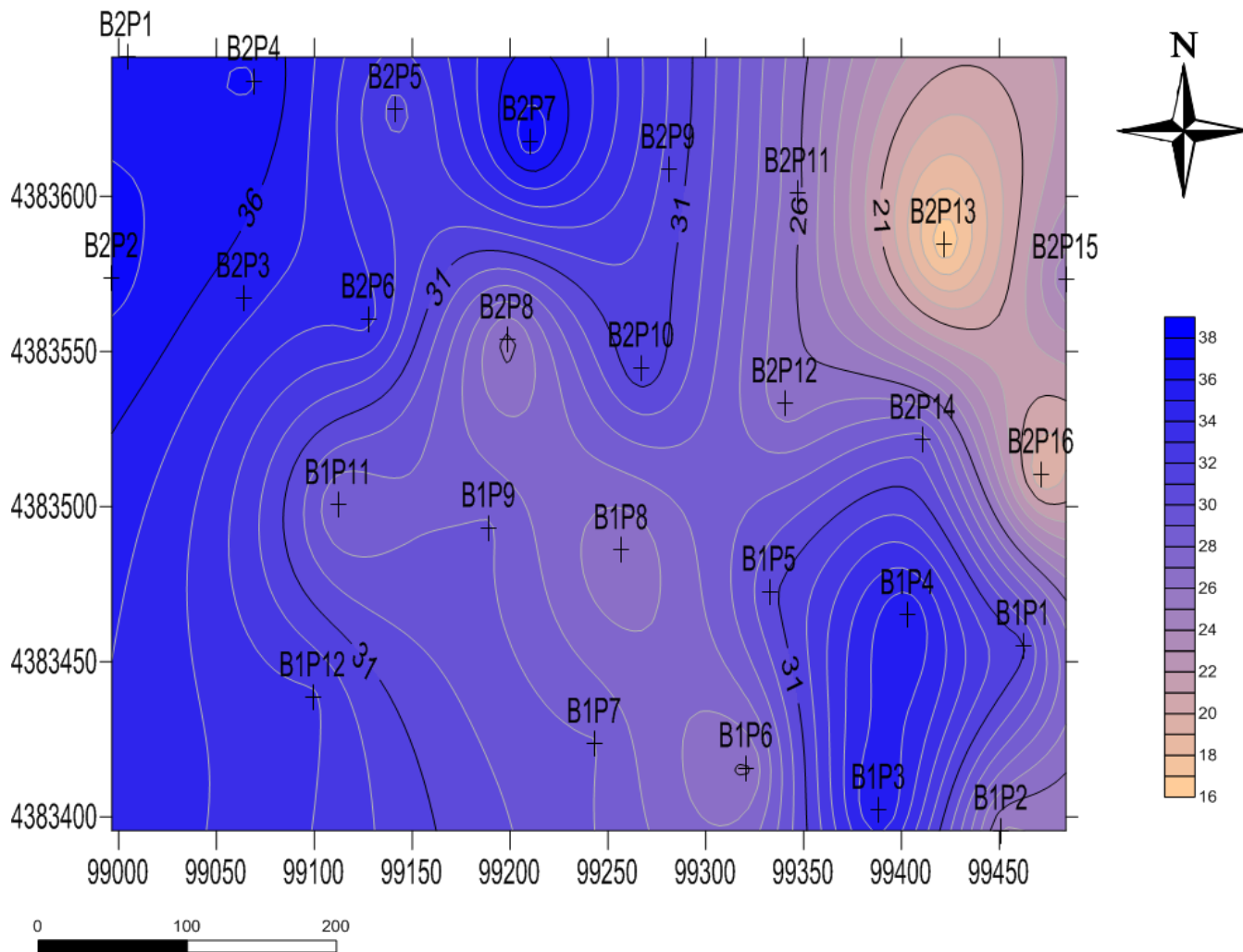
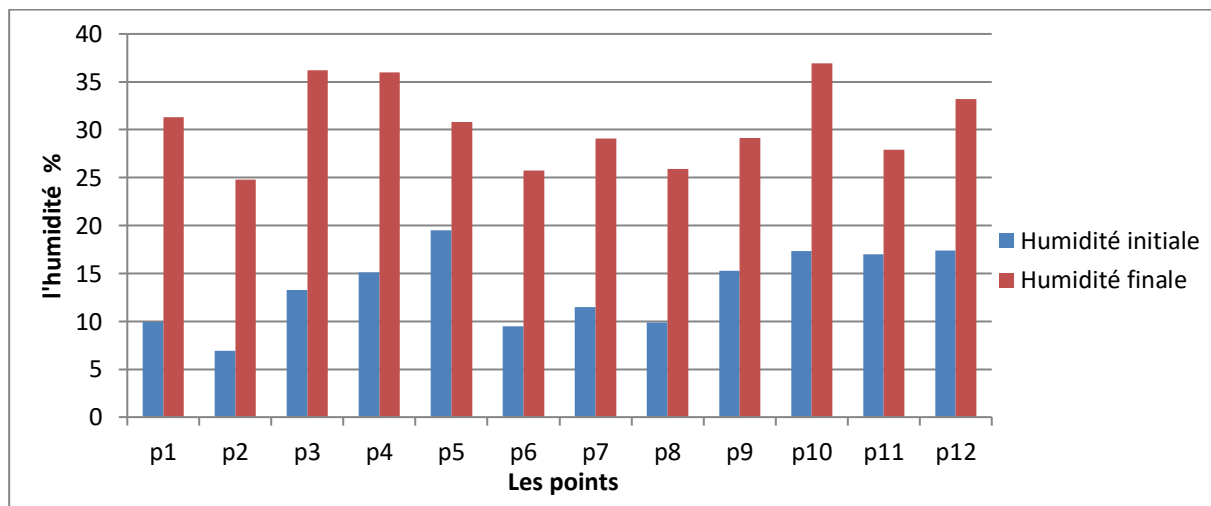


Fig.27 - la carte de l'humidité initiale (par surfer v.14)



**Fig.28 - La carte de l’humidité à saturation –finale (par surfer v.14)**

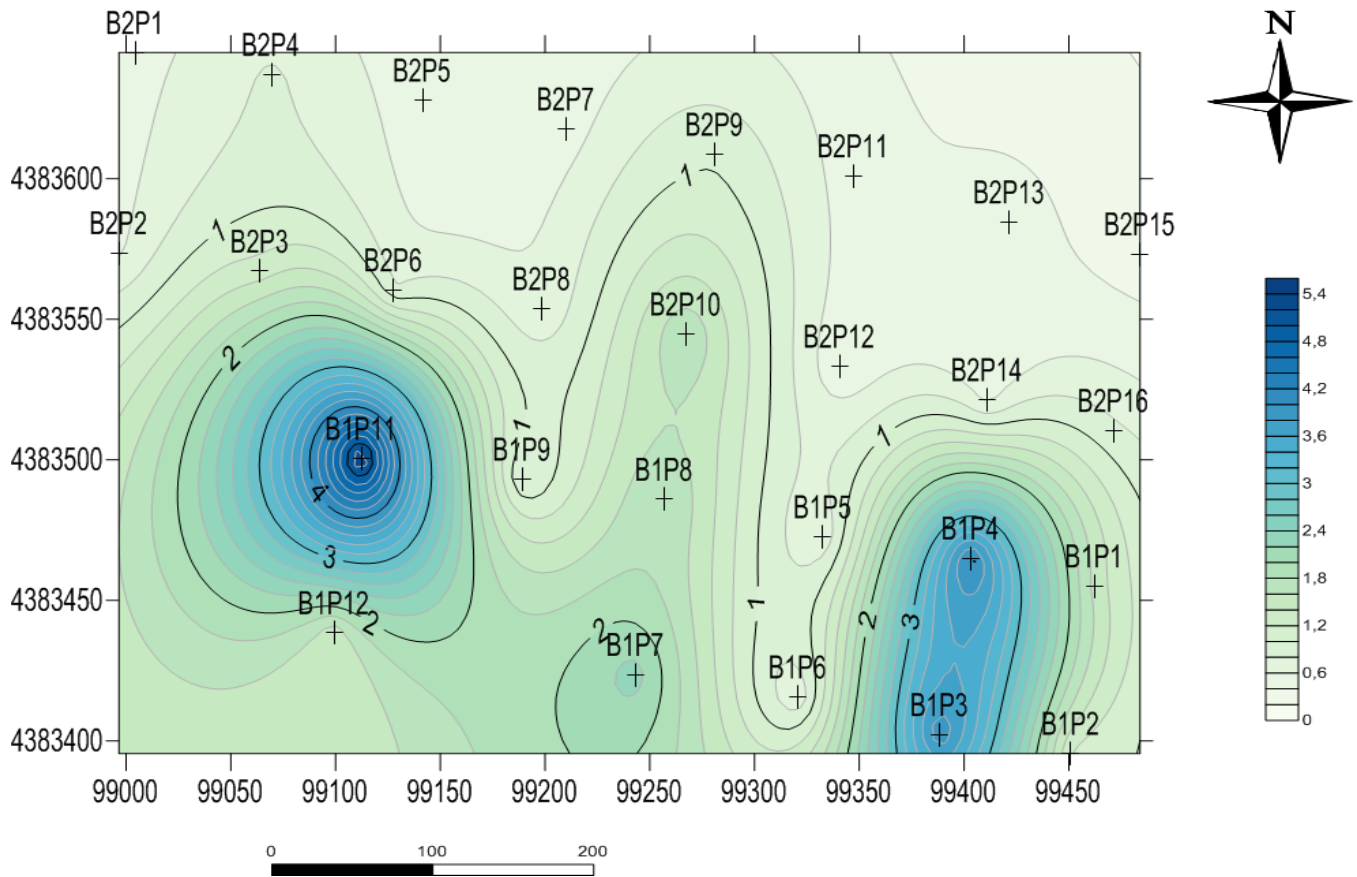
La figure 29 montre que la teneur en eau de l’horizon de surface augmente de 100% à 150% pour atteindre un taux de saturation moyen de 53%, ainsi que la variation spatiale de cette humidité est modérée avec un coefficient de variation égale à 34% ( $CV > 15\%$ ).



**Fig.29 - Histogramme de l’humidité initiale et à saturation (finale)**

## VI.2. La conductivité électrique

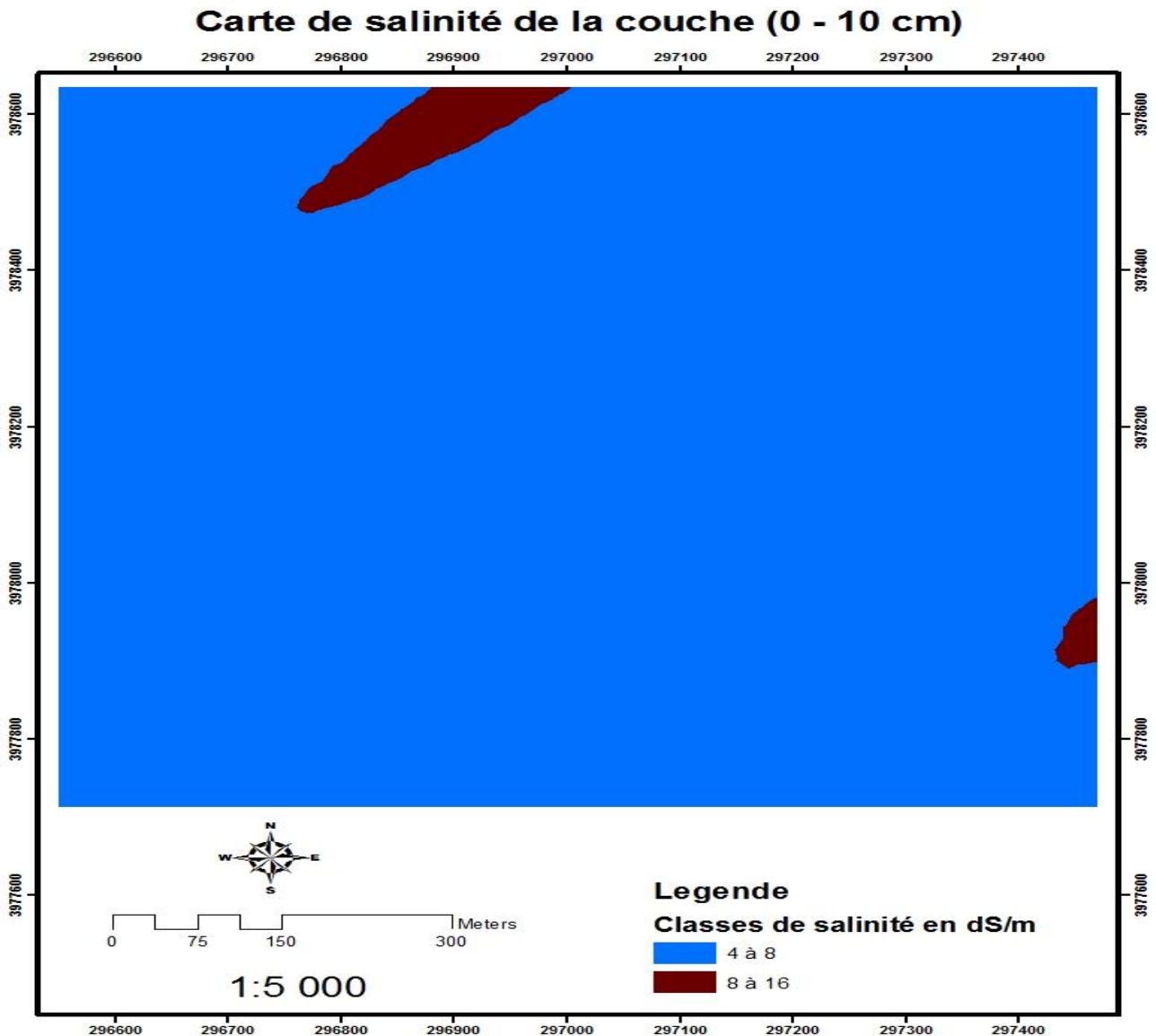
Les résultats portent sur la conductivité électrique (extrait de la pâte saturée- CEps) des 12 échantillons de sol prélevés, sur une couche superficielle d'une profondeur de 0-20cm, exprimée en dS/m et corrigée à une température 25 °C.



**Fig. 30- La carte des classes de salinité (par surfer v.14)**

D'après la carte de salinité présentée dans la figure 30, les résultats de la Conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturé (Ceps) sont légèrement faibles (<4ds/m), sauf les points 3,4 et 11 qui dépassent le seuil de 4 ds/m.

Le coefficient de variation de la Ceps est de 97 % ( $CV > \text{à } 35 \%$ ), cette valeur exprime une forte variabilité de la salinité en surface, avec une valeur minimale de la Ceps de 0,62 ds/m un maximum de 5,48ds/m.



**Fig.31 - Carte des classes de salinité de l'INRAA El Hmedna (octobre 2016)**

Par la comparaison entre la carte de salinité de ces échantillons et la carte qui se fait par la station d'INRAA sur tous les parcelles de la station durant le dernier trimestre de l'année 2016 (après une période sèche) (figure 31), on constate que les sels se lessive vers la profondeur à l'effet des pluies de l'hiver.

### VI.3. Granulométrie

Le tableau 11 présente la répartition des éléments fins (argile et limon) et grossiers (sable) dans les sols prélevés sur les points 1, 6 et 11, ces trois points nous donnent une vue globale sur la texture des sols de toute la parcelle.

On observe que la fraction fine est dominante par un pourcentage varie entre 30% à 46%. La texture est limono argileuse ou argileuse limoneuse en générale

Tableau 11- texture du sol pour les points 1,6 et 11

Echantillons	Pourcentage des particules			Texture
	A%	L%	S%	
P1	30.05	46.64	23.31	LIMONO ARGILEUX
P6	33.64	31.40	34.97	LIMONO ARGILEUX
P11	45.45	41.38	13.17	ARGILEUX LIMO NEUX

#### VI.4. La densité apparente, réelle et la porosité

La densité apparente (figure 26) a une moyenne de 0.53, et un coefficient de variation 4.58% (<15%) qui signifie une faible variation dans la densité apparente entre les points.

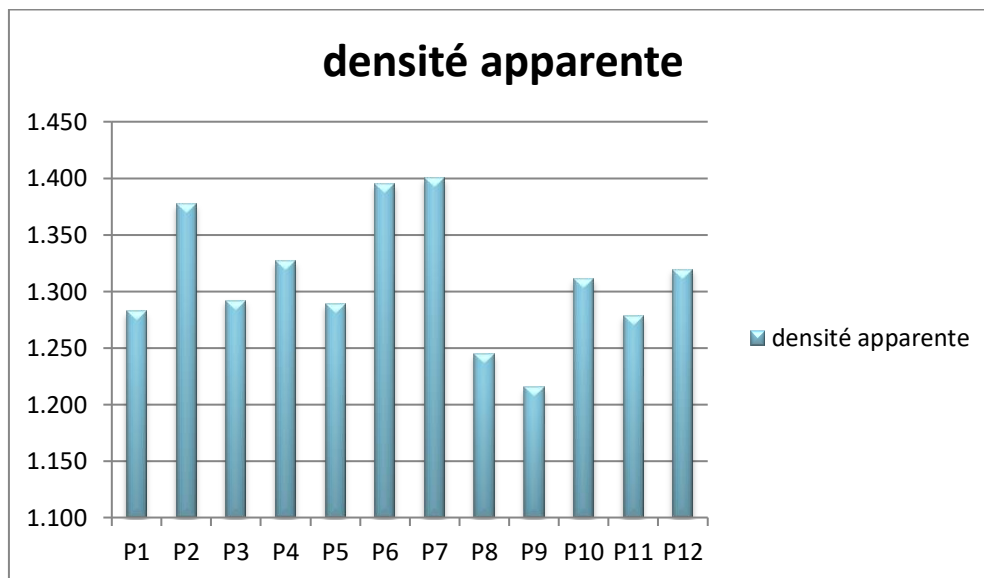


Fig.32 - La densité apparente des échantillons

Pour ces types de sols, on peut prendre une valeur de la densité réelle égale à 2.56, dans ce cas, on peut calculer la porosité (tableau 12) par la formule suivante :

$$P = \frac{(D_r - D_a)}{D_r}$$

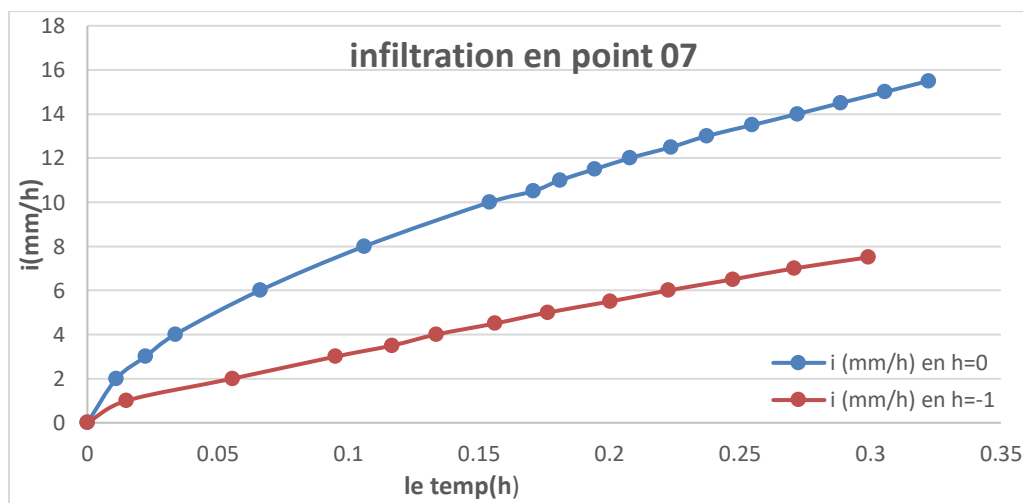
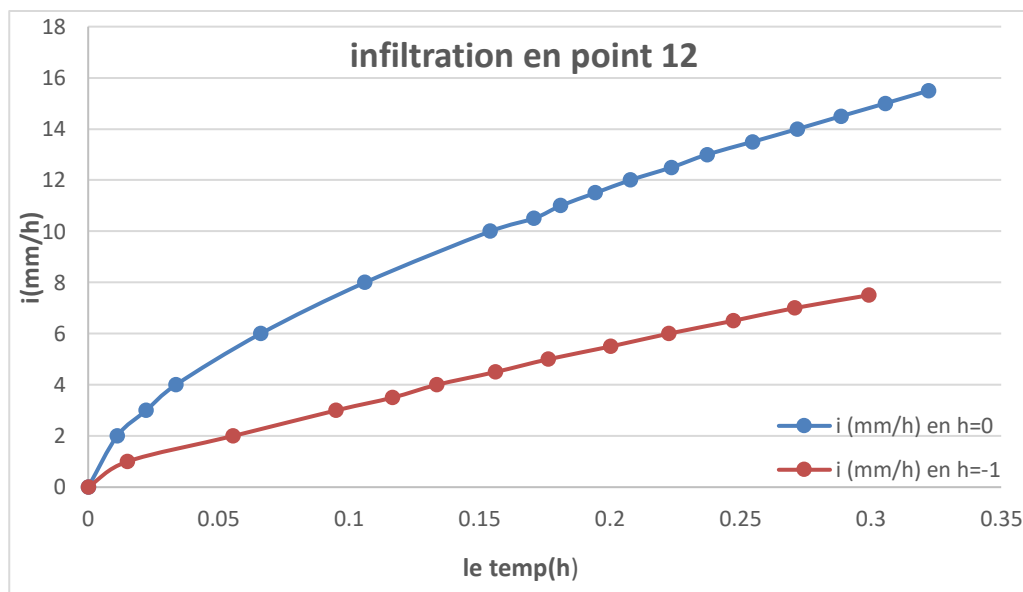
Les valeurs de la porosité varient entre 0,47 et 0,54 avec un moyen de 0,51 et un coefficient de variation faible égale à 4,48%

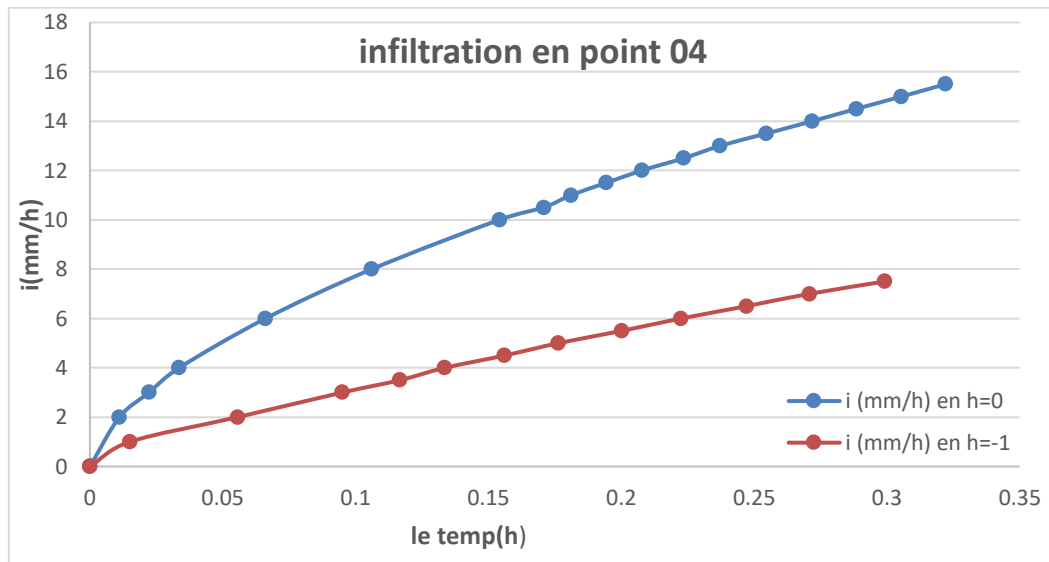
**Tableau 12 - Les résultats de la porosité des échantillons**

Les points	Porosité	Les points	Porosité
P1	0,52	P7	0,47
P2	0,48	P8	0,53
P3	0,51	P9	0,54
P4	0,50	P10	0,51
P5	0,51	P11	0,52
P6	0,47	P12	0,50
Moyenne		0,51	
C .V. %		4.48	

### VI.5. L'infiltration

Suivant le principe de fonctionnement de l'infiltromètre à membrane, on a appliqué pour chaque mesure une charge de pression basse suivie d'une charge de pression forte, ceci a permis d'obtenir les courbes d'infiltration ci-dessous.





**Fig.33 - Graphiques des infiltrations des deux potentiels pour les points 4,7 et 12**

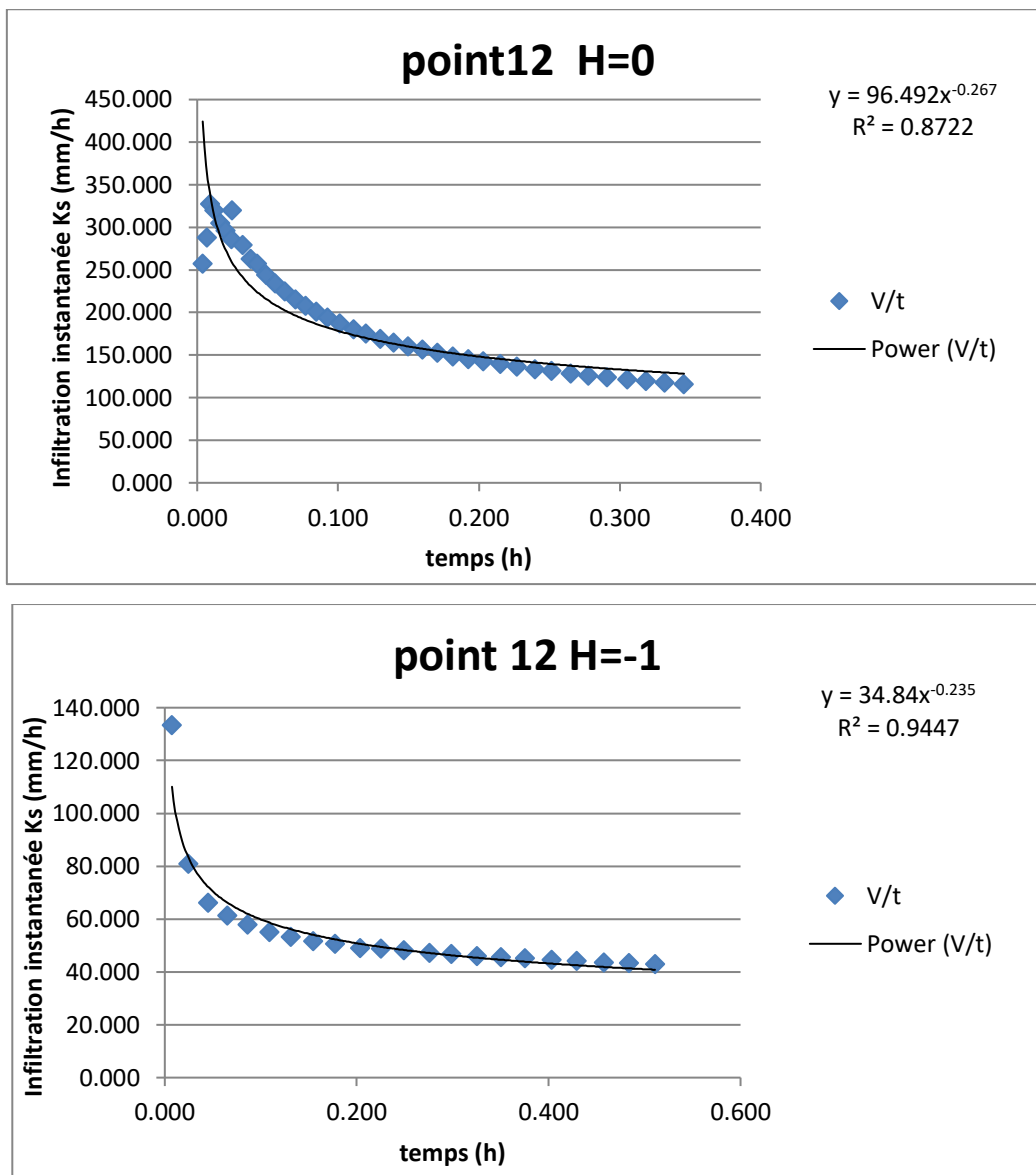
Les mesures ont été faites aux deux potentiels successivement ; ce choix nous permettra de comparer les paramètres hydrodynamiques en fonction de l'état d'humidité du sol.

## VI.6. Comparaison d'infiltration a différents potentiels

Une analyse des graphes d'infiltration pour deux potentiels données ( $h_0$ ,  $h-l$ ), met en évidence que lors de l'application de la première succion  $h_0$  la phase liée aux phénomènes de capillarité, apparaît clairement et est représentée par une rapide croissance de la courbe d'infiltration. La durée de cette phase diminue au cours de l'application de la deuxième succion  $h-l$ .

Ces résultats montrent que l'eau entre d'abord dans le sol par Succion lorsque ce dernier est sec, et ensuite par gravité (disparition de la phase de succion) lorsque le sol renferme une certaine humidité.

### VI.7. L'infiltration instantanée



**Fig.34 - Évolution temporelle de l'infiltration instantanée I pour une charge de pression h-1 du point 12**

En comparant les deux graphes, on remarque que les deux courbes ont la même forme ou l'infiltration diminue avec le temps ; sauf qu'avec la charge de pression h=0 l'infiltration est plus lente que la charge h=-1

Tableau 13- Equations du taux d'infiltration pour h=0 des différents points

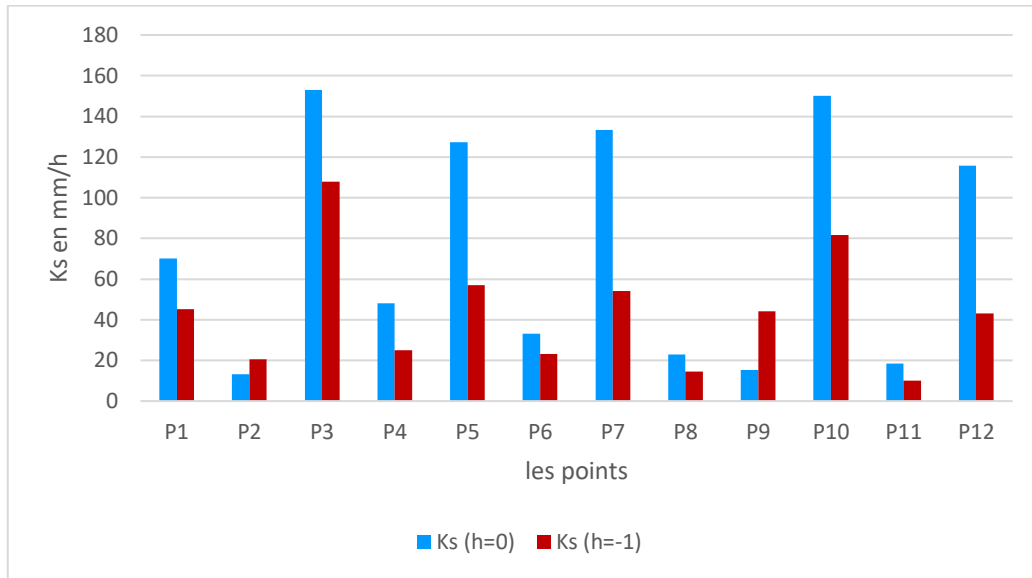
Les points	Equation	R <sup>2</sup>	i(h) en cm/h
P1	$y = 59,38x^{-0,14}$	R <sup>2</sup> = 0,991	70,000
P2	$y = 13,25x^{-0,17}$	R <sup>2</sup> = 0,915	13,167
P3	$y = 129,4x^{-0,23}$	R <sup>2</sup> = 0,672	153,099
P4	$y = 31,07x^{-0,39}$	R <sup>2</sup> = 0,999	48,103
P5	$y = 82,74x^{-0,24}$	R <sup>2</sup> = 0,807	127,162
P6	$y = 21,66x^{-0,36}$	R <sup>2</sup> = 0,991	33,083
P7	$y = 105,6x^{-0,17}$	R <sup>2</sup> = 0,960	133,434
P8	$y = 18,88x^{-0,36}$	R <sup>2</sup> = 0,984	23,031
P9	$y = 23,24x^{-0,29}$	R <sup>2</sup> = 0,979	15,391
P10	$y = 145,9x^{-0,10}$	R <sup>2</sup> = 0,394	150,093
P11	$y = 13,82x^{-0,35}$	R <sup>2</sup> = 0,996	18,378
P12	$y = 96,49x^{-0,26}$	R <sup>2</sup> = 0,872	115,756

Tableau 14- Equations du taux d'infiltration pour h-1 des différents points

Les points	Equation	R <sup>2</sup>	i(h) en mm/h
P1	$y = 36,94x^{-0,16}$	R <sup>2</sup> = 0,980	45,113
P2	$y = 21,28x^{-0,02}$	R <sup>2</sup> = 0,082	20,423
P3	$y = 70,96x^{-0,26}$	R <sup>2</sup> = 0,948	108,000
P4	$y = 16,56x^{-0,30}$	R <sup>2</sup> = 0,947	25,070
P5	$y = 32,64x^{-0,34}$	R <sup>2</sup> = 0,982	57,073
P6	$y = 16,31x^{-0,29}$	R <sup>2</sup> = 0,934	23,060
P7	$y = 43,08x^{-0,19}$	R <sup>2</sup> = 0,949	54,145
P8	$y = 9,623x^{-0,39}$	R <sup>2</sup> = 0,943	14,436
P9	$y = 14,14x^{-0,34}$	R <sup>2</sup> = 0,989	44,076
P10	$y = 66,96x^{-0,15}$	R <sup>2</sup> = 0,976	81,538
P11	$y = 8,864x^{-0,18}$	R <sup>2</sup> = 0,970	10,063
P12	$y = 34,84x^{-0,23}$	R <sup>2</sup> = 0,944	43,067

## VI.8. La conductivité hydraulique à saturation

La conductivité hydraulique (K) est un paramètre physique qui conditionne l'écoulement de l'eau dans les sols et, conséquemment, le transfert des solutés dans ces milieux. Elle varie avec la saturation du sol. C'est pourquoi on préfère déterminer la relation entre K et  $\Theta$ . Cependant on se contente en général de mesurer la conductivité hydraulique à saturation (K<sub>s</sub>)



**Fig.35- Évolution de Ks au niveau des divers points**

L'analyse de la figure 35 montre un comportement différencié de la conductivité hydraulique. Les valeurs les plus importantes sont observées au niveau de point 1, 3, 5, 7, 10 et 12 ; les autres points ont des valeurs intermédiaires.

On observe également une différence entre les valeurs de conductivité hydraulique obtenues entre les 2 potentiels parce que celles de (h=-1) sont plus faibles que celles de (h=0).

On peut calculer la perméabilité à la saturation (tableau 14) par l'équation suivante :

$$K_{sat} = q_1 / [(\pi * R^2 * \exp(\alpha h_1) * (1 + 4 / \pi * R * \alpha))]$$

Avec  $K_{sat}$  : la perméabilité à saturation

R : rayon du disque  $R = 20 / 2 = 10 \text{ cm}$

$$\alpha = \ln(q_2 / q_1) / (h_2 - h_1)$$

Avec q est le flux calculé par l'équation suivante  $q = \pi * r^2 * i$

I (mm/h) : l'infiltration

r : rayon interne du tube de réservoir de l'infiltromètre  $r = 4,45 / 2 = 2,225 \text{ cm}$

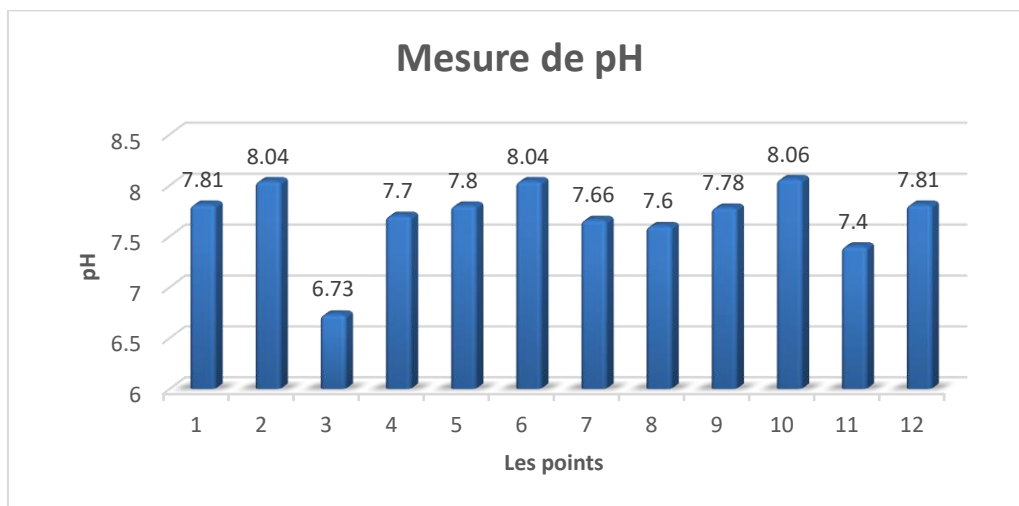
h : charge piézométrique

Tableau 15 - Estimation de la perméabilité à saturation en cm/h

es Points	V/t (cm/h) à h1	V/t (cm/h) à h2	q1(cm3/h)	q2(cm3/h)	h1 (cm)	h2 (cm)	ksat (cm/h)
Point 01	70	45,113	1088,15	701,28	0	-1	2,69
Point 02	60,239	22,768	936,41	353,93	-1	-2	6,98
Point 03	153,10	108	2379,92	1678,86	0	-1	5,55
Point 04	48,10	25,07	747,76	389,71	0	-1	1,99
Point 05	127,16	57,073	1976,73	887,20	0	-1	5,43
Point 06	33,08	23,06	514,27	358,47	0	-1	1,21
Point 07	133,43	54,145	2074,23	841,68	0	-1	5,79
Point 08	23,03	14,436	358,02	224,41	0	-1	0,90
Point 09	30,303	18,28	471,06	284,16	0	-1	1,20
Point 10	150,09	81,538	2333,19	1267,51	0	-1	6,15
Point 11	18,38	10,06	285,69	156,43	-1	-2	1,37
Point 12	115,76	43,07	1799,42	669,47	0	-1	5,08

## VI.9. Le potentiel Hydrogène (pH)

La mesure du pH a été effectuée par un pH-mètre, avec un rapport sol –eau est de 1/2,5. La valeur du pH eau (acidité effective) des échantillons de sols a été obtenue par la méthode électrométrique au pH-mètre avec une électrode en verre.



**Fig.36- Le potentiel d'hydrogène pH**

On observe, d'après la figure 36, que la valeur de pH varie entre 7,25 et 8,37, avec une moyenne de 7,7 et une variation faible de coefficient de variation égale à 4,7 % ( $CV < 15\%$ ). Ces valeurs correspondent à une réaction du sol relativement alcaline, caractéristique principale des sols calcaires et des sols salés.

Ces valeurs indiquent que le sol est alcalin. Cette alcalinité inhibe la disponibilité et l'assimilabilité de certains éléments (Zn, P, N) et peut engendrer des problèmes chez les plantes.

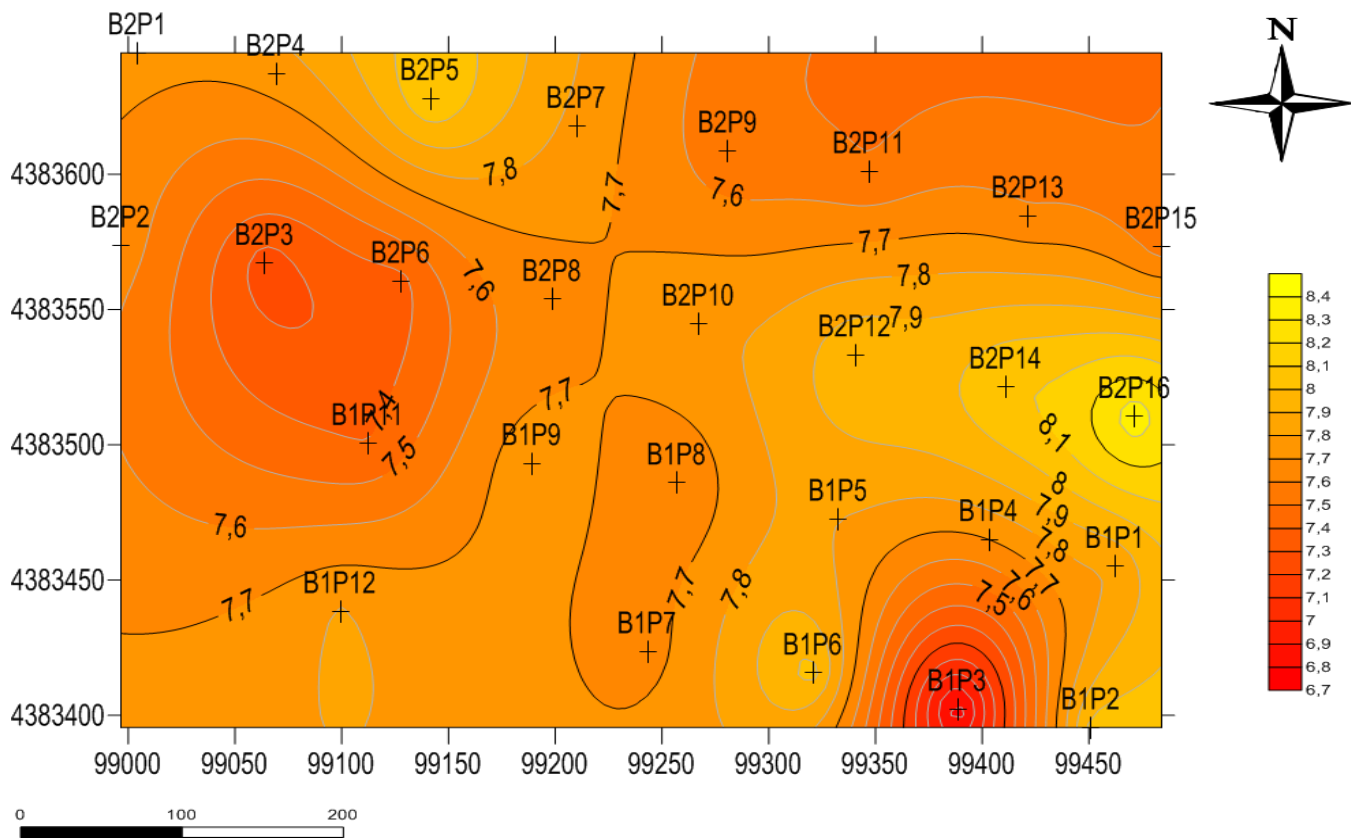


Fig.37 – La carte des ph des échantillons prélevés

### VI.10. Les cations de sodium et potassium

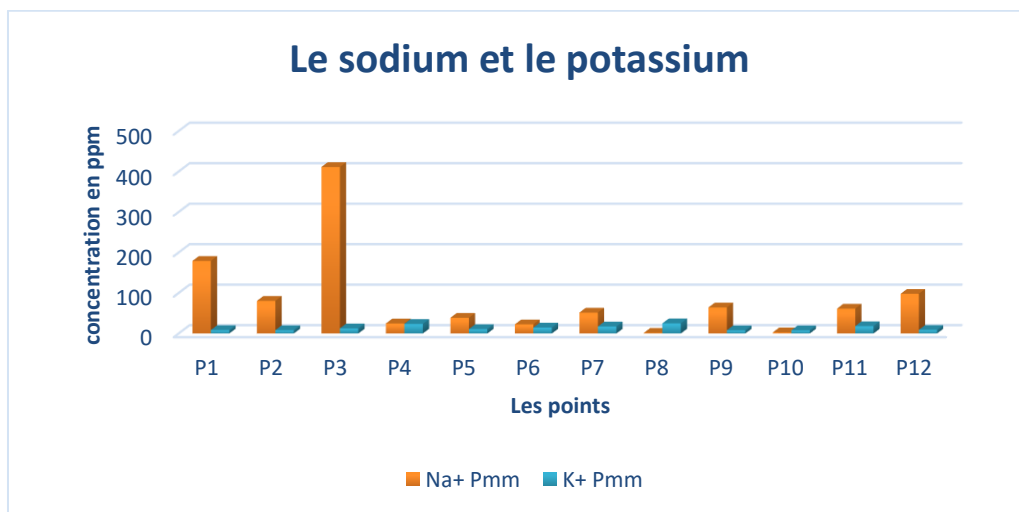


Fig.38 - Les concentrations de sodium et potassium

Selon l’histogramme (figure 38) qui présente la concentration des cations de sodium Na<sup>+</sup> et le potassium K<sup>+</sup>, le sodium (Na<sup>+</sup>) est le plus représenté avec un coefficient de variation de 130% et une concentration qui varie entre 1,68 ppm et 411 ppm. Le potassium (K<sup>+</sup>) vient en deuxième

position avec un coefficient de variation de 45,07 % avec des teneurs qui varient entre 2.37 ppm et 13.14 ppm, dans ce cas, le classement des cations est de type :  $\text{Na}^+ > \text{K}^+$ .

Ces valeurs de coefficient de variation ( $\text{CV} > \text{à } 35 \%$ ) expriment une forte variabilité des teneurs en  $\text{Na}^+$  que de  $\text{K}^+$  dans le sol.

### VI.11. Les anions de bicarbonates et du chlore

Tableau 16 - Le bicarbonate en méq. L<sup>-1</sup> et mg/l

points	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en méq/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en mg/l	points	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en méq/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> en mg/l
P1	12	12	P7	08	08
P2	07	07	P8	09	09
P3	07	07	P9	08	08
P4	08	08	P10	11	11
P5	08	08	P11	08	08
P6	08	08	P12	08	08
Moyenne			8,5		
C .V. %			17,73		

Tableau 17 - Le Chlore Cl<sup>-</sup> en mmol/l<sup>-1</sup> et mg/l

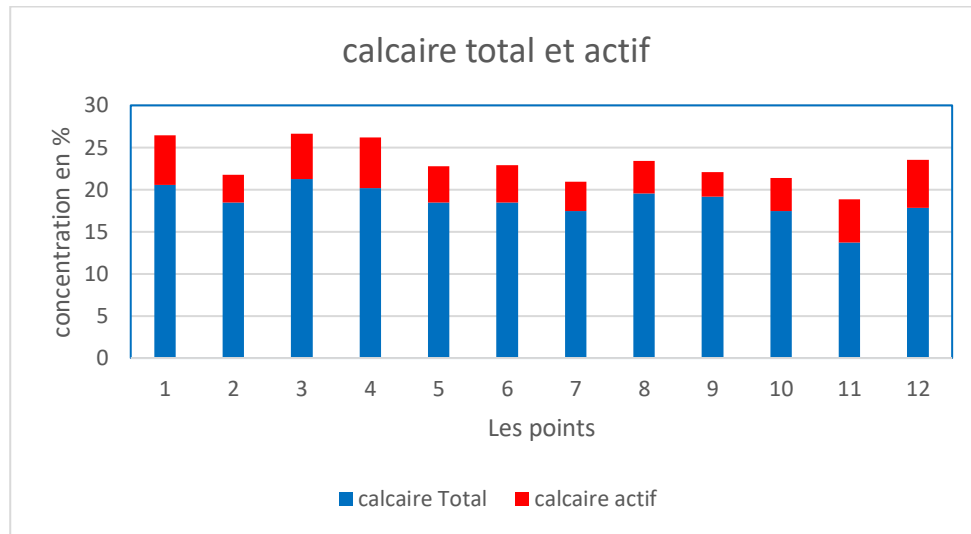
Les points	Cl <sup>-</sup> en mmol/l	Cl <sup>-</sup> en mg/l	Les points	Cl <sup>-</sup> en mmol/l	Cl <sup>-</sup> en mg/l
P1	2	<b>70,91</b>	P7	2,5	<b>88,63</b>
P2	1,5	<b>53,18</b>	P8	2	<b>70,91</b>
P3	5	<b>177,27</b>	P9	1,1	<b>39,00</b>
P4	4,4	<b>155,99</b>	P10	1,4	<b>49,63</b>
P5	1,9	<b>67,36</b>	P11	5,9	<b>209,17</b>
P6	1	<b>35,45</b>	P12	1,3	<b>46,09</b>
Moyenne			88,63 g/l		
C .V. %			<b>66,21</b>		

La présence de l'anion Cl<sup>-</sup> est le plus représenté par des valeurs de forte variation dans l'espace avec un coefficient de variation de **66,21%** et une concentration qui varie entre 1 mmol/l (0.3545 g/l) et 5.9 mmol/l (2.0917 g/l). HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> vient en deuxième position avec un coefficient de variation de **17,73%** avec des teneurs qui varient entre 7 mmol/l et 12 mmol/l.

Ces valeurs de coefficient de variation ( $\text{CV} < \text{à } 35 \%$ ) expriment une variabilité modérée des teneurs des anions dans le sol.

## VI.1. Le Calcaire total et actif

Le calcaire total est l'ensemble du calcaire de sol représente sous toutes dimensions (toutes les tailles). Sa quantité dans le sol peut être déterminée après sa dissolution par un acide moyennement concentré. Le calcaire actif correspond au calcaire fin facilement solubilisé.



**Fig.39- Les taux de calcaire total et actif en %**

Les résultats obtenus du calcaire total indiquent qu'il y a un risque important de chlorose avec des valeurs élevées du calcaire total (fig.39).

Les teneurs en calcaire sont homogènes, avec une moyenne est de 18,55 %, un coefficient de variabilité faible d'environ 10,49(CV <15%) pour le calcaire total. Et une moyenne de 4,51% pour le calcaire actif, avec un coefficient de variabilité modéré de 23,95(CV>15%).

D'après les taux de CaCO<sub>3</sub> total obtenus et qui varient entre 13,69 et 21,23%, notre sol est modérément calcaire (12,5 < CaCO<sub>3</sub> ≤ 25%), donc il y a un risque de blocage des éléments traces et du phosphore.

Le taux de calcaire actif est compris entre 3,25 et 6% ; ce sont des valeurs appréciables, Plus il y a de CaCO<sub>3</sub> actif dans le sol, plus il y a risque de solubilisation et par conséquent plus il y a risque de blocage des éléments tels que le phosphore, donc il faut de contrôler le taux de calcaire actif pour ne dépasse pas le seuil de 6% pour éviter la chlorose spécialement ferrique.

# Conclusion

L'objectif de cette étude est de diagnostiquer l'état de la dégradation des sols de la plaine d'El Hmadena par la salinisation et sodisation au niveau la station de recherche INRAA de Hmadna.

L'expérimentation est réalisée sur une parcelle de 2,325 hectares de surface. Les analyses effectuées sur 12 points situés aux nœuds d'une grille d'un pas d'étude de 50 m, pour la couche superficielle (de profondeur 0-20cm).

Les résultats obtenus montrent que la zone d'étude est caractérisée par une texture à prédominance argileuse à argilo-limoneuse. Les sols étudiés sont généralement peu humides ( $H\% < 30\%$ ), neutre à basiques ( $6,73 < \text{pH} < 8,06$ ), généralement calcaires (Calcaire totale  $\geq 18\%$ ). Aussi que les valeurs minimales et maximales de la salinité se situent entre  $0,62 \text{ dS.m}^{-1}$  et  $5,48 \text{ dS.m}^{-1}$  dans la couche de surface, avec des rations du sodium échangeable élevées. La perméabilité à saturation de ces sols est moyenne, varie entre 0,9 et 6,98 cm/h.

En dernier lieu, on note que le risque de la dégradation des sols de la plaine d'El Hmadena reste toujours présent, avec des travaux inachevés de caractérisation de ces sols (propriétés physicochimiques et hydrodynamiques).

Pour faire une stratégie de préservation et valorisation des sols de la plaine, il faut d'abord créer une banque d'information et centre de suivi de l'état structural, biologique et hydrodynamique.

# Références bibliographiques

- Abbani B, et Abde-Lali Y, 2005.** Contribution à l'étude de la qualité des eaux phréatiques sur l'état de dégradation de la palmeraie d'Ouargla. Mémoiring. Unvi d'Ouargla. p 21.
- ABH-CZ, 2002.** Bulletin de la qualité des eaux souterraines des nappes du Chélif
- ABH-CZ, 2006.** Bulletin de la qualité des eaux souterraines des nappes du Chélif
- AFES, 2008.** Référentiel pédologique, Association française pour l'étude du sol (AFES), Denis Baize et Michel-Claude Girard éditions quae 2008.
- Agassi M, Shainberg I ET Morni J., 1981:** Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. Soil sci. Soc. Am. j. 45, pp: 848- 851.
- Amezketta E, 2007.** Soil salinity assessment using directed soil sampling from a geophysical survey with electromagnetic technology: a case study. Spanish Journal of Agricultural Research, 5(1), pp 91-101.
- Anonyme A, 2006.** Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation. Conférence électronique sur la salinisation : Organisée et coordonnée par: IPTRID du 6 février au 6 Mars 2006, 20 p.
- Antipolis S, 2003.** Les menaces sur les sols dans les pays Méditerranéens. Les cahiers du plan bleu, Vol.2 :44-49.
- Ashraf M et Foolad M.R, 2005.** Pre-sowing seed treatment-a shotgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and non-saline conditions. Advances in Agronomy, 88: 223-271.
- Aubert G, 1978.** Méthode d'analyse des sols. C.R.D.P., Marseille, 546p.
- Aubert G, 1983.** Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. Cah. ORSTOM. Ser. ped.Vol xxx n°1, pp = 73-78.
- Ayers R.S. et Westcot D.W, 1988.** La qualité de l'eau en agriculture. Bul. FAO d'Irrig. et de Drain. 29 Rev. 1, Rome, 180 p.

- Badraoui M et Merzouk A, 1994.** Changes of soil qualities under irrigation: the effect of salt accumulation on water retention by Vertisols. In CIHEAM ed, farm water management techniques, Rabat, Morocco.
- Badraoui M, Soudi B, Lahlou M, Kabbassi M et Aniba K. 1998a.** Évaluation de la salinité des sols dans le périmètre irrigué des Doukkala: Suivi et diagnostic dans les zones vulnérables. In Soudi B. ed., Etude de l'impact de l'intensification de la mise en valeur agricole sur la qualité des sols et des eaux: proposition de pratiques rationnelles. Projet d'initiatives propres, AGCD-UCL-IAV.
- Badraoui M, Soudi B, Merzouk A, Farhat A et M'hamdi A, 1998b.** Changes of soil qualities under irrigation in the Bahira region of Morocco: Salinization. *Advances in GeoEcology* 31.
- Baize D, 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie, choix, expression, présentation, interprétation. INRA. Paris, 172 p.
- Bennett D.L et George R.J, 1995.** Using the EM38 to measure the effect of soil salinity on *Eucalyptus globulus* in southwestern Australia. *Agricultural Water Management* 27, pp 69-86.
- Benzahi Y, 1994.** Contribution à l'étude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigué sous palmeraie. Mém. Ing. INFS/AS, Ouargla, 111p. BOLT H.M. et *al.* (1978), *International Archive on Occupational Environmental Health*, 60 (3), 141-4.
- 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.
- Boulaine J, 1957.** Etude des sols des plaines du Cheliff. Thèse d'état de l'Université d'Alger.
- Brady N.C et Weil R, 2002.** The nature and properties of soils. Prentice Hall, Upper saddle River, NJ, USA.
- C.P.C.S., 1967.** Classifications des sols. Commission de pédologie et de cartographie des sols. Doc multi. INRAA Grignon, 96p.

- Cairncross B, 1986.** Coalfield, South Africa: a framework for coal seam stratigraphy, occurrence and distribution, Thesis (Ph. D.)--University of the Witwatersrand, Johannesburg, 1986.
- Chaabane S. et Benreda Z. (1997):** inventaires des sols salés d'Algérie. ANRH Pédologie.
- Cherbuy B., 1991.** Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. CEMAGREF, école. Nat. Renne, 170p.
- Cherbuy, 1991.** Les sols salés et leur réhabilitation, étude bibliographique.124p.
- Cheverry .CL, 1972.** Contribution à L'étude pédologique des polders du Lac Tchad. Dynamique des sels en milieu aride continental et subaride dans les sédiments argileux et organiques. Thèse Univ. Louis Pasteur, Strasbourg,275p.
- Churchman G.J., Skjemstad J.O et Oades J.M, 1993.** Influence of clay minerals and different water regimes. Tree physiology 24: 65-73.
- Corwin D.L et Lesch S.M., 2005.** Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. Computers and Electronics in Agriculture 46, pp 11-43.
- Corwin D.L., Lesch S.M, 2003.** Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: Theory, principles and guidelines. Agronomy Journal 95, pp 455-471.
- 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.
- Daoud Y, 1993.** Contribution à l'étude des sols plaines du cheliff. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux, thèses Doct d'Eta. INA Alger,233p.
- Daoud Y., 1993.** Contribution à l'étude des sols des plaines de Cheliff, le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèses doctorat d'état. INA. Alger, 193 p.
- Dellal A, Halitim A, 1992.** Activités microbiologiques en conditions salines: cas de quelques sols salés de la région de Relizane (Algérie). Cahiers Agricultures.
- Demolon,1966.** Dynamique du sol, Dunod, Paris, 1966, 520 p.

- Denden M, Bettaieb T, Sahli A, Mathlouthi M, 2005.** Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. *Tropicultura*. Vol. 23 N°4, pp220-226.
- Derdour H, 1981.** Contribution à l'étude de l'influence du taux de sodium échangeable sur le comportement des sols au compactage. Thèse Magister INA, Alger.
- DJILI K, 2000.** Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie : Création d'une banque de données informatisées et l'utilisation d'un système d'information géographique pour la spatialisation et la vectorisation des données pédologique. Thèse doc. INA. Alger. 384p.
- Djili K, Daoud Y, Ayache N, 1999.** Analyse de la distribution verticale et spatiale du calcaire dans les sols de l'Algérie Septentrionale. *Etude et gestion des sols*, 6, 3, pp :201-213.
- Douaïk A, 2005.** Evaluation of the space-time variability of soil salinity: By statistical, geostatistical, and bayesian maximum entropy methods. Doctor (Ph.D.) thesis, Université Itgent, 211 p.
- Douaoui A, 2004.** Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chélif (Algérie). *Mesures au laboratoire sous simulation de pluie*. *EGS*, Vol. 11, N°4, 2004, 379-392.
- Douaoui A, 2005.** Variabilité spatiale de la salinité en relation avec certaines caractéristiques des sols de la plaine du Bas-Chélif. Apport de la géostatistique et de la télédétection. Thèse Doct. d'état, INA – Alger, 245P.
- Doumergues et Mangenot, 1970.** *Ecologie microbienne du sol* Paris, Masson, 1970, 769 p.
- Duchauffour Ph, 1976.** Principes d'une classification écologique des sols. *Agrochimica*, XX, 4-5, pp : 313 – 323.
- Duchauffour Ph, 1983.** *Pédogénèse et classification*. 2<sup>ème</sup> édition. Masson. Paris, 466 p.
- Duchauffour Ph, 1988.** *Abrèges de pédologie*. 2<sup>ème</sup> édition. Masson. Paris. Milan. Barcelone. Mexico, 224 p.

- Duchaufour, 1983.** Pédogenèse et classification. Masson 2è édition -Paris –France 491 p, pp 208, 483.
- Durand J, 1956.** Les sols de la station d'étude des sols salins d'El Hmadena. France-Alger editions, Paris, 29 p.
- Durand J.H, 1954.** Les sols d'Algérie. Service des études scientifiques. Pédologie, N°2, nouvelle édition, 140p.
- Durand J.H, 1983.** Les sols irrigables, Agence de coopération culturelle et technique. P.U. France, 190 p.
- Duthil J, 1973.** Elément d'écologie et d'agronomie. Tome II. Exploitation et amélioration du milieu. Ed.J.B. Baillièrè
- Duthil, 1971.**Eléments d'écologie et d'agronomie. Tome I : connaissance du milieu, Paris, Baillièrè et fils.
- Essington M.E, 2004.** Soil and water chemistry, an integrative approach. CRC Press, USA.
- F.A.O, 2008.** Annuaire statistique de la FAO
- FAO, 1984.** Mise en valeur et amélioration des terres; Traitements physiques, chimiques et organiques, amendements chimiques et organique.
- Farhat A, 1995.** Effets de l'irrigation par pivot sur la qualité des sols dans la Bahira: situation actuelle et perspectives de développement. Thèse de 3ème cycle, IAV Hassan II, Département Sci. Sol, Rabat, Maroc.
- Gallali T, 1980.** Transfert sels-matière organique en zones arides méditerranéennes. Thèse de Doctorat es-sciences, université de Nancy-I, 202p.
- Gaucher G, 1947.** Méthodes actuelles d'étude des terrains salés en Afrique du Nord. Conférence de Pédologie Méditerranéenne, AFES, Paris.
- Girard M.C, Walter C, Remy J.C, Bertbel J et Morel J.L, 2005.** Sols et environnements, cours, exercices et étude de cas. Edi : Dunod, Paris. 475p.
- Gregory B, 2005.** Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizes en milieu salin et sodique. Thèse de doctorat en science forestières 190p.

- Gupta, R.K et Abrol, I.P, 1990.** Salt-affected soil: Their reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Science Volume 11 Soil degradation* ed. Lal, R., Stewart, B.A. Springer-Verlag, New York.
- Hadj Milloud S, 2010.** Morphologie et propriétés des Solonchaks références.
- Halitim A, 1973.** Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. Univ. de Renne, 176 p.
- Halitim A, 1985.** Contribution à l'étude des sols des zones arides (Hautes Plaines Steppiques d'Algérie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse Doct. d'Etat, Université de Rennes, 383 p.
- Halitim A, 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. OPU, Alger, 384 p
- Halitim A, Robert M, Tessier D et Prost R., 1984.** Influence des cations échangeables (Na+, Ca++, Mg++) et la concentration saline sur le comportement physique (rétention en eau, conductivité hydraulique de la montmorillonite agronomie. 4 (5), pp 451 – 459.
- Hamdi A, 1999.** Saline irrigation and management for sustainable use In: *Advanced Short Course on saline irrigation Proceeding*, Agadir.152-227.
- Hammia I, 2012.** Impact de l'irrigation sur la salinisation des sols dans les palmeraies d'oued Righ. Mém. Ing. Agro, Université de Ouargla, p18
- Hassan G, Persaud N, Reneau R.B, 2005.** Utility of hydrus-2D in modeling profile soil moisture and salinity dynamics under saline water irrigation of soybean. *Soil sciences*, 170, 1, 28–37.
- HENIN S et al.1969.** Le profil cultural, l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Edition Masson et Cie.
- Hogg T. J, Henry J.L, 1984.** Comparison of 1:1 and 1:2 suspensions and extracts with the saturation extract in estimating salinity in Saskatchewan soils. *Canadian Journal of Soil Science*, vol. 64, pp 699-704.
- INSID, 2005.** Problématique de la salinité dans le périmètre irrigué du Bas Cheliff : Besoins en formation, en recherche-développement et en transferts de technologies. 25 p.

- Job J.O, Loyer J.Y, Ailoul M, 1987.** Utilisation de la conductivité électromagnétique pour la mesure directe de la salinité des sols. Cahiers ORSTOM, ser. Pédol., vol. XXIII, no 2, pp 123-131.
- Keren R, 2000.** *Salinity*. In: Sumner M.E. (Ed). Handbook of Soil Science. CRC Press, NY, USA, pp G3-G25.
- Khatir, 2002.** A combined boundary integral and vortex method for the numerical study of three-dimensional fluid flow systems
- Larson W.E et Pierce F.J, 1991.** Conservation and enhancement of soil quality. In evaluation for sustainable land management in the developing world. Vol. 2: Technical papers. Bangkok, Thailand, Inter. Board for Soil Research and Management, 1991, IBSRAM Proceedings No 12(2).
- Le Goupil J.C, 1974.** Agronomie Tropicale. Série 3: Séminaire "développement rural
- Le Houerou H.N, 1995:** Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique. Diversité biologique, développement durable et désertification. Option méditerranéenne. Série B : études et recherches n 10 ; Ciheam. Montpellier, 397 p.
- Legros J.P, 2007.** Les grands sols du Monde. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Levy G.J, 2000.** Sodicity. Sumner M.E. Ed. Handbook of Soil Science. pp 27-62.
- Loyer J.Y, 1995.** Solums salsodiques, salisols et sodisols, In referential pédologique. AFES INRA. Paris, pp: 241- 249.
- Madhava Rao K.V, Raghavendra A.S et Janardhan Reddy K, 2006.** Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. P41-99.
- Mashali, A et al. 2005.** Integrated management for sustainable use of salt-affected soils. FAO. Soils Bulletin, Rome.
- Mathieu C et Ruellan A, 1980.** Evolution morphologique des sols irrigués en région méditerranéenne semi-aride. Cahier ORSTOM, Série pédologie, 13, 3-25.
- Mathieu C, Pieltain. F, 2003.** Analyse chimique des sols, méthodes choisies. Ed. Tec & Doc, Lavoisier. 388p.

- McDonald et BNEDER, 1990.** Etude de l'avant-projet détaillé des extensions de Guerouaou et de Sebkhath Benziane et du réaménagement du Bas Chélif.
- Mckenzie R.C., Chomistek W et Clark N.F, 1989.** Conversion of electromagnetic inductance readings to saturated paste extract values in soils for different temperature, texture, and moisture conditions. *Can. J. Soil Sci.*, 69, 25-32.
- Mermoud A, 2006.** Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de lausanne, 23p.
- Messar M.F, 2007.** Thèse d'ingénieur, institut de sciences, filière: Agronomie. Traitement de quelques sols salés dans le périmètre de la MINA par voie chimique et organique, Mir publishers. Moscow.
- Naidu R, Sumner M.E et Rengasamy P,1993.** National conférence on sodic soils: summary and conclusions. *Australian Journal of Soil Research* 31, p 949–956.
- Nedjraoui D, 2003.** Country pasture, forage resource profiles. ed. FAO. Grassland and pasture crops Algérie, pp: 1-29.
- OUSTANI M, 2006.** Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques sur les propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions Sahariennes (Cas de Ouargla). Thèse Magister, Université Ouargla. 187p.
- Ozenda. P, 1982.** Les végétaux dans la biosphère. Ed : Edoin, Paris, p431.
- Pansu M, Gautheyrou J, 2003.** Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods. Ed. Springer, Berlin, 993 p.
- Rhoades J.D, 1981.** Predicting bulk soil electrical conductivity versus saturation paste extract electrical conductivity calibrations from soil properties, *Soil Science Society American Journal*, vol. 45, pp 42-44.
- Rhoades J.D, 1993.** Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. *Advances in Agronomy*, 49, pp 201-251.
- Rhoades J.D, Chanduvi F et Lesch S, 1999.** Soil salinity assessment - Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. In: FAO irrigation and drainage paper no. 57, FAO Rome (Italy), Land and Water Development Div.

- Rhoades J.D., Manteghi N.A., Shouse P.J., Alves W.J., 1989.** Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations. *Soil Science Society American Journal*, vol. 53, pp 433-439.
- Richards L. A, 1954.** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agricultural Handbook 60, Washington, USA, p. 160.
- Robert. M, 1996.** Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Ed. Masson, Paris, 244p.
- Schneider S, 2010.** Estimation des paramètres hydrodynamiques des sols à partir d'une modélisation inverse de données d'infiltration et de résistivité électrique. Thèse de doctorat, université Paris-Sud 11, 145 p.
- Scott B.J, Dani O, 2004.** Frequency Domain Analysis for Extending Time Domain Reflectometry: Water Content Measurement in Highly Saline Soils. *Soil Science Society American Journal*, vol. 68, pp 1568-1577.
- 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.
- Servant J.M, 1971.** Le profil salin des sols, méthodes d'études et signification. Application aux sols halomorphes du midi de la France. *Ann. Agro.* 24.3, 392 p.
- Servant J.M, 1975.** Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. L'exemple des sols salés du sud et du sud-ouest de la France. Thèse Montpellier, 194p, annexes.
- SIGALA et al, 1988.** Influence du sodium sur les propriétés physiques d'un sol aux niveaux textural et structural (*Options Méditerranéennes*).
- Soltner D, 1982.** Minérale des plantes cultivées. Etude et gestion des sols, pp289- 298. *phytotechnie générale. Les bases de la production végétale. Tome 2. Le climat Météorologie-Pédologie-Bioclimatologie*, ed. Sainte Gemmes sur Loire -Angers, Collection Sciences et Techniques Agricoles
- Sonmez S., Buyuktas B., Okturen F., Citak S., 2008.** Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. *Geoderma*, vol. 144, pp 361–369.

- Sumner M.E, 1993.** Sodic soils: New perspectives. Australian Journal of Soil Research 31: 683-750.
- Tabet D.H, 1999.** Intérêt d'une approche spatiale par suivi de la salinité des sols dans les systèmes irrigués. Cas de la subdivision de Panjab (Pakistan). Thèse Doctorat ENGREF, Montpellier, 435p.
- Tamazouzt, 2013.** Relation entre la conductivité électrique de l'extrait de pate saturée et la conductivité électrique des différents extraits dilués (1/1, 1/2,5, 1/5/, 1/10) des sols du Bas- Chélif « station de Hmadna ». Master 2 Académique, Université de Saad Dahlab, Blida, 36 p.
- Touaf L, 2002.** Evaluation du niveau de salinité des sols du Nord de l'Algérie. Mémoire de magister, INA, Alger, 71 p.
- U.S.S.L., 1954.** Diagnostic and improvement of saline and alkali soils, US Department of Agriculture, Handbook n°60, U. S. Gov. Print. Office, Washington DC, 159p.
- Umali D.L, 1993.** Irrigation-Induced salinity. A Growing Problem for Development and the Environment. World Bank Technical Paper N 215, Washington, 79p.
- USDA, 2010.** Keys to Soil Taxonomy. By Soil Survey Staff. Natural Resources Conservation Service. Eleventh edition, **United States Département of Agriculture.**
- WRI, 2002.** Drylands, people, and ecosystem goods and services: a web-based geospatial analysis.
- Yaggodine, 1984.** Translate from the Russian by V.G. Vopyan agricultural Chemistry.
- Yankovitch., 1968- in Marih R., 1991.** Répartition saisonnière et spatiale de la salinité au niveau de la station I.N.R.A de HAMADENA (RELIZANE).Mémoire, ing agro, INES Tiaret.
- Yazdi F.A, Khorsandi F, 2002.** Estimation of Saturated Paste Electrical Conductivity of Soils from 1:2 Soil/Water Ratio Electrical Conductivity in Yazd Province, Iran. Proceedings of the Fourth International Iran & Russia Conference, pp 534-540.
- Zahez. Ministère des ressources en eau, 19P.
- Zahez. Ministère des ressources en eau, 25P.

**Zid. E et Grignon. 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. Ed. Aupelf-Uref. John Libbey. Euro text, Paris, pp. 91-

# Annexes

## Annexes

**Tableau 01 - l'humidité relative du 04/2016 au 03/2017 de H'madena (INRAA).**

Année	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
2016				61,6	48,1	36,6	39,2	43	44,5	54,9	66,5	84,2
2017	76,5	67,2	63,6									

**Tableau 02 - la vitesse du vent du 04/2016 au 03/2017 de H'madena (INRAA).**

Année	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juill.	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
2016				8,7	9,9	11	10,6	10	8,9	8,3	10,7	6,1
2017	9,8	11,9	9,6									

**Tableau 03 - l'humidité initiale et à saturation du sol**

Points	Initiale	Teneur en eau à saturation
P1	9,944	31,304
P2	6,948	24,774
P3	13,249	36,233
P4	15,097	36
P5	19,517	30,81
P6	9,485	25,749
P7	11,47	29,068
P8	9,851	25,888
P9	15,252	29,156
P10	17,338	36,955
P11	16,994	27,907
P12	17,375	33,213

**Tableau 04- la conductivité électrique de la pâte saturée en mmoh/cm (ms/cm)**

points	CE	points	CE
P1	1,53	P7	2,29
P2	1,17	P8	1,81
P3	3,96	P9	0,78
P4	4,1	P10	0,84
P5	0,63	P11	5,48
P6	0,62	P12	1,45
<b>Moyenne</b>		2,055	
<b>C.V. %</b>		97	

**Tableau 05 - les résultats de la densité apparente et la porosité :**

Les échantillons	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Moyenne	C .V. %
<b>La densité apparente</b>	1,282	1,378	1,292	1,327	1,289	1,395	1,4	1,244	1,215	1,311	1,279	1,319	0,53	4,58
<b>la porosité</b>	0,52	0,48	0,51	0,5	0,51	0,47	0,47	0,53	0,54	0,51	0,52	0,5	0,51	4,48

**Tableau 06 - les résultats du pH des échantillons**

Les échantillons	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	Moyenne	C .V. %
<b>pH</b>	7,81	8,04	6,73	7,7	7,8	8,04	7,66	7,6	7,78	8,06	7,4	7,81	7,7025	4,7

**Tableau 07- résultats d'étalonnage de spectrophotomètre pour le sodium**

Abs Na	0	8	14	19	23
Na(mg/l)	0	7	12	16,5	20

**Tableau 08- résultats d'étalonnage de spectrophotomètre pour le potassium**

Abs K	0	22	42	60	74
C(mg/l)	0	6	11	16	20

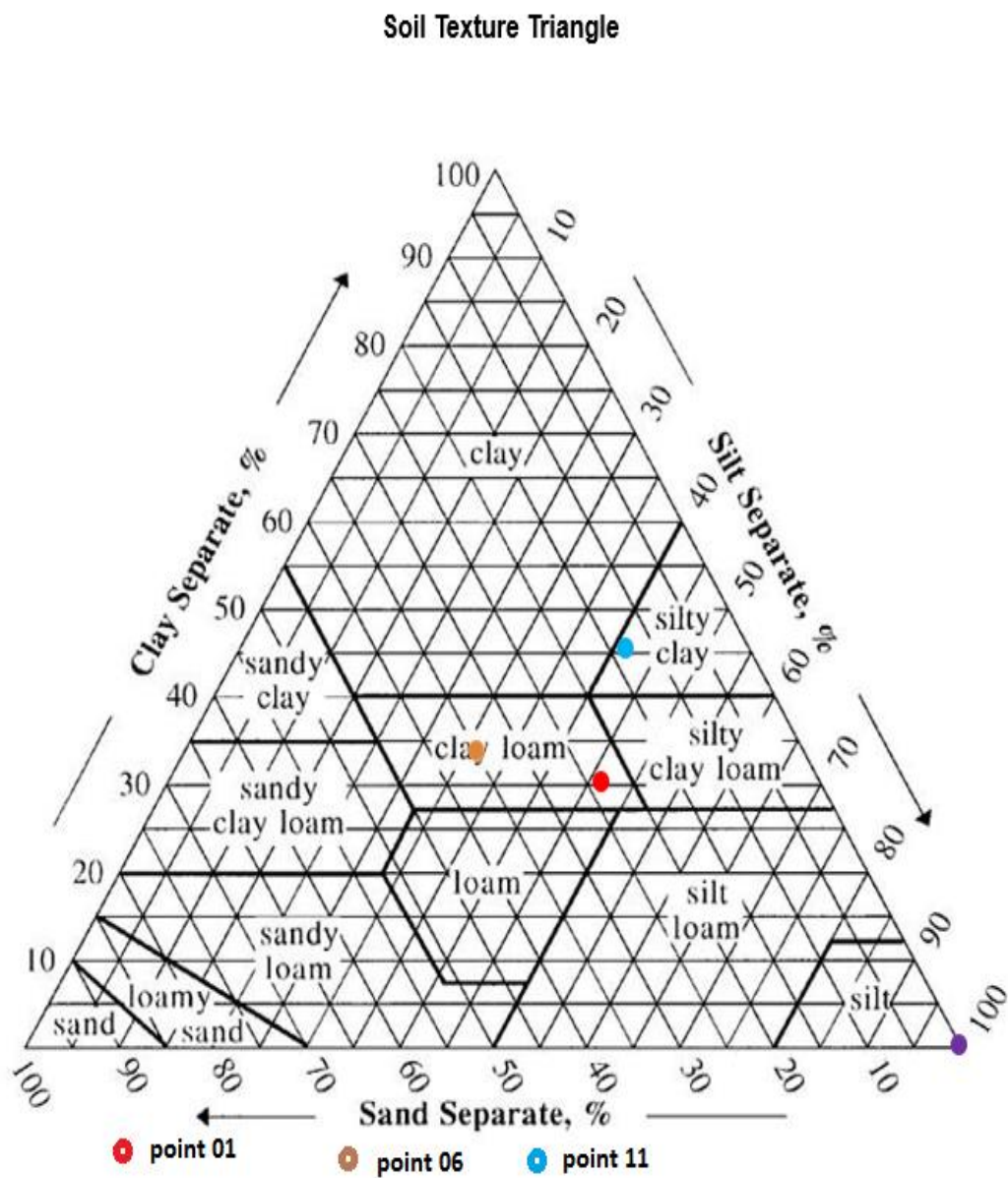
**Tableau 09 - résultats du sodium et de potassium en ppm**

Les points	Na+ (ppm)	K+(ppm)
P1	179,234	8,44059
P2	80,5684	8,19307
P3	411,253	12,6485
P4	24,884	23,6634
P5	38,8051	10,9158
P6	22,5638	14,6287
P7	51,6241	17,3515
P8	1,68213	25
P9	64,3271	7,94554
P10	2,84223	7,94554
P11	61,4269	18,0941
P12	98,0278	8,93564
Moyenne	86,43658159	13,64686469
C .V. %	130%	45,07%

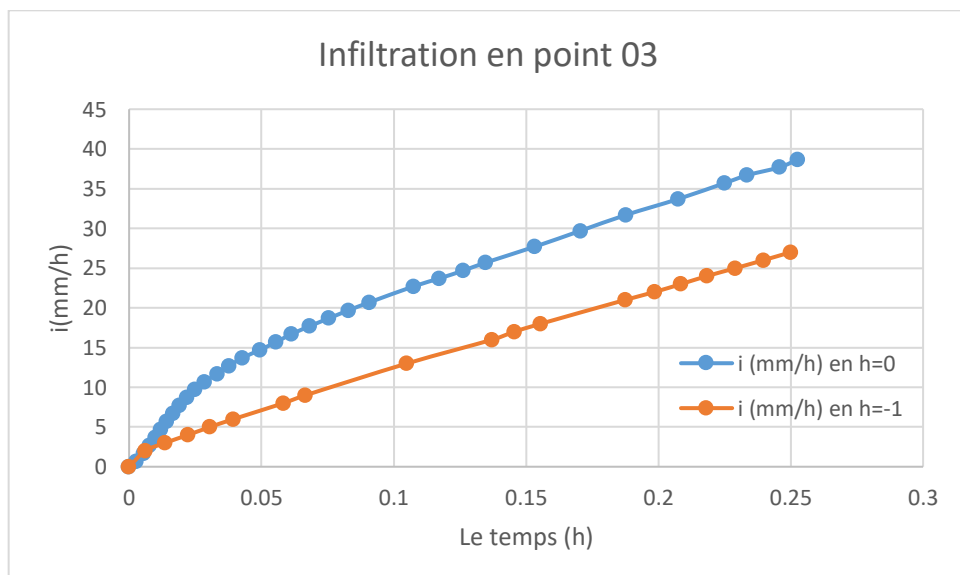
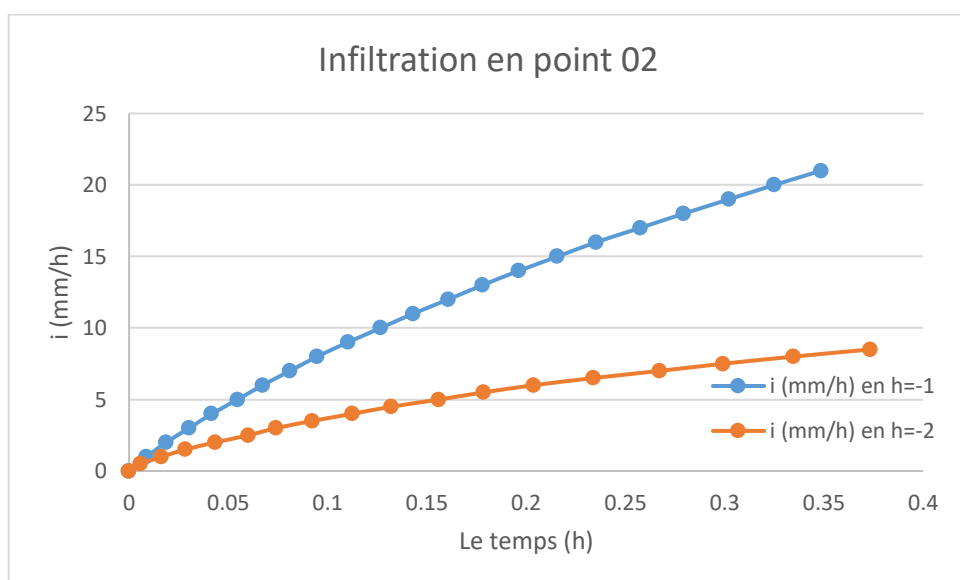
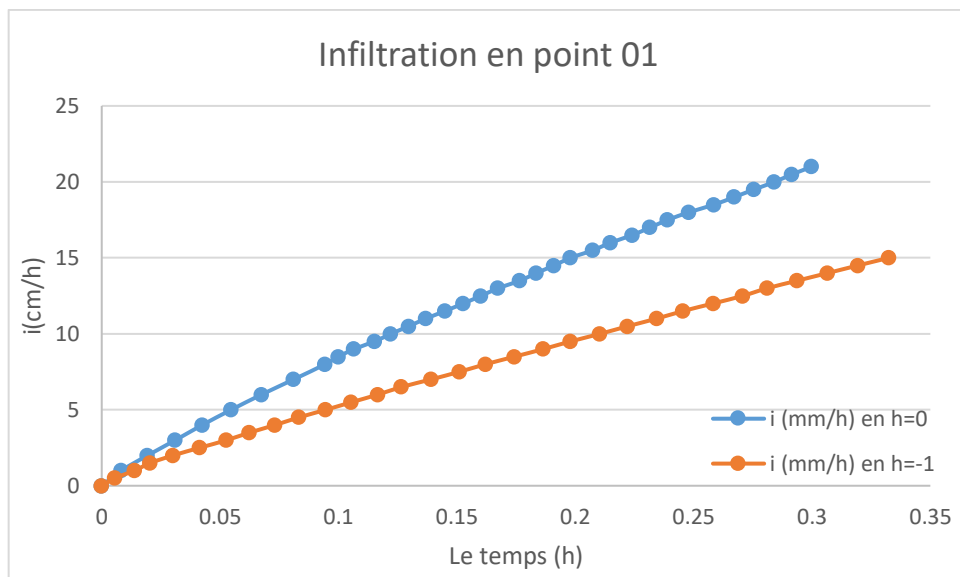
**Tableau 10- les résultats du calcaire totale et actif en %**

<b>Les points</b>	<b>calcaire total</b>	<b>calcaire total</b>
P1	20,5479	5,875
P2	18,4932	3,25
P3	21,2329	5,375
P4	20,2055	6
P5	18,4932	4,25
P6	18,4932	4,375
P7	19,1781	2,875
P8	17,4658	3.925
P9	13,6986	5,125
P10	17,8082	5,75
P11	17,4658	3,5
P12	19,5205	3,875
<b>Moyenne</b>	18,5502283	4,51
<b>C.V. %</b>	10,49	23,95

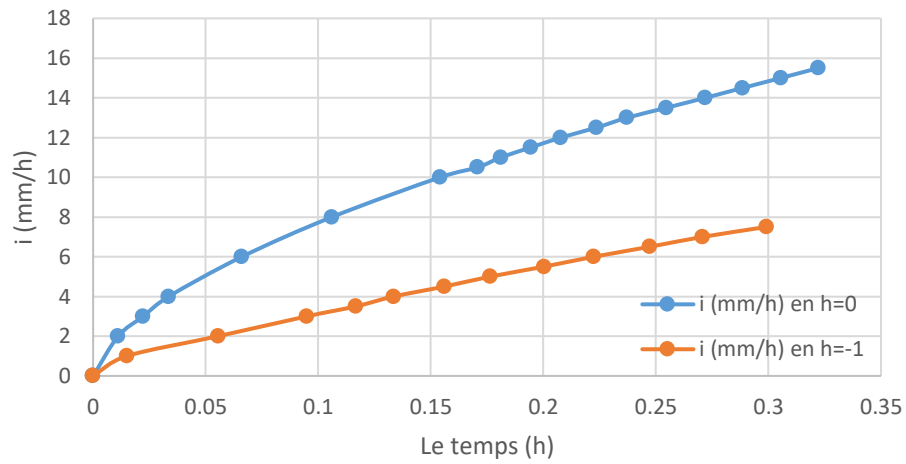
### Le triangle de la texture des points 01, 06 et 11 :



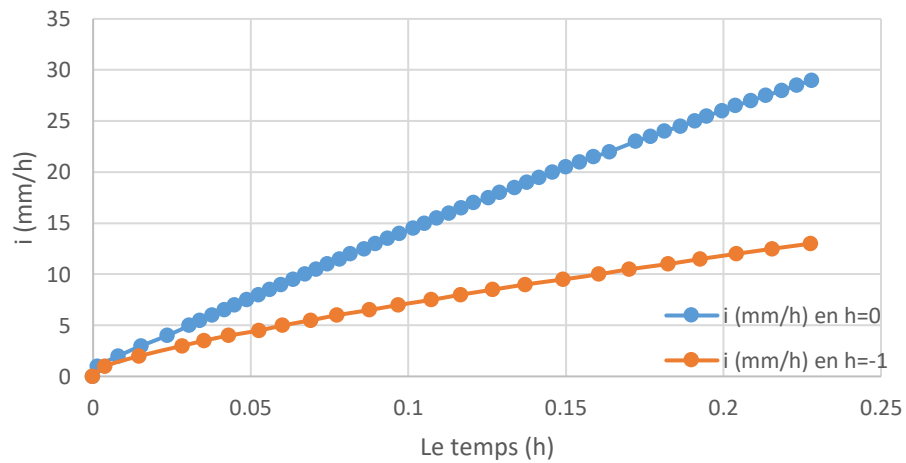
## Les résultats de l'infiltration des échantillons



Infiltration en point 04



Infiltration en point 05



Infiltration en point 06

