

Université Abdelhamid Ibn Badis-  
Mostaganem  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد ابن باديس  
مستغانم  
كلية علوم الطبيعة والحياة

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

Mémoire de fin d'études

Présenté par

**TEMAR Ilias Abdelhakim**

Pour l'obtention du diplôme de

Master en AGRONOMIE

Spécialité : *G*estion *D*urable de l'*E*nvironnement

*Thème*

***Recherche et signification de corrélations  
entre les paramètres de caractérisation d'un sol  
cultivé de la plaine de la Mina (Relizane)***

Soutenu publiquement le 21 Novembre 2016

Devant le Jury

Président	Larid Mohamed	Pr	Université de Mostaganem
Encadreur	Benkhelifa Mohammed	Pr	Université de Mostaganem
Examineur	Nemmiche Saïd	MCA	Université de Mostaganem
Invité	Kradia laïd	CR	INSID El Matmore Relizane

Thème réalisé au laboratoire régional ouest de l'INSID d'El Matmore Relizane  
Année universitaire 2016 / 2017

## ملخص

تعد التربة من الموارد الطبيعية غير المتجددة, بحيث ان الحفاظ على استعمالها الحسن في الانتاج له وظائف بيئية و إيكولوجية هامة. الاخذ بعين الاعتبار دور التربة في استعمالها يشكل عاملا هاما في التنمية المستدامة . في هذه المذكرة نهتم بالبحث عن مدى وجود ارتباطات بين العناصر المشكلة و التي تتميز بها هذه التربة لتوضيح سبب الارتباط و تبيانها.

في هذا السياق قمنا بأخذ سلسلة عينات من التربة من سهل مينا بولاية غليزان, ثم قمنا بتحليل كل عينة على حسب خصائصها. الواقع ببلدية المطمر بولاية غليزان INSID بمخبر تحاليل التربة.

النتائج التي حصلنا عليها توضح لنا خصائص تربة السهل الذي قمنا بدراسته و من خلالها استطعنا إيجاد و توضيح عدة ارتباطات . فيما بين خصائص التربة .

## Abstract

Soil is a non renewable natural resource. The preservation of their productive use, has an important environmental and ecological function. Taking account of its role in the use is an issue of sustainable development. In this work we are interested to seek and signify the correlations between parameters of soil characterization.

In this context, we have proposed to take a set of sample of the plain of Mina in Relizane to analyze each sample according to his characterization in Soil analysis laboratory INSID located in town of El-Matmar, in Relizane.

The results obtained showed the soil characterization of the studied plain which allowed us to signify several correlations between soil parameters.

## Résumé

Les sols constituent une ressource naturelle non renouvelable. La préservation de leur usage productif, a une fonction environnementale et écologique. La prise en compte de leur rôle dans l'utilisation constitue un enjeu sur le développement durable. Dans ce travail nous nous intéressons de rechercher et signifier la corrélation entre les paramètres de la caractérisation des sols.

Dans ce contexte, nous avons proposé de prélever un ensemble d'échantillon de la plaine de la Mina dans la wilaya de Relizane, afin d'analyser chaque échantillon prélevé selon sa caractérisation, au laboratoire des analyses des sols INSID situé dans la commune d'El-Matmar, à Relizane .

Les résultats obtenus ont montré les caractéristiques du sol de la parcelle étudiée, ce qu'il nous a permis de signifier plusieurs corrélations entre les paramètres de la caractérisation du sol.

## Sommaire

ملخص.....	2
Abstract.....	2
Résumé.....	2
Sommaire.....	3
Liste des tableaux.....	7
Liste des figures.....	8
Introduction.....	10
<b>Première partie – Etude bibliographique.....</b>	<b>12</b>
<b>Chapitre I – Etude bibliographique.....</b>	<b>13</b>
Description de la plaine de la Mina.....	14
Etude géographique.....	14
Etude géologique.....	15
Etude climatique.....	16
Indices climatiques.....	16
Indice d’aridité de De Martonne.....	16
Indice d’intensité de sécheresse.....	17
Précipitation.....	18
Température.....	19
Humidités relatives.....	19
Durée d’insolation.....	20
Evapotranspiration potentielle.....	20
Etude pédologique.....	21
Irrigation du périmètre.....	21
<b>Chapitre II – Caractérisation des sols du site d’étude.....</b>	<b>23</b>
Importance de la caractérisation d’un sol.....	24

Principes de l'analyse d'un sol.....	25
Sols urbains ou industriels .....	25
Sols agricoles .....	26
Méthode d'échantillonnage.....	26
Profondeur de l'échantillonnage.....	27
Technique de prélèvement des échantillons .....	27
Matériel d'échantillonnage.....	28
Période de l'échantillonnage .....	28
Exploitation des résultats .....	28
<b>Chapitre III – Paramètres de caractérisation des sols .....</b>	<b>30</b>
Caractéristiques physiques du sol .....	31
Analyse granulométrique.....	31
Domaine d'application.....	32
Dosage du calcaire total et calcaire actif .....	32
Calcaire actif .....	33
Comment mesurer le calcaire actif ?.....	34
Taux de la matière organique.....	34
Rôles des matières organiques du sol MOS.....	34
Les MOS stimulent l'activité biologique du sol.....	34
Comment mesurer les MOS.....	35
Interprétation de la teneur en MOS.....	35
Caractéristique chimiques du sol .....	35
pH d'un sol.....	36
Comment on mesure le pH d'un sol ?.....	36
pH optimal d'un sol .....	36
Conductivité électrique du sol .....	37
Intérêt de la mesure du CEC .....	39

Comment mesurer la C.E.C. ? .....	39
Methode de Métson .....	39
Méthode de Bower.....	40
Interprétation de la valeur de la CEC dans le sol.....	40
CEC et son rapport avec la composition du sol.....	40
Taux de sodium échangeable (ESP) .....	41
Taux d'absorption de sodium (SAR).....	42
Relation entre SAR et ESP .....	42
<b>Deuxième partie – Etude expérimentale.....</b>	<b>43</b>
<b>Chapitre IV – Matériels et méthodes .....</b>	<b>44</b>
Objectif de l'étude et méthodologie.....	45
Matériels .....	45
Parcelle expérimentale .....	45
Matériels de terrain .....	46
Matériels de laboratoire .....	46
pH mètre .....	46
Conductimètre de pailasse .....	47
Centrifugeuse .....	47
Spectromètre à absorption atomique.....	47
Méthodes.....	48
Méthode d'échantillonnage.....	48
Méthodes d'analyses.....	49
Conductivité électrique .....	49
pH.....	49
Calcaire total .....	49
Calcaire actif .....	50
Dosage des anions et des cations .....	50

Capacité d'échange cationique (CEC).....	51
<b>Chapitre V - Résultats et discussions .....</b>	<b>52</b>
Calcaire total et calcaire actif.....	53
Synthèse ces résultats.....	53
Discussions et conclusion .....	62
Références bibliographiques.....	64
<b>Annexes .....</b>	<b>66</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 – Valeurs mensuelles des indices de sécheresse (ONM, 2002)	18
Tableau 2 – Valeurs des précipitations moyennes annuelles (ONM., 2002).....	18
Tableau 3– Pluviométrie mensuelle de la station de Matmar pour la période 1996-2006 (ANRH, 2009) .....	19
Tableau 4 – Température moyennes mensuelles de la période 1996-2006 (ANRH, 2009)....	19
Tableau 5 – Humidités relatives moyennes mensuelles (%) (ONM Oran, 2009).....	19
Tableau 6 – Durée d’insolation durant la période 1999-2008 (ONM Mostaganem, 2009) ...	20
Tableau 7 – Valeurs de l’évapotranspiration potentielle selon Penman.....	20
Tableau 8 - Dénomination des classes granulométriques.....	31
Tableau 9 – Détermination de la qualité des sols en fonctions du calcaire total.....	33
Tableau 10 – Qualité d’un sol en fonction de la matière organique.....	35
Tableau 11 - Valeurs optimales du pH selon la texture du sol .....	37
Tableau 12- Echelle de salure en fonction de la conductivité électrique de l’extrait aqueux	38
Tableau 13- Echelle de salure en fonction de la conductivité électrique de la pâte saturée .	38
Tableau 14 - Interprétation de la valeur de CEC au sol .....	40
Tableau 15 – Coordonnées géographioques de la parcelle d’étude.....	45
Tableau 16 - Coefficients de corrélation pour les différents paires de paramètres du sol..	54

## Liste des figures

Figure 1 - Situation géographique du périmètre de la Mina .....	15
Figure 2- Digramme ombro-thermique de la station d'El-Matmar.....	17
Figure 3 : Papier tournesol avec ses différentes couleurs selon la valeur pH .....	36
Figure 4- Échange de cations entre les racines des plantes.....	39
Figure 5- Carte de la situation de la parcelle de l'étude.....	46
Figure 6 – Potentiomètre .....	46
Figure 7– Conductimètre .....	47
Figure 8 – Centrifugeuse .....	47
Figure 9– Spectromètre à absorption atomique ( $\text{Ca}^{++}$ , $\text{Mg}^{++}$ ) .....	48
Figure 10 – Spectromètre à absorption atomique flamme ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ ).....	48
Figure 11 – Schéma de la méthode d'extraction de la pâte saturée .....	49
Figure 13 - Mesure du calcaire total par la méthode de Bernard .....	50
Figure 14- Mesure du calcaire actif par titrimétrie.....	50
Figure 15 - Mesure de la CEC par la méthode de BOWER .....	52
Figure 16 - Relation entre les données du calcaire total et du calcaire actif .....	53
Figure 17 - Relation entre le SAR et la conductivité électrique.....	55
Figure 18 - Relation entre l'ESP et le SAR.....	55
Figure 19 - Relation entre l'ESP et le sodium échangeable .....	56
Figure 20 - Relation entre le SAR et le sodium échangeable.....	56
Figure 21 - Relation entre SAR et le sodium soluble.....	57
Figure 22 - Relation entre les sulfates et le sodium échangeable.....	57
Figure 22 - Relation entre sodium soluble et sodium échangeable.....	58
Figure 23 - Relation entre le chlore et le potassium échangeable.....	58
Figure 24 - Relation entre le sodium soluble et le chlore .....	59
Figure 25 - Relation entre le magnésium soluble et le sodium soluble.....	59

<b>Figure 26 - Relation entre calcium soluble et sodium soluble.....</b>	<b>60</b>
<b>Figure 27 - Relation entre le chlore et le calcium soluble.....</b>	<b>60</b>
<b>Figure 28 - Relation entre le magnésium soluble et le calcium soluble.....</b>	<b>61</b>
<b>Figure 29 - Relation entre le magnésium soluble et le chlore .....</b>	<b>61</b>
<b>Figure 30 - Relation entre le magnésium échangeable et le potassium soluble.....</b>	<b>62</b>
<b>Figure 31 - Relation entre le chlore et SAR.....</b>	<b>62</b>

## Introduction

Le sol fait partie intégrante des écosystèmes terrestres. Il constitue l'interface entre la surface terrestre et le socle rocheux. Il est subdivisé en plusieurs couches horizontales successives aux caractéristiques physiques, chimiques et biologiques spécifiques. Il assure également différentes fonctions. Du point de vue historique et utilisation, le concept de sols embrasse également les roches poreuses sédimentaires, les autres matériaux perméables, en plus de l'eau qu'ils contiennent et des réserves d'eau souterraine (CDE, 1990 ; Blum, 2001).

En agronomie, le sol est un support pour les cultures. Ainsi, il est la zone explorée et exploitée par les racines. Selon Hiltner (1904) et Lemanceau and Heulin (1998), il englobe le domaine de la rhizosphère, zone d'échanges d'ions, de compétition pour l'eau et l'oxygène où l'activité microbienne est stimulée par la libération des composés organiques.

Par ailleurs et en tant que zone travaillée par les instruments aratoires, le sol est le support des cultures. Son potentiel de production se traduit par la notion de fertilité. Cette dernière varie en fonction de ses caractéristiques intrinsèques, ces apports extérieurs (Fertilisation, amendements minéraux ou organiques et traitements phytosanitaires) et les améliorations foncières (Drainage, irrigation et sous-solage) ou des techniques culturales appropriées aux modes de cultures envisagés tels que les labours et diverses façons aratoires.

En pédologie, le sol est une zone altéritique colonisée par la biosphère. C'est une zone mince formant la partie superficielle de l'écorce terrestre affectée par les différents processus de l'altération physique ou mécanique (désagrégation), ou ceux de l'altération chimique (décomposition).

En premier lieu, le gel, la lumière, l'humidification et la dessiccation déterminent des dilatations, des contractions engendrant la fissuration des roches et à terme leur fragmentation. En second lieu, la dissolution (lixiviation), l'hydratation, l'hydrolyse, l'oxydation et la réduction, déterminent des changements de composition chimique, de structure, de porosité, de couleurs et des entraînements susceptibles (lessivage) transformant le substrat.

En tant que principal facteur de la pédogenèse, le rôle de la biosphère en général et de la végétation en particulier est déterminant, même si cette dernière est induite par l'homme. Il en résulte une très grande diversité des sols, dans leur composition et leur différenciation en horizons. A l'échelle planétaire et locale, leur distribution obéit à des principes utiles à la compréhension de la dynamique physique des paysages.

Grâce à l'analyse d'un sol, il est possible de réaliser les redressements nécessaires pour améliorer sa fertilité, raisonner et ajuster sa fertilisation et comprendre ces problèmes de culture de façon à agir avec pragmatisme.

Enfin, la caractérisation d'un sol se fait en trois étapes : d'abord le prélèvement des échantillons représentatifs dans chaque champ ou parcelle, puis l'analyse des échantillons dans un laboratoire afin de connaître de quoi il est composé ainsi que toutes les concentrations de ces éléments et enfin l'application et l'exploitation des résultats.

Ce travail a pour objectif principal la détermination des corrélations qui existent entre différents paramètres de la caractérisation d'un sol cultivé au niveau de la plaine de la Mina.

Ce document s'articule autour de deux parties :

La première est une synthèse bibliographique en trois chapitres relatant le milieu d'étude, la caractérisation des sols et les paramètres de la caractérisation des sols.

La deuxième expérimentale sera consacrée aux matériels et méthodes d'analyses avec la présentation des résultats enregistrés et leurs interprétations.

# **Première partie – Etude bibliographique**

# **Chapitre I – Etude bibliographique**

## Description de la plaine de la Mina

La plaine de la Mina est située dans l'ouest algérien et constitue la partie rive gauche de Cheliff. Elle se trouve entre le méridien  $1^{\circ}$  et  $1^{\circ}30$  et le parallèle  $35^{\circ}30$  et  $36^{\circ}$  nord.

L'oued de la Mina prend sa source sur le plateau calcaire situé entre l'extrémité ouest du Djebel Nador et Frenda à l'est des monts de Saïda à la cote de 1150m. L'écoulement de ce cours d'eau se fait vers le nord avec une pente assez faible et régulière érodant ce plateau calcaire ou marno-calcaire jusqu'à la hauteur du barrage réservoir de Bakhadda, puis il vient buter contre les dépôts miocènes formés essentiellement par des marnes et argiles.

Initialement et durant l'époque coloniale, le périmètre de la Mina était irrigué à partir de l'oued Mina à travers un réseau d'irrigation alimenté par le barrage de Bakhadda. Cependant, l'eau de qualité médiocre, répondait de moins en moins aux besoins de la population locale après l'indépendance. C'est pourquoi en 1978, le nouveau barrage de Sidi M'hammed Benaouda (Sidi Saada) a été mis en service. Il a été construit sur l'Oued de Mina en aval du barrage de Bakhadda.

À partir de ce nouveau barrage, l'eau était directement acheminée vers le périmètre à travers plusieurs ouvrages d'adduction. Ce barrage, d'une capacité de 232 millions de  $m^3$  et d'un volume régularisable de 130 millions de  $m^3$  par an, est en mesure d'alimenter le périmètre irrigué et la ville de Relizane (AEP à raison de 120 et 10 millions de  $m^3$  par an respectivement).

## Etude géographique

Le périmètre de la Mina se trouve dans le bassin inférieur de l'Oued Cheliff. Il occupe une superficie totale d'environ 13647 ha. Ce périmètre irrigué est l'un des plus anciens d'Algérie. Il fut créé en 1943. Il est situé dans la vallée de l'Oued Mina connu pour être le plus grand affluent du Cheliff.

Il est traversé par la Route Nationale n°4. La partie centrale du périmètre se trouve au nord de l'Oued Mina qui coule dans la direction nord et se jette dans l'Oued Cheliff. La partie occidentale du périmètre comprend le voisinage immédiat d'El-Matmar. La partie orientale comprend les environs de la localité d'Oued Djmaa (figure 1).



*Figure 1 - Situation géographique du périmètre de la Mina*

### Etude géologique

La plaine de la Mina est dominée au Sud, à l'Est et à l'Ouest par des massifs montagneux. La région Nord-ouest est entourée par les monts de Bel-hacel qui sont formés de grès de pliocène et de sables issus de la désagrégation de ces derniers. A l'Ouest, on trouve un affleurement de grès recouvert d'une croute calcaire sur le piedmont. Au Sud, les monts de Gerbouça sont formés de grès et de marne pliocène. A l'Est, la plaine est séparée de la vallée de la Mina par des collines formées de grès et de poudingues.

Au Sud et à l'Est, la vallée est bordée par des collines de Relizane, formées de grès et de poudingues encroutés. La partie Sud-ouest d'Oued-Djemaa est bordée par des affleurements de marnes et d'argiles du miocène qui se raccordent à la plaine de Relizane par un glacis de piedmont ancien, recouvert d'une croute calcaire.

La plaine de la Mina peut être localisée sur les cartes topographiques de l'Algérie au 1/500 000 concernant la feuille de Mascara et au 1/200 000 concernant celle d'Oran. Ses coordonnées topographiques sont :

**Abscisses :**       $x_1=283,5m$        $x_2= 322$

**Ordonnées :**     $y_1=259.0m$        $y_2=285.0m$

## Etude climatique

La plaine de la Mina est caractérisée par un climat de type méditerranéen à saison pluvieuse allant de septembre à mai et un été sec et ensoleillé. Les vents du Nord-ouest dominent toutes les saisons et les températures enregistrent de fortes variations liées à la prépondérance des effets continentaux par rapport aux influences maritimes. La pluviosité moyenne annuelle est de 400mm.

### *Indices climatiques*

#### **Indice d'aridité de De Martonne**

De Martonne (1923) a mis au point une méthode qui permet de caractériser le climat d'une région en calculant un indice I à l'aide de la formule suivante :

$$I = \frac{P}{T+10} \text{ avec :}$$

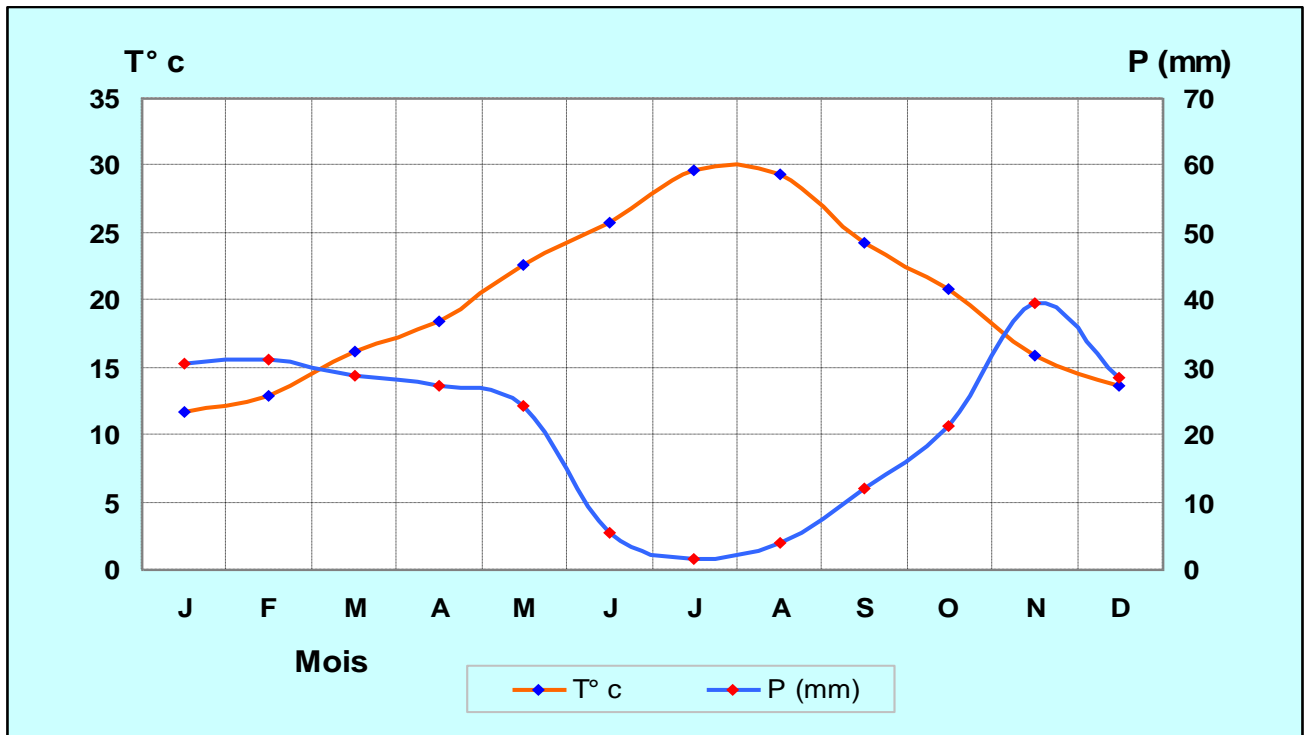
I : Indice d'aridité annuelle	Si $7,5 < I < 10$ , le climat est steppique
P : Précipitation annuelle (mm)	Si $10 < I < 30$ , le climat est semi-aride
T : Température moyenne annuelle (°C)	Si $30 < I < 50$ , le climat est tempéré

Les précipitations et la température moyenne annuelles étant respectivement de 287,1 mm et 18,3°C, l'indice d'aridité de Martonne (I) est égal ~~équivalent~~ à 10.14, ce qui confirme bien que le ~~notre~~ site d'étude est de caractère semi-aride.

#### Indice xérothermique de Gaussen

L'indice xérothermique de Gaussen s'applique surtout au climat qui comporte une saison sèche très marquée en considérant que celle-ci représente un facteur écologique défavorable à la végétation. Dans ce cas  $P \leq 2T$  avec P : précipitations totales en millimètres sur la période donnée et T : température moyenne.

Le digramme ombrothermique de la station d'El-Matmar (Figure 2) détermine, une période sèche de sept mois, qui s'étale du mois d'avril au mois d'octobre et une période humide de cinq mois, qui s'étale du mois d'octobre au mois d'avril.



*Figure 2- Digramme ombro-thermique de la station d'El-Matmar*

### Indice d'intensité de sécheresse

L'humidité atmosphérique peut compenser en partie l'absence ou la rareté des précipitations. L'intensité de la sécheresse du mois sec est définie comme étant le nombre de jours de ce mois que l'on peut considérer comme sec du point de vue biologique. Cet indice est donné par la formule de Bagnole et Gaussen :

$$X_m = J_m - (J_p - J_{br}) + J_h$$

Avec :

$X_m$  : Indice d'intensité de sécheresse du mois considéré

$J_m$  : Nombre total des jours du mois

$J_p$  : Nombre de jours de pluie du mois

$J_{br}$  : Nombre de jours de brouillard ou de rosé du mois

$J_h$  : Etat hygrométrique moyen du mois

Les données du Tableau 1, montrent que 320 jours sont en moyenne biologiquement secs durant l'année et la période xérique concerne les mois de juin, juillet, août et septembre.

Tableau 1 – Valeurs mensuelles des indices de sécheresse (ONM, 2002)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S
Nbre jours	31	28	31	30	31	30	31	31	30
Pluie, mm	8,10	11,0	9,80	8,50	9,20	2,30	0,90	1,80	2,10
Brouillard	1,80	1,60	0,8	0,6	0,3	00	00	00	00
Gelée	2,40	0,60	0,10	00	00	00	00	00	00
Rosée	8,70	9,80	10,1	5,20	2,00	0,40	0,10	00	1,00
Orage	0,60	0,70	0,80	0,90	1,70	0,90	0,60	1,00	0,80
Neige	00	0,2	00	00	0,20	00	00	00	00
Xm	24,3	21,6	25,1	28,9	28,7	29,4	30,9	30,5	29,8

### *Précipitation*

Les relevés pluviométriques de trois stations situées respectivement à Matmar, Oued Djemàa et Yellel sont présentés dans le tableau 2. Ils concernent les périodes d'observations allant de 29 à 46ans.

Tableau 2 – Valeurs des précipitations moyennes annuelles (ONM., 2002)

Station	Matmar	Oued Djemàa	Yellel
Période	1971-2002	1973-2002	1951-2002
Altitude (m)	75	78	135
Pluie/ an (mm)	267,18	281,07	324,58

Ils montrent un écart important entre les trois stations particulièrement pour la région de Yellel. Cette zone reçoit plus de pluies du fait de sa position géographique à proximité des monts de Bel-hacel. Les observations de la station de Matmar (Relizane) semblent être les plus représentatives de la zone d'étude (Tableau 3). Ces observations montrent que les pluies enregistrées entre les mois de mai et

septembre représentent 15,78% des pluies annuelles. Par contre, pour les mois allant d’octobre à avril, les précipitations enregistrent 84,22% du total annuel.

**Tableau 3**– Pluviométrie mensuelle de la station de Matmar pour la période 1996-2006 (ANRH, 2009)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S
Pluies, mm	36,6	30,7	33,7	26,1	18,2	3,8	0,9	3,0	19,4

### *Température*

Le tableau 4 donne les températures moyennes mensuelles relevées à la station météorologique de Relizane sur une période d’observation de 25 ans. Ces résultats montrent l’existence d’un écart de 19,57°C entre le mois le plus chaud (juillet) et le mois le plus froid (Janvier).

**Tableau 4** – Température moyennes mensuelles de la période 1996-2006 (ANRH, 2009)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S
Température °C	13,3	24,3	37,7	23,7	35,5	8,9	8,6	1,6	8,6
									3,3
									0,2
									19,4

### *Humidités relatives*

Les humidités relatives (HR) relevées à la station météorologique de Relizane sur une période d’observation de 25 ans (1978-2003) sont présentées au (Tableau 5).

**Tableau 5** – Humidités relatives moyennes mensuelles (%) (ONM Oran, 2009)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S
Humidité relative (%)	66	33	88	88	71	11	11	14	28
									83
									61

### *Durée d'insolation*

Les valeurs de la durée d'insolation présentées au tableau 6 proviennent de la station de Mostaganem. Le maximum d'insolation est enregistré au mois de juin et juillet avec 10,4 h/j et le minimum au mois de décembre avec 5,66 h/j.

**Tableau 6** – Durée d'insolation durant la période 1999-2008 (ONM Mostaganem, 2009)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Durée insolation (h/j)	5,16	6,33	9,00	10,66	10,48	10,40	10,39	9,79	8,00	7,44	6,06	5,66

### *Evapotranspiration potentielle*

Les valeurs de l'évapotranspiration potentielles (Tableau 7) ont été calculées avec les valeurs de Seltzer. La moyenne de l'ETP est de 1523,8mm/an (formule de Penman). La demande climatique est la plus importante en juillet-août 7,8j<sup>-1</sup>. En décembre, janvier, et février l'ETP est la plus faible 1,6mm.j<sup>-1</sup>.

**Tableau 7** – Valeurs de l'évapotranspiration potentielle selon Penman.

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Etp (mm)	4,5	6,3	9,1	13,4	17,2	21,7	21,9	22,4	18,7	15,9	12,5	9,7

Du fait de la continentalité du climat de la région, le risque de gelée existe pendant une bonne période de l'année. Les gelées qui sévissent chaque année entraînent des dégâts considérables sur les cultures. Le nombre moyen annuel de jours de gelées blanchâtres est d'environ 40.

Comme les gelées, les sirocos sont particulièrement importants. Ils se manifestent en été surtout durant les mois de juillet et août. Le nombre moyen de jours de sirocos par an est d'environ 20.

La fréquence des vents a été étudiée sur une période de dix années pour la station de Relizane et présentée sous forme de roses des vents avec l'intensité et la direction marquées à 7-13 et 18 heures.

## Etude pédologique

Le périmètre de la Mina se caractérise principalement par des sols de texture fine (argile et limon), vulnérables au phénomène de salinisation secondaire. Ils sont constitués d'alluvions. Les sols sont regroupés en différentes classes pédologiques : les sols peu évolués, les sols halomorphes, les sols hydro morphes, les sols calcimagnésiques et les vertisols.

Tous ces types de sols présentent, avec différents degrés, de fortes teneurs en particules fines liées à l'origine des ou alluvions, des caractères vertiques, des teneurs en sels élevées et des indices d'excès d'eau dans le profil. Les éléments fins dérivés de marnes ou argile tertiaire confèrent au sol de ce périmètre une cohésion et une compacité excessives. Ils présentent le plus souvent une faible teneur en matière organique qui décroît avec la profondeur pour devenir négligeable. Le pH est généralement voisin de la neutralité ou proche de l'alcalinité.

## Irrigation du périmètre

L'ensemble des canaux de la zone d'étude constitue le réseau d'irrigation. Ce dernier est dans un état de vétusté très accentué. Actuellement et malgré les interventions des services techniques d'entretien, son état de distribution s'empire d'avantage. Le taux de vétusté a atteint un seuil critique qui perturbe la conduite de l'irrigation.

Le périmètre de la Mina est alimenté par les lâchées effectuées à partir du barrage Sidi M'Hammed Benaouad ainsi que par les eaux non régularisées de Oued Mina. Ces lâchées sont dérivées en tête du réseau par un barrage réservoir qui alimente un réseau gravitaire et une station de pompage qui refoule l'eau dans un réseau situé en amont.

Placés au niveau des rives gauche et droite, des adducteurs en canaux autoportés font transiter l'eau dans les parcelles.

C'est le système gravitaire qui est le plus couramment utilisé. Enfin, deux modes d'arrosages prédominent à savoir :

- L'infiltration pour les agrumes et les arbres fruitiers.
- Et la submersion par bassins pour les céréales et les plantes fourragères.

En conclusion, le climat de la région d'étude est situé dans l'étage bioclimatique semi-aride à hiver doux. Il est caractérisé par une pluviosité insuffisante, inférieure à 300 mm, et mal répartie dans le temps et dans l'espace.

D'un point de vue pédologique, les sols de la Mina sont constitués d'alluvions colluviaux.

Sur le plan géologique, la plaine de la Mina est une zone limitée par des massifs montagneux.

Enfin, l'alimentation en eau du périmètre se fait à partir du barrage Sid Saada et l'irrigation pratiquée est gravitaire

# **Chapitre II - Caractérisation des sols du site d'étude**

Une connaissance des sols d'une exploitation est riche d'enseignements. Par exemple, la fertilité et le potentiel du sol vont en effet dépendre de l'épaisseur (terre arable et horizons inférieurs), des matériaux rencontrés (limon, sable, argile, cailloux...) et de la richesse en éléments nutritifs (N, P, K, matière organique, oligo-éléments...). Optimisée sur le plan technico-économique, une fertilisation se raisonne en fonction des cultures présentes mais également selon la fertilité et le potentiel de productivité d'une parcelle. Le type de sol va également conditionner son ressuyage, sa praticabilité, ses besoins en termes de travail du sol (dates des labours, ...) ou d'irrigation (réserve utile).

Les pratiques culturales doivent donc être adaptées le mieux possible à la variabilité des sols d'une exploitation, qu'elle soit inter parcellaire voire même intra parcellaire.

La caractérisation d'un sol joue un rôle important en production végétale ainsi que dans la gestion des éléments nutritifs. Elle constitue le meilleur moyen de bien planifier les applications d'engrais pour les exploitations agricoles qui utilisent des engrais commerciaux comme source principale d'éléments nutritifs. Dans le cas des fermes d'élevage, il est particulièrement important de connaître la teneur initiale du sol en éléments nutritifs. C'est à partir de cette dernière qu'on peut alors dresser le plan de gestion des éléments nutritifs ainsi de mieux gérer à la fois les éléments nutritifs que la ferme produit et ceux qu'elle reçoit sous forme de bio solides et d'engrais commerciaux (Laetitia et al., 2008).

## **Importance de la caractérisation d'un sol**

Selon BIPEA (1970), une caractérisation d'un sol est couramment pratiquée pour connaître les potentialités d'exploitation durable (ou soutenable) du sol de façon à économiser et gérer les pertes par érosion et de protéger l'environnement :

Sur des sols agricoles, on s'intéresse aux nutriments NPK, au pH, à la structure du sol, à sa granulométrie, ses capacités de rétention de l'eau et éventuellement aux éléments traces métalliques, etc.(Baize., 2007).

Sur les sols pollués ou suspectés d'être pollués, on recherche par exemple des traces d'hydrocarbures, de dioxines, de furanes, de PCB, de métaux lourds, de radionucléides, de biocides, etc.

Sur des sols divers, pour disposer d'un référentiel (éventuellement pédogéologique).

Par ailleurs, l'étude d'une caractérisation d'un sol a pour objectifs de :

- Connaître de manière exacte la nature et le niveau de la pollution et, le cas échéant, établir si elle constitue une menace grave ;
- Déterminer la nécessité d'assainissement et le délai de sa réalisation ;

- Fournir les éléments nécessaires à la réalisation des actes et travaux d'assainissement en délimitant les poches de pollution, le volume du terrain à assainir et le pourtour des eaux souterraines à assainir.
- Décrire et localiser de façon détaillée la pollution du sol afin se prononcer sur la nécessité et les modalités d'un assainissement du terrain (UWDE ,2015).

## Principes de l'analyse d'un sol

Les méthodes d'analyses du sol sont normalisées. Les résultats doivent être comparables entre laboratoires agréés. L'étape de préparation de l'échantillon n'est pas prise en compte dans l'agrément ministériel et elle peut avoir une influence sur le résultat d'analyse notamment avec des sols calcaires. L'accréditation COFRAC (?) intègre cet aspect, ce qui garantit la qualité et l'équivalence des résultats entre les laboratoires accrédités. Par ailleurs, le marché de l'analyse des sols dans les laboratoires agréés est très concurrentiel mais il existe de grandes disparités dans les volumes d'échantillons traités.

L'analyse de la biomasse microbienne se traduit par la mesure du carbone microbien. Elle permet ainsi d'appréhender l'effet d'un changement de pratique agricole sur l'activité biologique du sol (apport organique, travail du sol...). Par le fractionnement de la matière organique, celle-ci est caractérisée en séparant la fraction stable (< 50 µm) de la fraction labile (> 50µm) par tamisage. Cet indicateur permet de définir le choix de l'amendement organique.

Par la minéralisation du carbone, il s'agit de mesurer la quantité de carbone minéralisée. Extrapolée sur une année, il est possible de déterminer la quantité de carbone minéralisée annuellement et de calculer le bilan humique de la parcelle. Mesurer la quantité d'azote minéralisée en conditions contrôlée, de la même manière permet de déterminer la quantité d'azote fournie par la minéralisation du sol, en une année par extrapolation.

Une analyse chimique de base comprend la mesure du pH de l'eau, du pH KCl, de la matière organique, du calcaire total, du phosphore (plusieurs méthodes sont utilisées pour ce dosage : Olsen, Jobert-Hébert ou encore Dyer) et les cations échangeables (K<sub>2</sub>O, MgO, CaO). Les oligoéléments sont également analysés (Gobat et al., 2010)

### Sols urbains ou industriels

Le protocole d'échantillonnage exige généralement de prendre plusieurs prélèvements, qui seront mélangés avant leur analyse.

Quelques analyses peuvent être faites in situ au moyen par exemple d'indicateurs colorés (pH) ou d'outils de mesure ad hoc.

Depuis quelques années, des matériels portables plus sophistiqués peuvent produire des analyses de sol in situ notamment:

- des analyseurs de type X ray fluorescence,
- des matériels de spectroscopie sur plasma induit par laser (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) (Gobat et al., 2010).

## Sols agricoles

Des échantillons de sol sont prélevés à l'aide d'une tarière. Un laboratoire analyse ces échantillons et détermine ces paramètres physico-chimiques. Ensuite, il fournit les résultats des analyses et propose des conseils en fonction de ces résultats et du système de culture (grandes cultures, maraîchage, horticulture, viticulture, arboriculture, sylviculture, pâtures ,reliquats d'azote minéral, sols sportifs ou espaces verts) (Gobat et al., 2010).

## Méthode d'échantillonnage

L'analyse de sol se fait en trois étapes : d'abord le prélèvement d'un échantillon représentatif dans chaque champ ou parcelle, puis l'analyse de l'échantillon afin de connaître les quantités d'éléments nutritifs disponibles, et enfin, l'utilisation des résultats pour établir les doses optimales d'engrais. La tenue de registres fait partie intégrante du processus d'analyse de sol. Les registres permettent de vérifier si la teneur du sol en certains éléments augmente, diminue ou demeure stable (Keith Reid, 2015).

L'échantillon de sol envoyé au laboratoire doit peser autour de 400 grammes. Il doit cependant être représentatif de 20 000 tonnes de sol, soit la quantité contenue dans 10 ha. Enfin, il doit être effectué rigoureusement (Keith Reid, 2015).

Le choix de la zone de l'échantillonnage peut influencer grandement sur l'exactitude de l'analyse d'un sol. Il est relativement simple de prélever un échantillon dans chacun des champs lorsque ceux-ci occupent une faible superficie. Par contre, les champs très étendus doivent être divisés en zones d'échantillonnage de plus petites dimensions. Il est important de s'assurer que chaque secteur d'échantillonnage est uniforme et distinct de ceux qui sont de toute évidence différents.

La fertilité du sol peut varier selon la composition de la roche-mère, la texture du sol, la quantité d'éléments nutritifs prélevés par la culture ou la topographie. Toutefois, la plupart des différences de

fertilité sont attribuables aux applications antérieures d'éléments nutritifs, sous forme d'engrais ou de fumier. Si la variabilité est faible, on peut regrouper plusieurs carottes de terre dans un seul échantillon. Par contre, en présence de fortes variations, il est recommandé de prélever des échantillons distincts. Si les limites précédentes des champs sont connues, on peut s'en servir pour diviser les plus grands champs en plus petites parcelles. Lorsqu'on ne connaît pas ces limites, on peut alors subdiviser ou diviser les champs en fonction du type de sol ou de la topographie. Aucun échantillon global ne devrait représenter plus de 10 hectares.

Il n'existe pas de superficie minimale pouvant être représentée par un échantillon. Il est donc permis, mais non obligatoire aux fins de la gestion des éléments nutritifs, d'avoir recours à l'échantillonnage de précision, à l'échantillonnage adapté à chaque site ou à l'échantillonnage en grille.

Les échantillons provenant de parcelles dont la composition diffère de toute évidence du reste du champ ne doivent pas être regroupés dans l'échantillon composite du champ. On doit donc éviter de les prélever dans les dérayures, les zones érodées, les allées ou à l'emplacement d'anciens tas de fumier ou de chaux. Si ces zones sont suffisamment étendues, il est recommandé d'y prélever des échantillons et de les faire analyser, de façon distincte. (Bourguignon et Lydia., 2008)

### Profondeur de l'échantillonnage

Dans le cas des analyses visant la gestion des éléments nutritifs, on prélève normalement les échantillons à une profondeur d'environ 15 cm, étant donné que la majorité des racines se développent jusqu'à cette profondeur et que le travail du sol assure le mélange des éléments nutritifs jusqu'à environ 15 cm. Comme les couches inférieures du sol contiennent habituellement beaucoup moins d'éléments nutritifs, un échantillonnage plus profond risquerait de ne pas être représentatif du sol.

La profondeur du prélèvement demeure la même dans le cas des systèmes de semis direct, bien que les éléments nutritifs ne soient plus incorporés mécaniquement au sol. La profondeur peut cependant varier dans le cas des mesures de pH. Il peut en effet être plus approprié de prélever un échantillon près de la surface (5 cm), en vue d'évaluer l'acidification de la couche superficielle du sol lorsque de l'azote est appliqué en surface. Ne pas utiliser ces échantillons par contre pour les analyses d'éléments nutritifs, sous peine de surestimer la disponibilité des éléments nutritifs du sol ( Keith Reid,2015).

### Technique de prélèvement des échantillons

Pour qu'un échantillon de sol soit représentatif, il doit contenir suffisamment de sol prélevé au hasard un peu partout dans toute la zone échantillonnée. Un nombre insuffisant de sol augmente le risque qu'un sous-échantillon non représentatif qui fausse l'ensemble des résultats. Un échantillonnage non

aléatoire augmente les risques que les résultats soient biaisés. Selon Keith Reid (2015), le meilleur moyen de prélever un échantillon aléatoire est de parcourir le champ en zigzag.

### Matériel d'échantillonnage

On peut prélever les échantillons du sol à l'aide d'une pelle ou d'une bêche, mais il est beaucoup plus efficace d'utiliser une sonde d'échantillonnage ou une tarière. Ces outils doivent être en acier inoxydable, surtout si les échantillons sont analysés pour leur teneur en oligoéléments. Enfin on met chaque échantillon dans un sac d'échantillonnage bien identifié ( Keith Reid,2015).

### Période de l'échantillonnage

Le pH et la composition du sol varient au cours d'une année, en raison surtout de l'humidité du sol. Ces différences ne sont pas suffisamment importantes ni assez constantes pour avoir un effet sur le plan de caractérisation de sol. Mais le fait de prélever les échantillons d'un sol à la même période de l'année élimine les variations saisonnières dans les comparaisons des résultats d'analyse d'une fois à l'autre. Par ailleurs, le plus important, c'est que si les échantillons sont prélevés immédiatement après la récolte, on obtiendra les résultats suffisamment à l'avance pour planifier le programme de fertilisation de la prochaine culture (Keith Reid,2015).

### Exploitation des résultats

Les résultats des analyses d'un sol servent à élaborer le plan de gestion de ce champ. Ils permettent de comparer les résultats aux recommandations de fertilisation du laboratoire afin d'établir les doses d'engrais à appliquer. Ils peuvent aussi être intégrés ~~entrés~~ dans un programme informatisé de gestion des composants du sol, afin que les taux d'application soient calculés en tenant compte de toutes les sources d'éléments existants.

Il est également utile de sauvegarder les résultats d'analyse afin de les comparer aux résultats des années antérieures. Il est plus facile d'évaluer l'efficacité de l'ensemble du programme de fertilisation ou du plan de gestion des éléments composants du sol si l'on peut suivre l'évolution des niveaux de fertilité du sol.

Il faut toujours pondérer les résultats en fonction de la superficie représentée par chaque échantillon. Pour ce faire, on multiplie le résultat d'analyse d'un paramètre obtenu pour un échantillon par le nombre d'acres représentés par cet échantillon. On fait ensuite la somme des produits obtenus pour l'ensemble des échantillons et on divise cette somme par le nombre total d'acres du champ afin d'obtenir

une moyenne pondérée pour tout le champ. Cette méthode permet d'éviter qu'un seul échantillon représentatif d'une petite parcelle fausse les résultats lorsqu'il est très différent du reste du champ.

Lorsque les résultats d'échantillonnage sont combinés pour établir un plan pour ~~de~~ caractériser les éléments de sol, la méthode qui est utilisée doit être notée dans le plan, afin que toute personne qui consulte ce plan puisse être en mesure de comprendre comment les chiffres ont été obtenus (Keith Reid, 2015).

# **Chapitre III - Paramètres de caractérisation des sols**

## Caractéristiques physiques du sol

Cette caractérisation comprend 4 déterminations principales : l'analyse granulométrique, le dosage du calcaire total et du calcaire actif et le taux de matière organique (UNIFEA, 2005).

### Analyse granulométrique

Les particules minérales constituant d'un sol peuvent être isolées, triées et classées suivant leur taille. C'est le principe de l'analyse granulométrique. Les limites de différentes classes de taille sont conventionnelles et sont choisies en fonction de l'objectif de connaissance. Les agronomes ont défini des limites de classes granulométriques correspondant à des comportements physiques différents pour chaque classe (par exemple rôle « actif » des argiles, instabilité des limons...). D'autres utilisateurs mettent en œuvre des limites de classes très différentes (par exemple, les Laboratoires des Ponts et Chaussées).

En agronomie, les limites de classes et leurs dénominations sont les suivantes : l'analyse portant sur la seule fraction de terre fine du sol, soit les éléments de taille inférieure à 2mm. Les éléments grossiers n'entrent pas dans la composition granulométrique d'un sol cultivé (Duchafour., 1989). Le tableau 8 illustre la dénomination des classes granulométriques.

**Tableau 8 - Dénomination des classes granulométriques**

Dénomination en 5 classes	Argile	Limons fins	Limons grossiers	Sables fins	Sables grossiers
Limites de taille ( $\mu\text{m}$ )	< 2	2 à 20	20 à 50	50 à 200	200 à 2000
Dénominations en 3 classes	Argile	Limons totaux		Sables totaux	
Limites de taille ( $\mu\text{m}$ )	< 2	2 à 50		50 à 2000	

- Les argiles

Selon l'étude granulométrique, on entend par argile la fraction de diamètre des particules inférieure à  $2\mu\text{m}$ . Les argiles granulométriques ne sont pas que des argiles minéralogiques ; il y a aussi de la calcite très fine, du quartz, des oxydes de Fer etc..... (Duchafour.,1989).

- Les limons

C'est l'ensemble des éléments minéraux dont le diamètre est compris entre 20 et  $50\mu\text{m}$ . Le terme limon est utilisé de façon équivoque car il désigne, selon les cas, la fraction siliceuse ou un mélange à dominance siliceuse, d'argile, de limon et de sables (Musy et Soutter, 1991).

- Les sables

Les sables sont formés de fragments minéraux les plus résistants à l'altération. Le minéral dominant étant le quartz. Selon le diamètre, cette fraction peut aussi se diviser en deux catégories: les sables grossiers avec un diamètre compris entre 2mm et 0,2mm et les sables fins avec un diamètre compris entre 0,2 mm et 0,05mm (Peter Gaudet, 2006).

### Domaine d'application

Cette méthode est utilisée pour déterminer la granulométrie dans les sols, les sédiments et les déchets solides. Le domaine d'application se situe entre 0 $\mu$ m et 2 360  $\mu$ m (CEAEQ, 2015).

- **Méthode par tamis** : Une portion d'échantillon est séchée et séparée par vibration sur une série de tamis superposés. Par la suite, le contenu de chaque tamis est pesé et la fraction d'échantillon recueillie par tamis est rapportée sur la quantité d'échantillon totale.
- **Méthode hydrométrique** : Une portion d'échantillon séchée est mélangée à un volume d'eau contenant un agent dispersant, lequel est ensuite introduit dans un cylindre.

La densité du mélange est mesurée à l'aide d'un hydromètre à divers intervalles de temps. La densité obtenue en fonction du temps de sédimentation permet d'obtenir la portion d'échantillon ayant une granulométrie inférieure à 75  $\mu$ m. Après la mesure finale, l'échantillon est passé à travers une série de tamis pour déterminer la granulométrie supérieure à 75  $\mu$ m. (CEAEQ, 2015).

### Dosage du calcaire total et calcaire actif

Le calcaire total est une des composantes héritées du sol, éventuellement légèrement modifiable par apports massifs et répétés d'amendements basiques.

La présence de calcaire confère au sol des caractéristiques spécifiques en termes de comportement physique et chimique et influe sur son activité biologique. Son absence totale a pour conséquence une acidification progressive, plus ou moins rapide suivant le contexte pédoclimatique, qu'il est nécessaire de compenser par des apports réguliers d'amendements basiques (chaulage),(Jenny Hans., 1941).

L'analyse du calcaire total est nécessaire pour affiner la caractérisation des constituants du sol et améliorer les choix stratégiques en termes de chaulage. Comme la granulométrie, c'est une caractéristique stable du sol, qu'il n'est pas utile de mesurer à chaque analyse, pour peu que la zone de prélèvement soit stable et correctement repérée (Hans., 1941).

La terre est mise en contact avec un acide fort qui dissout le calcaire en milieu fermé. L'attaque du calcaire (CaCO<sub>3</sub>) se traduit par un dégagement gazeux de CO<sub>2</sub> dont le volume est mesuré. Cette méthode

d'analyse courante est décrite dans la norme internationale NF ISO 10693. Quelques éléments d'interprétation de la teneur en calcaire total (tableau 9).

Le caractère plus ou moins calcaire du sol est qualifié comme suit : Il apparaît sous la forme d'un commentaire sur les rapports de résultats d'analyses.

**Tableau 9** – Détermination de la qualité des sols en fonctions du calcaire total

Taux de CaCO <sub>3</sub> Total à l'analyse	Qualification du sol
CaCO <sub>3</sub> T ≤ 5%	Sol non calcaire
5 < CaCO <sub>3</sub> T ≤ 12,5%	Sol faiblement calcaire
12,5 < CaCO <sub>3</sub> T ≤ 25%	Sol modérément calcaire
25 < CaCO <sub>3</sub> T ≤ 50%	Sol fortement calcaire
CaCO <sub>3</sub> T > 50%	Sol très fortement calcaire

Au-delà de 5% de calcaire total, les réserves naturelles de ce calcium et leur libération progressive par dissolution sous l'effet des précipitations et de l'activité chimique et biologique du sol rendent inutile tout retour au chaulage sur le très long terme. Les sols sont systématiquement basiques (sauf très rares exceptions sur les calcaires très durs et peu solubles) (Hans., 1941).

### Calcaire actif

Le calcaire actif est la fraction du calcaire total susceptible de se dissoudre facilement et rapidement dans la solution du sol. Elle correspond à la fraction fine au plan granulométrique (taille des argiles, soit moins de 2µm). Elle permet de maintenir une saturation calcique élevée de la CEC et, indirectement, un pH basique stable.

La détermination du calcaire actif constitue un bon indice pour guider les arboriculteurs et les viticulteurs à choisir les porte-greffes les mieux adaptés à leurs sols (Baize., 1988).

La présence de calcaire actif peut induire, dans certains sols pauvres en fer libre, un risque de chlorose ferrique, auquel certaines productions sont sensibles. C'est le cas en horticulture (fraise par exemple), en arboriculture ou en viticulture.

Dans certains cas, il peut être utile de doser, dans le même extrait, la teneur en fer, ce qui permet de calculer l'indice de pouvoir chlorosant (diagnostic essentiel pour le choix du porte-greffe en viticulture) (Laetitia et al., 2008 ).

## Comment mesurer le calcaire actif ?

La terre est mise en contact avec un réactif spécifique (oxalate d'ammonium), qui attaque une fraction du calcaire total seulement. Le calcium extrait est ensuite dosé. Cette méthode d'analyse courante est décrite dans la norme AFNOR NF X31-106.

Le risque de chlorose ferrique est significatif pour une teneur en calcaire actif supérieure à 6% et devient très important au-delà d'une teneur de 10% (Laetitia et al., 2008).

## Taux de la matière organique

Le terme matière organique regroupe une somme importante et hétérogène de substances et composés carbonés d'origine végétale et animale : des débris en cours de décomposition issus de la végétation (sarments, feuilles, racines, herbe) qui constituent la litière du sol, jusqu'à l'humus stable solidement fixé aux particules d'argile qui garantit la pérennité structurale. Il est ainsi plus juste de parler des matières organiques du sol (MOS). Les MOS sont essentiellement localisées dans l'horizon superficiel du sol (0-20 cm) (Dabin.,1971).

## Rôles des matières organiques du sol MOS

Les matières organiques dans le sol (MOS) ont un rôle primordial dans le comportement global du sol :

Vis à vis de la qualité physique du sol, elles sont le liant des particules minérales (argiles, limons et sables) à travers le complexe argilo-humique et de ce fait, ils participent à la qualité de la structure du sol et à sa stabilité vis à vis des agressions extérieures (pluie, compaction entraînées par le passage d'engins agricoles...)

Les MOS assurent le stockage et la mise à disposition pour la plante, par minéralisation, des éléments dont elle a besoin.

## Les MOS stimulent l'activité biologique du sol

Elles ont un rôle fondamental au niveau environnemental en retenant les micropolluants organiques et les pesticides. L'augmentation de leur temps de passage dans le sol permet d'améliorer leur dégradation par les micro-organismes. Selon Dabin (1971), elles participent au maintien de la qualité de l'eau.

## Comment mesurer les MOS

La détermination du taux de matière organique d'un sol est réalisée indirectement, à partir du dosage de la teneur en carbone organique, suivant la méthode normalisée internationale NF ISO 14235. Le taux de matière organique est calculé en multipliant la teneur en carbone par un coefficient stable dans les sols cultivés régionaux, fixé à 1,72 ( $MO = C \times 1,72$ ).

La matière organique ne se « lessive » pas en profondeur, mais peut être diluée par les travaux profonds du sol. Le prélèvement ne doit donc pas être réalisé au-delà de la profondeur de ces travaux. Mieux vaut prélever moins profondément que dépasser cette profondeur (Baize., 1988).

## Interprétation de la teneur en MOS

Pour les prairies permanentes (Legros, 2007)

$MO < 40\%$  ▶ teneur modérée en MO

$40\% \leq MO < 80\%$  ▶ sol bien pourvu en MO

$MO \geq 80\%$  ▶ teneur élevée en MO

- Pour toutes les cultures (y compris prairies cultivées) :

**Tableau 10** – Qualité d'un sol en fonction de la matière organique.

Teneur en MO	Interprétation	
$MO < 14\%$	Sol très pauvre en MO	
$14\% \leq MO < 20\%$	Sol pauvre en MO	
$20\% \leq MO < 30\%$	Argile < 22%	Sol bien pourvu en MO
	$22\% < ARG < 30\%$ (ou teneur en argile inconnue)	Sol moyennement pourvu en MO
	Argile > 30%	Sol pauvre en MO
$30\% \leq MO < 40\%$	Sol pourvu en MO	
$MO \geq 40\%$	Teneur élevée en MO	

## Caractéristique chimiques du sol

La caractérisation chimique du sol a pour but d'évaluer les quantités d'éléments nutritifs que le sol est capable de mettre à la disposition des plantes. Elle comporte la détermination du pH, de la conductivité électrique, le bilan ionique des éléments nutritifs et la capacité d'échange cationique (C.E.C).

### *pH d'un sol*

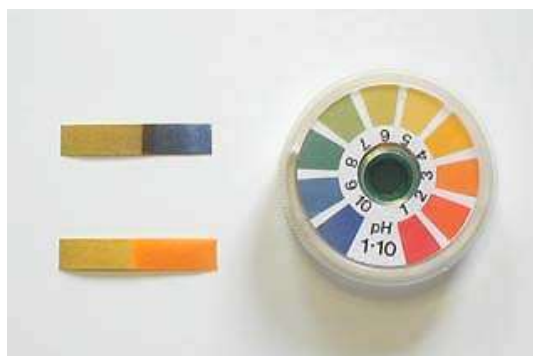
Le pH est un coefficient qui caractérise l'acidité d'un sol, due à la présence d'ions H<sup>+</sup>, ou la basicité. Il définit la concentration d'ions H<sup>+</sup> dans la phase liquide du sol. Le pH varie de 0 à 14 et la neutralité est atteinte lorsque le pH est égal à 7. Selon Viaux (1981), on peut classer les sols selon leur acidité de la manière suivante :

- pH < 4,5 : sols très acides ;
- 4,5 < pH < 6 : sols faiblement acides ;
- 6 < pH < 7 : sols équilibrés permettant une bonne alimentation minérale ;
- pH > 7 : sols calcaires et /ou salés.

### *Comment on mesure le pH d'un sol ?*

La méthode la plus exacte pour mesurer le pH du sol consiste à utiliser un pH mètre électronique qui donne directement la valeur du pH quand on plonge des électrodes en verre dans une solution obtenue en mélangeant une part de l'échantillon du sol avec deux parts d'eau distillée.

Pour avoir une idée générale du pH d'un sol, on peut utiliser directement du papier de tournesol (Figure 3) et des révélateurs de couleur.



*Figure 3 : Papier tournesol avec ses différentes couleurs selon la valeur pH*

### *pH optimal d'un sol*

Le taux d'acidité optimal va dépendre du type de sol et des rotations pratiquées. Le tableau 11 présente un aperçu des valeurs des pH optimaux pour tous types de sols.

**Tableau 11** - Valeurs optimales du pH selon la texture du sol

Sol sableux	5 à 6
Sol sablo-limoneux	6 à 6,5
Sol limoneux	6,5 à 7
Sol argileux	7 à 7,5

Le pH optimal du sol varie, aussi selon l'espèce de légume cultivée. Par exemple, les pommes de terre démontrent une croissance optimale en cas de pH extrêmement bas. Les asperges et les poivrons par contre, exigent un sol moins acide.

### Conductivité électrique du sol

C'est le total des sels solubles de la solution d'un sol qui est évaluée à partir de l'extrait de la pâte saturée ou de l'extrait dilué au 1/5 ; exprimée en déci-Siémens par mètre ( $\text{dS.m}^{-1}$ ) à 25°C (Auberte, 1988).

Dans les sols salés, la pression osmotique augmente au fur et à mesure que la concentration en sels est plus grande. Dans ce cas, tous les sels contribuent à l'augmentation de la pression osmotique. Une pression osmotique importante perturbe la nutrition des plantes en affectant les fonctions de nutrition des racines.

Pour évaluer la pression osmotique, on peut faire appel à une fonction linéaire qui est souvent rapporté dans la littérature entre cette dernière et la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (Kenfaoui, 1997).

$$PO = K \cdot CE ;$$

Avec :

PO : Pression osmotique

CE : Conductivité électrique de l'extrait saturé ( $\text{dS.m}^{-1}$ )

K : Coefficient variable suivant la nature du sol.

Généralement le rapport entre la conductivité électrique et la concentration ionique s'exprime par approximation de la façon suivante :

$$1\text{dS/m} = 1\text{dS.m}^{-1} = 640 \text{ mg de sels}$$

Ou 1ppm = 1mg/l correspond à la concentration en solide dissous.

L'activité ionique d'une solution varie en fonction de la température. Il convient donc, pour effectuer des mesures précises, de tenir compte de la température dans les mesures de la conductivité. La température standard est généralement prise à 25°C.

- Echelle de salure (Tableaux 12 et 13) en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 :

Echelle européenne.

- Echelle de salure en fonction de la conductivité électrique de la pâte saturé (classification la plus couramment utilisée) : US salinity laboratory .

**Tableau 12-** Echelle de salure en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux

Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
CE 1/5 dS.m <sup>-1</sup>	0,6	1,4	2,4	6
Salure (SST) meq/ 100g	3	6	12	30

**Tableau 13-** Echelle de salure en fonction de la conductivité électrique de la pâte saturée

Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
Extrait saturé dS.m <sup>-1</sup>	2	4	8	16

Formules approximatives

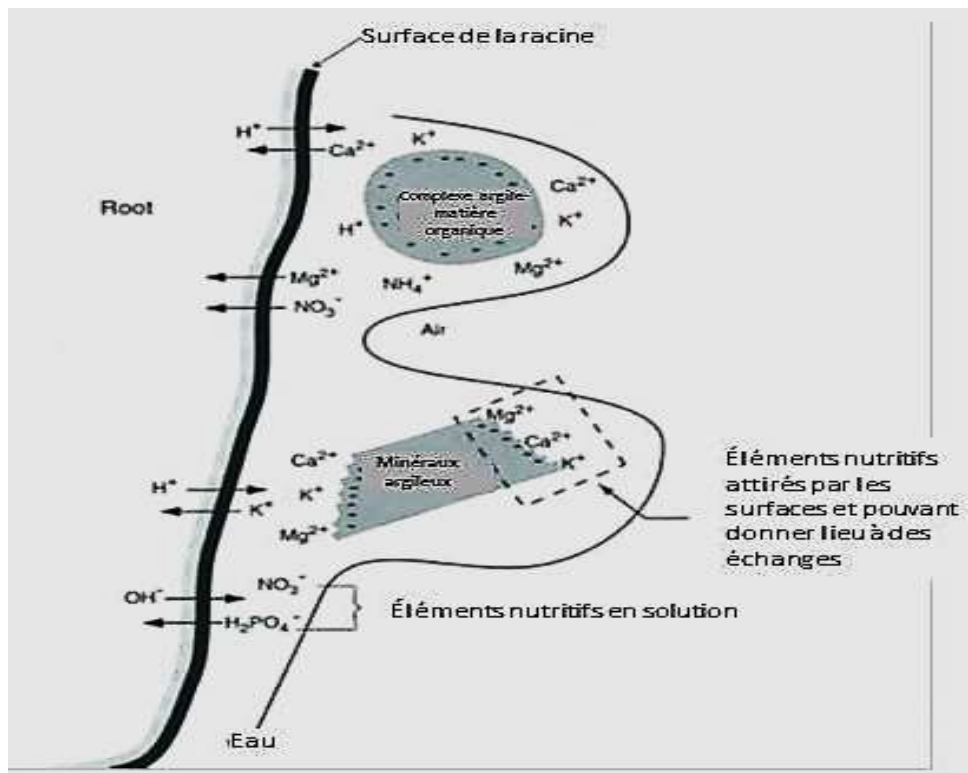
**Cations ou Anions (méq/l) = CE.10.** Cette expression est valable pour une conductivité électrique comprise entre 0,1 et 5 dS/m.

**Teneur en sels (ppm) = CE . 640.** Cette expression est valable valable pour une conductivité électrique comprise entre 0,1 et 5 dS/m.

### 2.3. Capacité d'échange cationique d'un sol

La capacité d'échange cationique (**C.E.C**) d'un sol représente la taille du réservoir permettant de stocker de manière réversible certains éléments fertilisants cationiques (potassium, magnésium, calcium...). Elle est liée au complexe argilo humique. La valeur de la CEC d'un sol est donc fonction des quantités d'argile et de MO qu'il contient, mais aussi de la nature de ces éléments et du pH du sol. Ainsi, un sol présentant une teneur en argile de 20% peut montrer une CEC inférieure à un sol présentant une teneur en argile de 15%, en fonction de supports géologiques, de passés pédoclimatiques et de mode de mise en valeur différents.

Dans la figure 4, est illustré l'échange de cations entre les racines des plantes.



**Figure 4- Échange de cations entre les racines des plantes**

### Intérêt de la mesure du CEC

Connaître la valeur de la CEC est indispensable à une bonne interprétation des teneurs en éléments cationiques échangeables (K, Ca, Mg, Na). La répartition des différents cations sur la CEC et le taux de saturation (somme des cations échangeables/CEC) donne de précieuses indications sur le fonctionnement d'un sol. Elle est indispensable aux calculs des doses d'amendements basiques pour les chaulages de correction des sols acides. Le niveau de la CEC oriente également les choix stratégiques en termes de fertilisation potassique et magnésienne (calcul des doses et fréquences d'apports) (Bourguignon et Lydia., 2008).

### Comment mesurer la C.E.C. ?

Il existe plusieurs méthodes normalisées de mesure de la CEC, mais les deux méthodes les plus courantes sont : la méthode de Metson et la méthode de Bower.

#### **Methode de Métson**

Cette méthode consiste à déplacer tous les cations adsorbés sur les sites d'échanges de la CEC, puis de saturer ces sites par un cation unique, qui est l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). L'ammonium est à son tour déplacé, puis dosé par spectrophotocolorimétrie automatique. Le nombre de site d'échange de la CEC correspond exactement au nombre d'ions ammonium dosés. Le résultat est exprimé en nombre de charges pour 100g de sol (milliéquivalents pour 100g ou méq/100g ou centimoles+/kg). Les valeurs des cations échangeables, exprimés classiquement en g/kg ou ‰, peuvent également être exprimés en méq/100g, ce qui permet de calculer les taux de saturation de la CEC pour chacun de ces éléments.

### Méthode de Bower

Tamponné à pH = 8,2 et déplacement par l'acétate d'ammonium et la saturation se fait avec l'acétate de sodium (CH<sub>3</sub>COONa, N, 82.03g/l) à pH 8.2 pour les sols calcaires. Pour les sols salés non calcaires à pH 7 cas des sols basique.

L'ion sodium paraît être le plus approprié pour la détermination de la capacité cationique dans ces sols parce qu'ayant un diamètre ionique plus petit que celui de l'ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ou de l'ion potassium (K<sup>+</sup>), il est plus facilement échangeable. Les minéraux de la famille des micas comme la biotite dégradée et la vermiculite qui existent souvent dans les sols des régions semi-arides contiennent du potassium et de l'ammonium entre leurs couches ; ces cation sont fortement retenus et ne sont pas facilement échangés.

### Interprétation de la valeur de la CEC dans le sol

Le tableau 14 donne un aperçu succinct sur les interprétations des valeurs de la CEC.

**Tableau 14** - Interprétation de la valeur de CEC au sol

Valeur de la CEC (méq/100 g)	Interprétation
CEC < 9	Petite CEC
9 ≤ CEC ≤ 12	CEC moyenne
12 < CEC ≤ 15	CEC assez élevée
15 < CEC ≤ 25	CEC élevée
CEC > 25	CEC très élevée

### CEC et son rapport avec la composition du sol

Selon Kessel (2006) : CEC de 1 à 10

- Contenu élevé en sable

- L'azote et le potassium sont plus susceptibles d'être lessivés
- Moins de chaux requise pour élever le pH
- Faible teneur en matière organique
- Faible capacité de rétention d'eau

CEC de 11 à 50

- Contenu élevé en argile
- Plus de chaux requise pour élever le pH
- Plus grande capacité à retenir les éléments nutritifs à une profondeur de sol donné
- Haute teneur en matière organique
- Plus grande capacité de rétention d'eau

### Taux de sodium échangeable (ESP)

Le pourcentage de sodium échangeable (ESP) représente la concentration de sodium  $\text{Na}^+$  échangeable exprimé en (meq /100g) par rapport à la capacité d'échange cationique CEC du sol qui est la quantité totale de cation (ions+) que ce dernier peut adsorber sur son complexe d'échange avec la solution du sol (F.A.O,1984).

$$\text{ESP} = \frac{\text{Na}^+}{\text{CEC}} \cdot 100$$

Le sodium échangeable a un effet néfaste sur la structure du sol et est à l'origine de la dégradation de grandes superficies de terre irriguées quand il est présent au-delà d'un seuil de 15% par rapport à la capacité d'échange cationique.

A 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 ESP comme suit (F.A.O,1984) :

ESP < 5% : légère alcalinité

ESP (5 à 20)% : alcalinité modérée

ESP (20 à 45) % : alcalinité grave

ESP > 45% : alcalinité très grave

## Taux d'absorption de sodium (SAR)

Il représente la concentration du sodium  $\text{Na}^+$  dans la solution du sol ou dans l'eau d'irrigation. Dans ce cas, le SAR définit la concentration relative en sodium monovalent soluble dans la solution du sol par rapport à celles des ions bivalent  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$ .

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

## Relation entre SAR et ESP

L'USSL propose la relation suivante pour relier le SAR et l'ESP :

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

Ce type de relations mathématiques entre le SAR et l'ESP a été adapté en fonction des sites d'étude. Par complexe d'échange à partir du seul paramètre SAR, mais ce paramètre est intéressant pour connaître la tendance évolutive du complexe d'échange et pour qualifier la sodicité de l'eau. Notons également que pour une bonne partie des concentrations rencontrées en nature (valeurs faibles), les valeurs du SAR et ESP sont aussi équivalentes. (F.A.O, 1984)

# **Deuxième partie – Etude expérimentale**

# **Chapitre IV – Matériels et méthodes**

## Objectif de l'étude et méthodologie

L'objectif principal de cette étude expérimentale est la détermination caractérisation du sol d'une parcelle cultivée située dans le périmètre de la Mina (Relizane). Il s'agit aussi de mettre en évidence d'éventuelles corrélations entre les paramètres de cette caractérisation pédologique.

La méthodologie adoptée pour cette étude consiste, dans un premier temps, à faire ~~en~~ des prélèvements d'échantillons (21 échantillons). L'étape suivante est consacrée à une série d'analyses des échantillons de sol prélevés permettant de caractériser ce sol.

Citer les paramètres analysés.

## Matériels

### Parcelle expérimentale

La parcelle servant pour cette étude se situe dans le périmètre de la Mina (figure 5) ; à environ 5 km à l'ouest de la ville de Relizane et 2,5 km à l'Est de la ville d'El-Matmar. Elle appartient à la commune d'El-Matmar. Elle occupe une superficie d'environ 2,82 ha, dont les coordonnées en UTM (longitude / Lat, WGS 1984, fuseau 31N) se situent entre Tableau 15 :

Tableau 15 – Coordonnées géographiques de la parcelle d'étude

Longitude	Latitude
00°29'.35,2''	35°43'56,9''
00°29'41,6''	35°44'1,7''



**Figure 5- Carte de la situation de la parcelle de l'étude**

### Matériels de terrain

Il s'agit d'un appareil de géo positionnement satellite (GPS). C'est le système de positionnement géographique par satellite qui permet de donner les coordonnées (latitude, longitude et altitude) des points de mesures effectuées dans la parcelle expérimental. L'appareil utilisé est de type WGS 84.

### Matériels de laboratoire

#### *pH mètre*

C'est un appareil, munit de deux électrodes, l'une de référence et l'autre en verre. La solution de remplissage est à base de chlorure de potassium (KCl) (figure 6).



**Figure 6 - Potentiomètre**

### *Conductimètre de paillasse*

C'est un appareil qui permet de mesurer la salinité totale d'un sol par le biais de la conductivité électrique de sa solution sous forme d'extrait aqueux ou de pâte saturée. Cet appareil nécessite un étalonnage en utilisant une série de solutions étalons de KCl de référence (figure 7).



**Figure 7- Conductimètre**

### *Centrifugeuse*

La centrifugeuse est utilisée pour extraire la solution de pâte saturée des échantillons de sols dont il faut déterminer la conductivité électrique. Cette opération nécessite une vitesse de rotation de 2400 tours/minute pendant 15 minutes.



**Figure 8 - Centrifugeuse**

### *Spectromètre à absorption atomique*

Le spectromètre à absorption atomique est utilisé pour le dosage des éléments chimiques Na, K, Ca et Mg . Les résultats des concentrations sont traités sur un ordinateur rattaché à l'appareil et sont exprimés en meq/l.



*Figure 9– Spectromètre à absorption atomique ( $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ )*

Pour le dosage du calcium et magnésium, on doit utiliser un spectromètre à absorption atomique de flamme (figure 10).



*Figure 10 – Spectromètre à absorption atomique flamme ( $Na^+$ ,  $K^+$ )*

## Méthodes

### Méthode d'échantillonnage

L'objectif visé sur le terrain est de prélever 21 échantillons de la parcelle afin de caractériser la composition de chaque échantillon. Pour cela, l'échantillonnage doit être systématique sous forme de zig zag. La position de chaque échantillon prélevé est notée à l'aide de l'appareil GPS utilisé. Les prélèvements des 21 échantillons ont été effectués à une profondeur de 15cm.

## Méthodes d'analyses

### Conductivité électrique

La conductivité électrique est une méthode de laboratoire pour la détermination de la salinité totale d'un sol. Elle peut être réalisée soit sur un extrait aqueux au 1/5, soit sur un extrait de pâte saturée (figure 11). Dans les deux cas la mesure a été effectuée sur un conductimètre de paillasse.

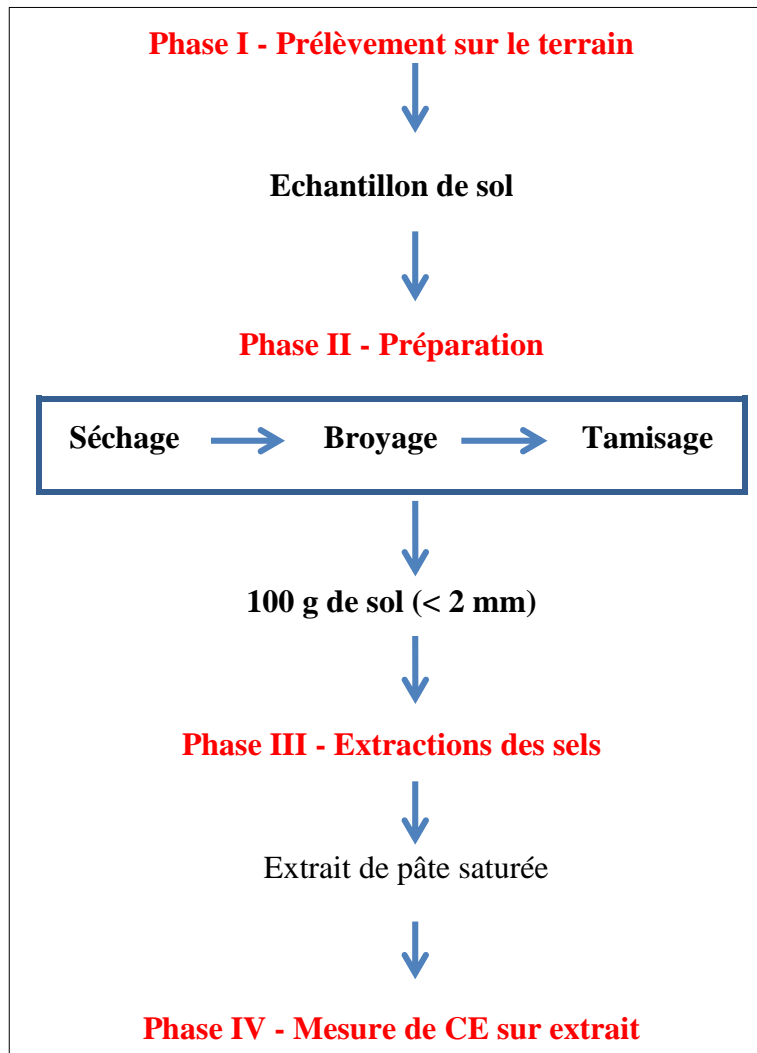


Figure 11 - Schéma de la méthode d'extraction de la pâte saturée

### pH

La mesure du pH a été effectuée sur un potentiomètre de paillasse par l'extrait de la pâte saturée préparée.

### Calcaire total

La teneur en carbonate de calcium dans le sol est déterminée par la méthode du calcimètre de Bernard (figure 13).



*Figure 13 - Mesure du calcaire total par la méthode de Bernard*

### **Calcaire actif**

La teneur en calcaire actif est déterminée par la méthode de Drouineau et Galet qui consiste à mettre l'échantillon du sol en contact avec de l'oxalate d'ammonium et ensuite ce calcaire fin se transforme en oxalate insoluble (figure 14). Le reliquat de solution d'oxalate non utilisé est dosé par une solution de permanganate de potassium. Le calcaire actif correspond à l'oxalate de calcium précipité.

Notons que cette méthode ne convient pas pour les sols humifères.



*Figure 14- Mesure du calcaire actif par titrimétrie*

### **Dosage des anions et des cations**

## *Anions*

**Le chlore** : par la méthode de Mohr.

**Le carbonate et le bicarbonate** : par titrage à l'acide sulfurique en présence de phénophtaléine pour  $\text{CO}_3^{2-}$  et méthyle orange pour  $\text{HCO}_3^-$ .

**Les sulfates** : par la méthode gravimétrique en faisant précipiter les sulfates en sulfate de Baryum.

## *Cations*

**Les cations solubles** : A partir de l'extrait de la pâte saturée, le  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{K}^+$  sont dosés par le spectromètre d'absorption atomique.

**Les cations échangeable** : A partir de l'extrait de la CEC, les cations échangeables  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ , et  $\text{Mg}^{++}$  sont dosés par le spectromètre d'absorption atomique .

Notons que la mesure des cations échangeable et solubles de  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  a été réalisée avec le spectromètre d'absorption atomique à flamme.

## **Capacité d'échange cationique (CEC)**

La capacité d'échange cationique a été déterminée par la méthode de BOWER en suivant les étapes suivantes (figure 15):

Utilisation d'acétate de sodium pour l'extraction de  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  et  $\text{K}^+$ ;

Lavage à l'éthanol ;

Et déplacement du sodium par une solution d'acétate d'ammonium. La détermination de la CEC est en meq/100g de sol.

$$\text{CEC} = X \cdot 200 / 1000 \cdot 100 / 5 = 4 \cdot X$$

X : La concentration de Na du percolât en meq/l



*Figure 15 - Mesure de la CEC par la méthode de BOWER*

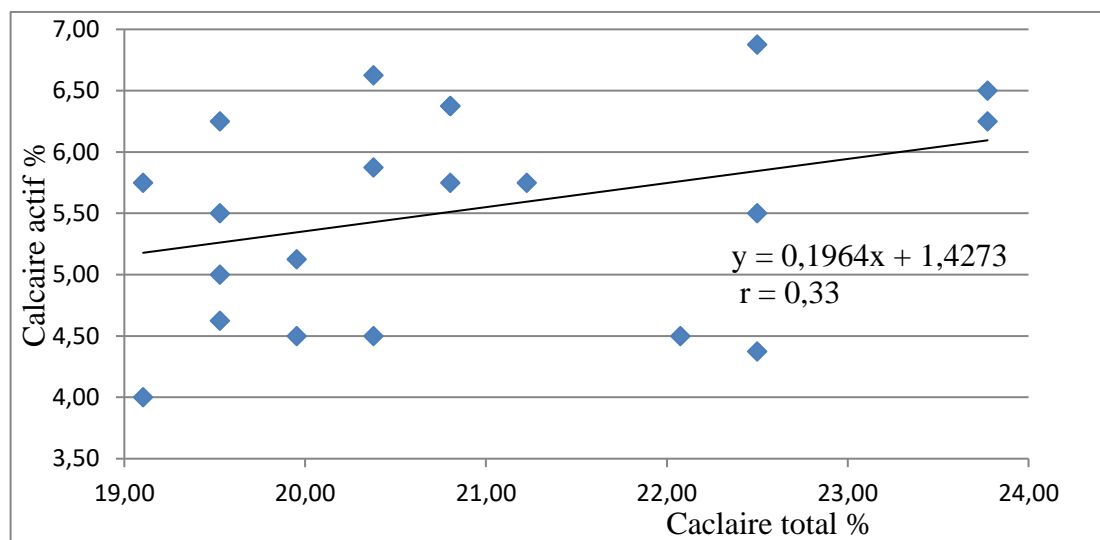
# **Chapitre V - Résultats et discussions**

Dans ce chapitre, nous allons essayer de rechercher s'il y a des corrélations entre les différents paramètres que nous avons mesuré et observer s'il y a une signification physique des éventuelles corrélations obtenues.

Dans ce cas nous n'allons présenter graphiquement que les paramètres qui sont corrélés avec un coefficient de corrélation acceptable. Les autres paires de paramètre seront résumés dans un tableau.

## Calcaire total et calcaire actif

Pour vérifier l'éventualité de l'existence d'une corrélation entre les données du calcaire total et du calcaire actif, nous avons adopté un graphe linéaire (Fig. 16). Ceci va être appliqué sur toutes les autres paires de données.



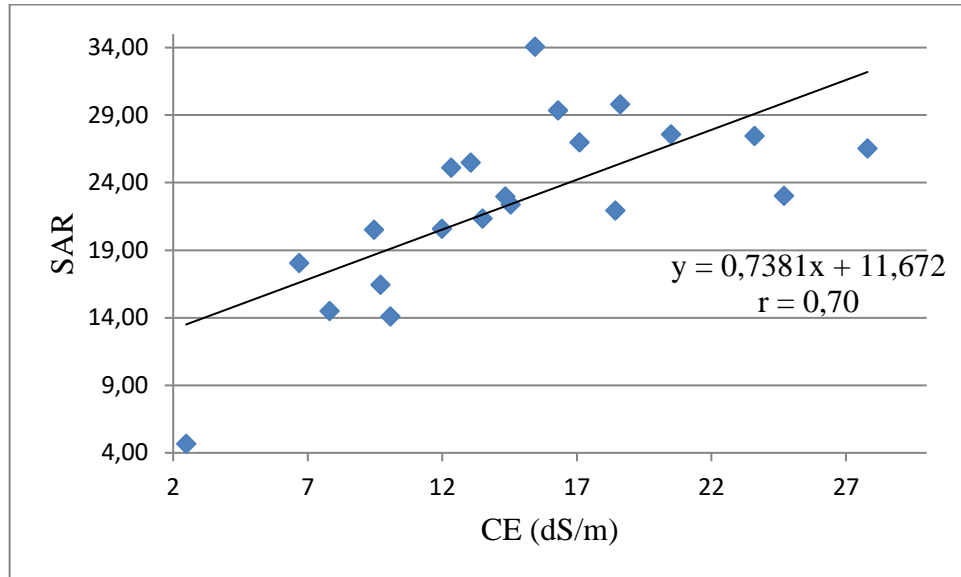
**Figure 16 - Relation entre les données du calcaire total et du calcaire actif**

La figure 16 est un exemple de paire de paramètre qui ne présente pas de corrélation ( $r = 0,33$ ). Dans ce cas, nous allons résumer les différentes paires de paramètres qui présentent ou non des corrélations dans le tableau suivant n° 16.

## Synthèse ces résultats

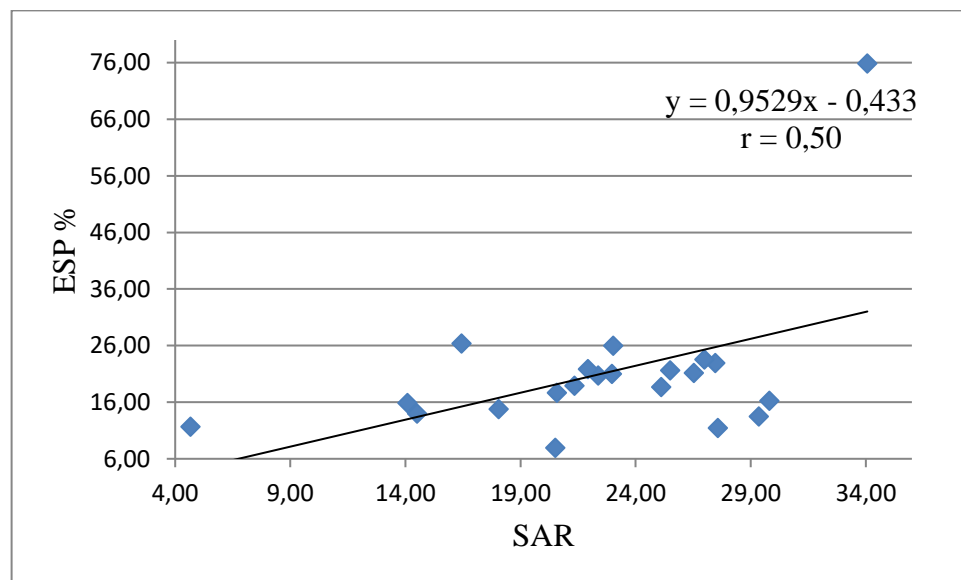
Le tableau 16 montre l'ensemble des couples de paramètres que nous avons utilisés pour effectuer des corrélations. Les paires de paramètres qui sont liés par une corrélation sont présentés sous formes de diagramme de corrélation dans les figures qui suivent le tableau 16.





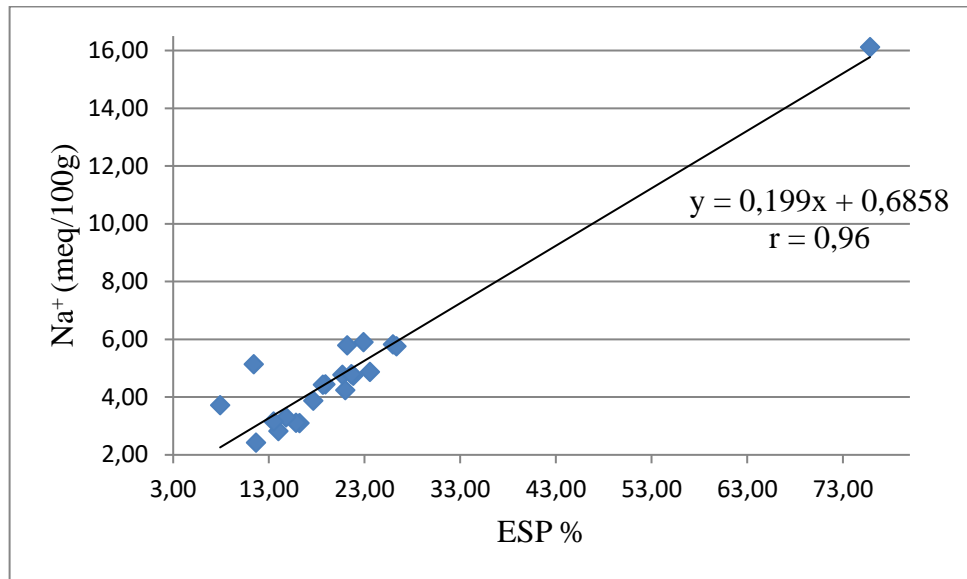
**Figure 17 - Relation entre le SAR et la conductivité électrique**

Le coefficient de corrélation est égal à 0,70 donc le taux d'absorption de sodium (SAR) est un facteur de la salinité des sols.



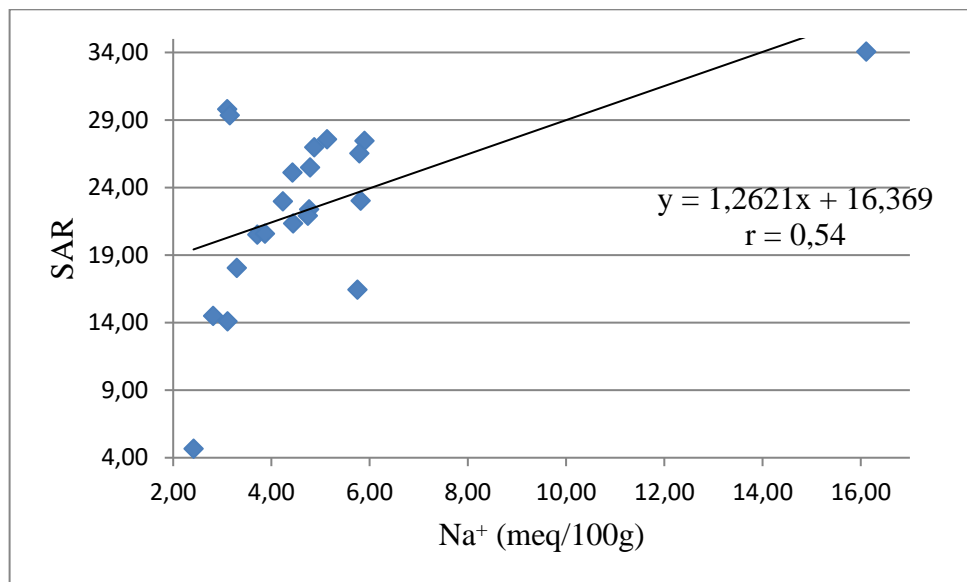
**Figure 18 - Relation entre l'ESP et le SAR**

Le coefficient de corrélation est égal à 0,5



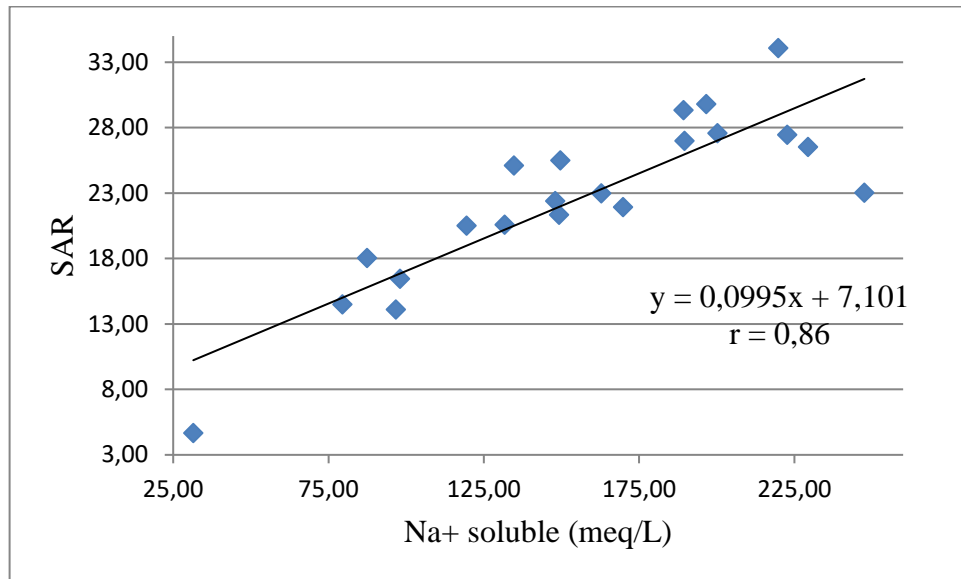
**Figure 19 - Relation entre l'ESP et le sodium échangeable**

Le coefficient de corrélation est égale à 0,96



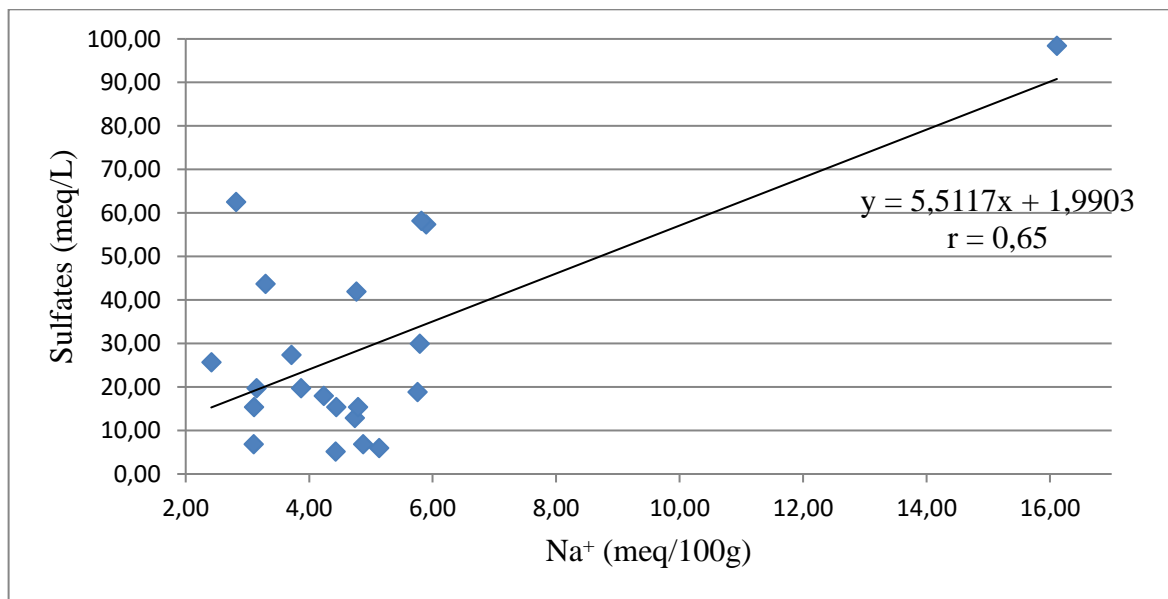
**Figure 20 - Relation entre le SAR et le sodium échangeable**

Le coefficient de corrélation est égal à 0,54



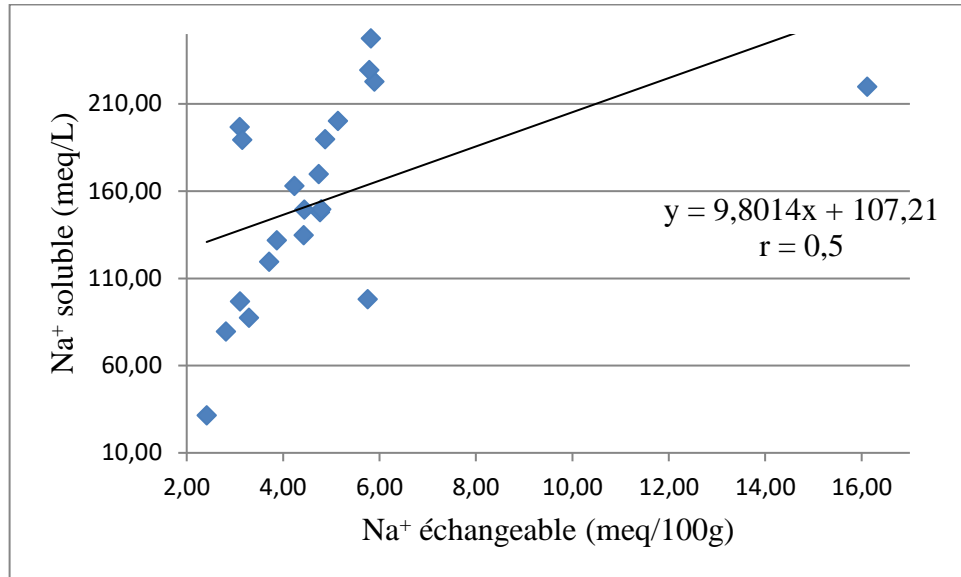
**Figure 21 - Relation entre SAR et le sodium soluble**

Le coefficient de corrélation est égal à 0,86.



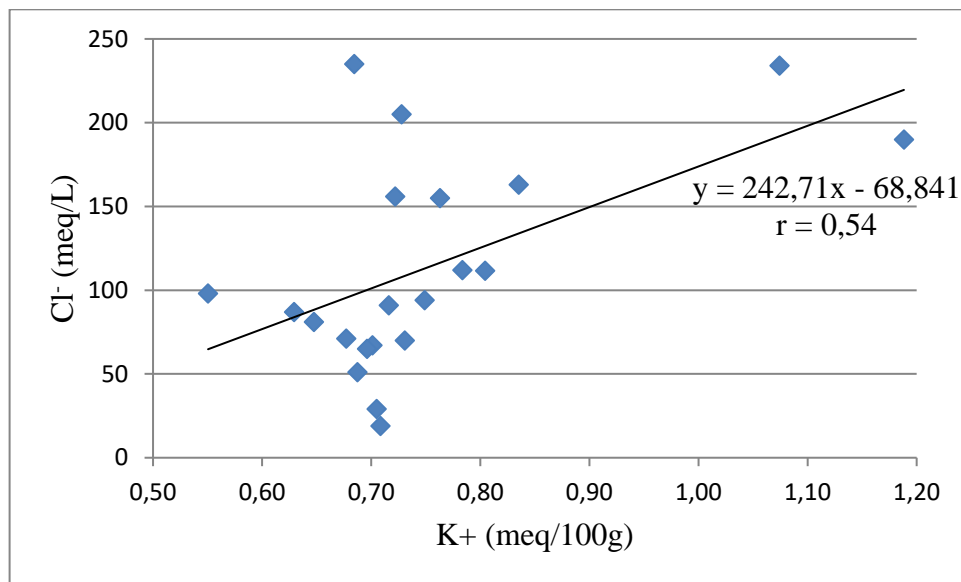
**Figure 22 - Relation entre les sulfates et le sodium échangeable**

Le coefficient de corrélation est 0,65.



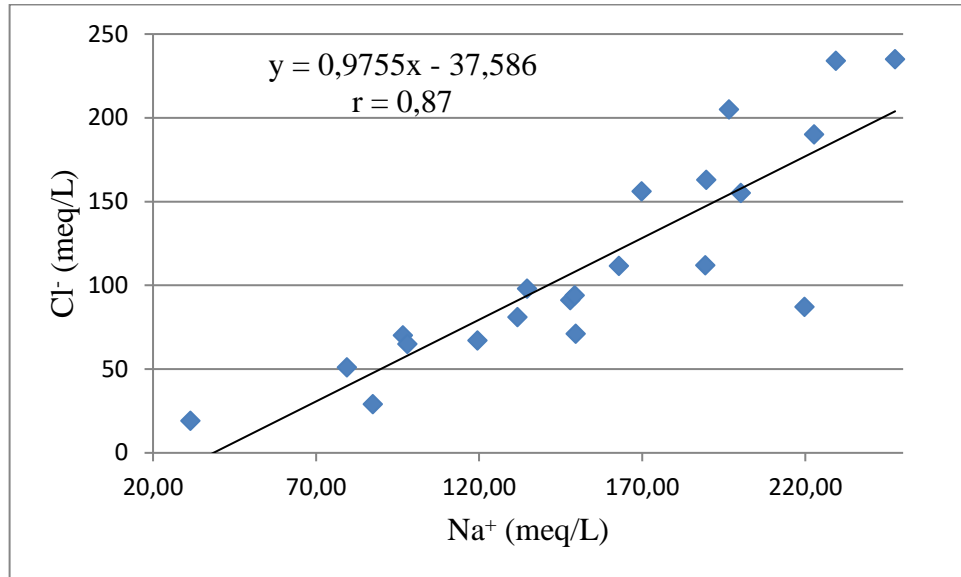
**Figure 22 - Relation entre sodium soluble et sodium échangeable**

Le coefficient de corrélation est 0,5



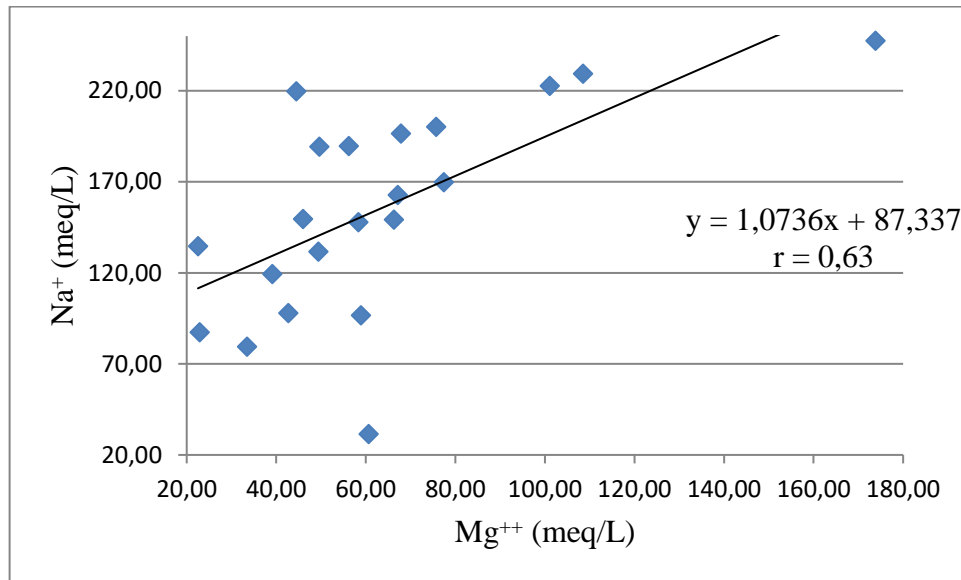
**Figure 23 - Relation entre le chlore et le potassium échangeable**

Le coefficient de corrélation est 0,54.



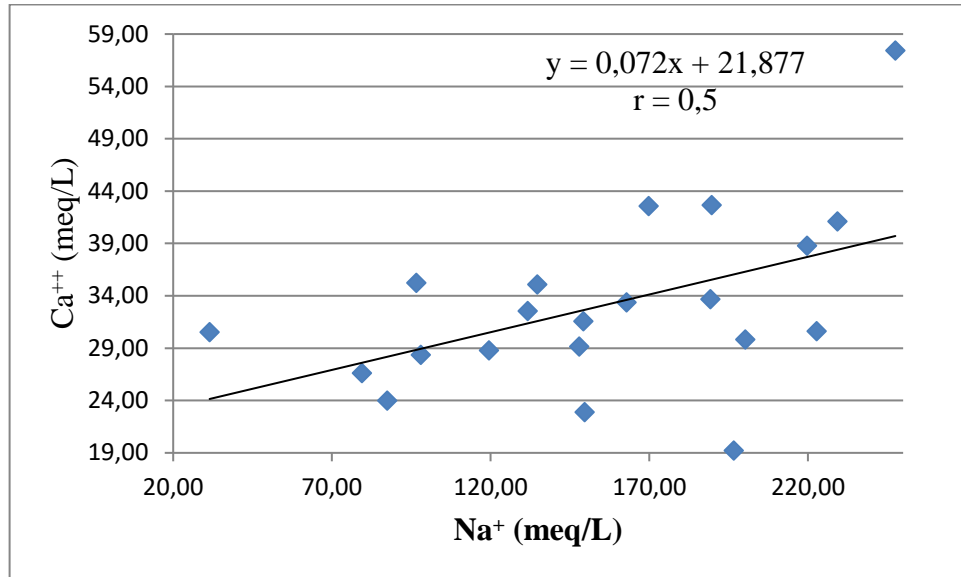
**Figure 24 - Relation entre le sodium soluble et le chlore**

Le coefficient de corrélation est 0,87.



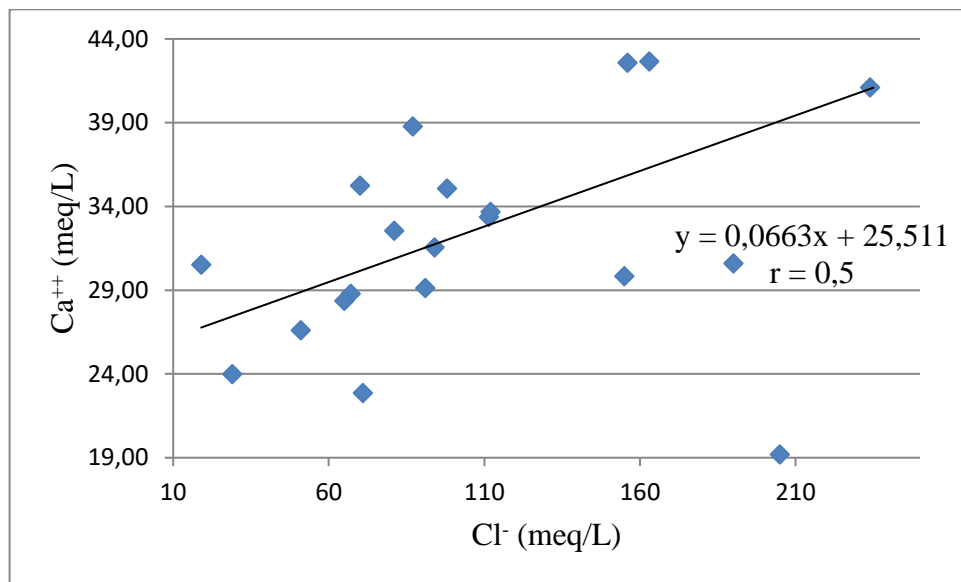
**Figure 25 - Relation entre le magnésium soluble et le sodium soluble**

Le coefficient de corrélation est 0,63



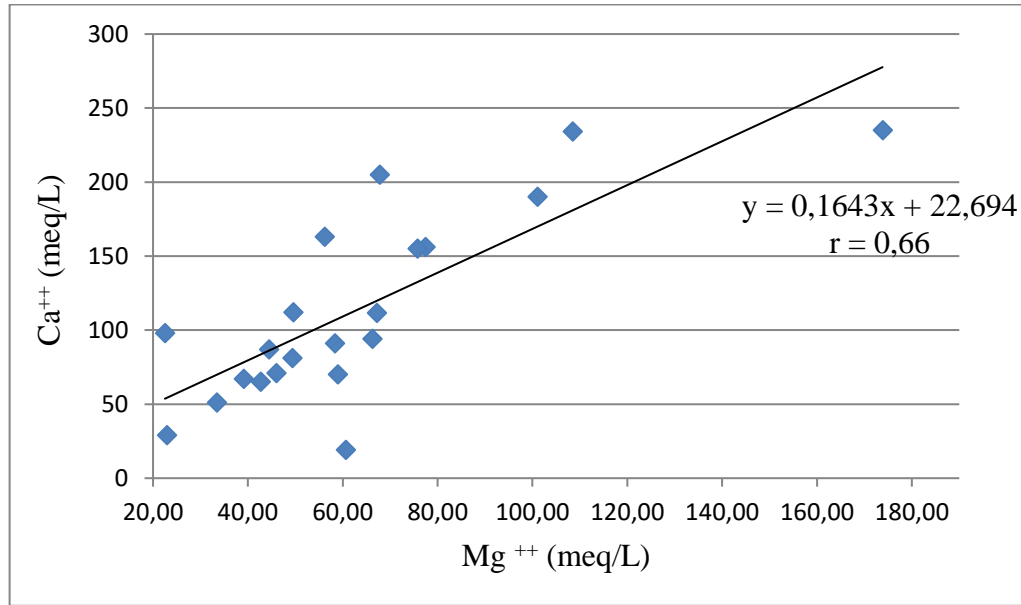
**Figure 26 - Relation entre calcium soluble et sodium soluble**

Le coefficient de corrélation est 0,5.



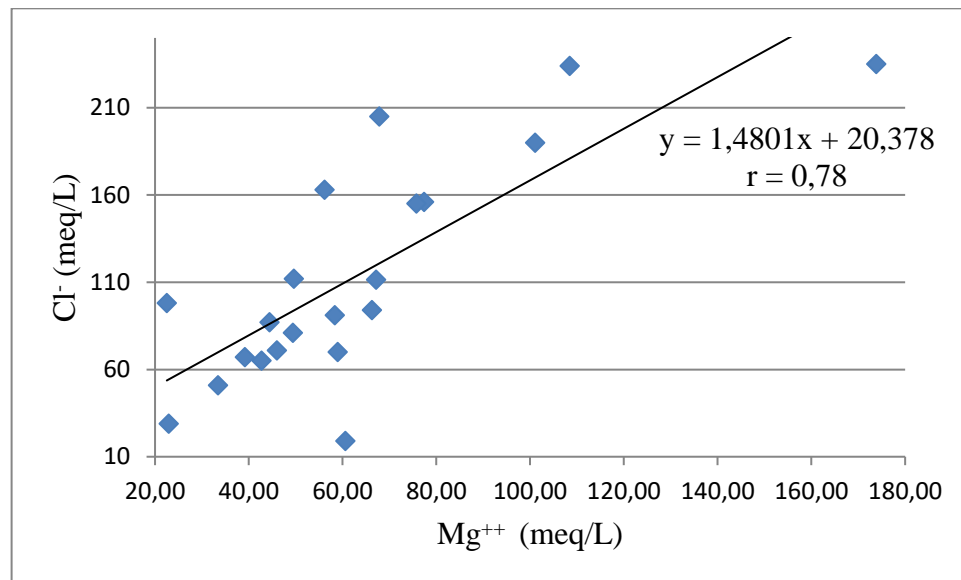
**Figure 27 - Relation entre le chlore et le calcium soluble**

Le coefficient de corrélation est 0,5



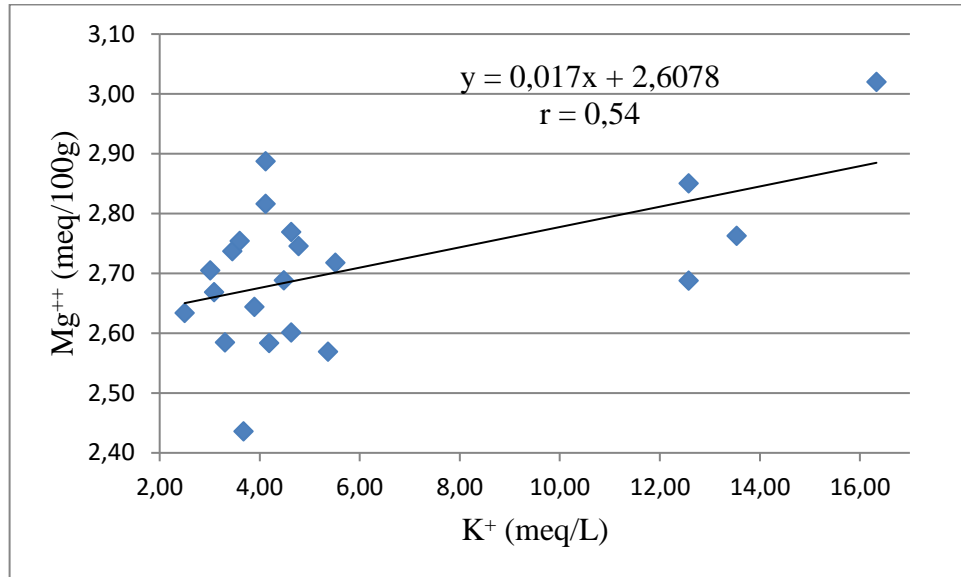
**Figure 28 - Relation entre le magnésium soluble et le calcium soluble**

Le coefficient de corrélation est 0,66



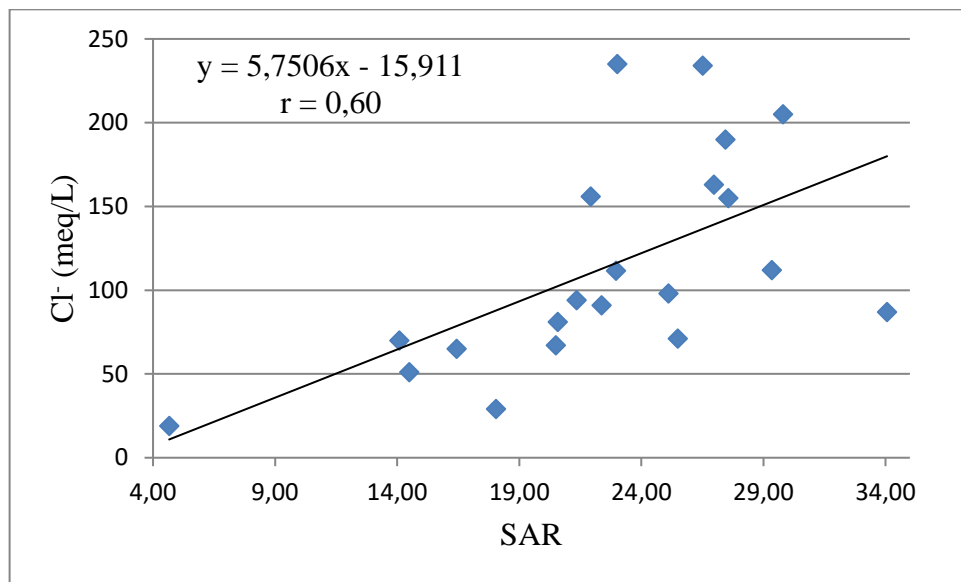
**Figure 29 - Relation entre le magnésium soluble et le chlore**

Le coefficient de corrélation est 0,78



**Figure 30 - Relation entre le magnésium échangeable et le potassium soluble**

Le coefficient de corrélation est 0,54



**Figure 31 - Relation entre le chlore et SAR**

Le coefficient de corrélation est 0,60

## Discussions et conclusion

Dans un premier temps, il faut discuter à quel seuil de la valeur du coefficient de corrélation on admet que deux paramètres sont corrélés. Dans ce cas, il faut faire la différence entre les modèles qui ont pour objectif de pouvoir extrapoler les résultats d'une corrélation pour

calculer des paramètres non mesurés à partir d'une relation obtenue avec des paramètres mesurés. Là le coefficient de corrélation doit dépasser les 70 %.

Dans le cas de la présente étude l'objectif est de pouvoir expliquer sur le plan physico-chimique des paramètres liés par une corrélation. Dans ce cas de figure, il est possible d'admettre qu'un coefficient de corrélation (CC) de 50% est acceptable. La plus grande valeur de CC est obtenue entre la  $\text{Na}^+$  échangeable et l'ESP, ce qui exprime que l'ESP est un bon indicateur de sodicité du sol. Ensuite vient la valeur du CC de 0,87 qui relie le  $\text{Cl}^-$  avec le  $\text{Na}^+$  soluble, ce qui permet de dire que le NaCl soluble doit se trouver en quantité importante par rapport aux autres forme de sels de Na. La valeur suivante du CC, 0,86 est celle qui lie le SAR avec le  $\text{Na}^+$  soluble, ce qui est conforme au fait que le SAR indique la sodicité du sol et il est calculé à partir des concentrations solubles des éléments. On peut dire aussi, que l'ESP est un indicateur de la sodicité du sol plus pertinent (CC=0,96) que le SAR (CC=0,86).

Le  $\text{Cl}^-$  est lié respectivement au SAR (CC=0,60), au  $\text{Ca}^{2+}$  soluble (CC=0,50), au  $\text{Mg}^{2+}$  soluble (CC=0,78) et au  $\text{Na}^+$  soluble (CC=0,87), ceci exprime bien les éléments qui interviennent dans le calcul du SAR. On peut admettre que c'est essentiellement le  $\text{Na}^+$  et le  $\text{Mg}^{2+}$  solubles qui déterminent la valeur du SAR par rapport à l'effet du  $\text{Ca}^{2+}$  soluble.

Les autres valeurs du CC varient entre 0,50 et 0,66 et lient dans leur majorité les concentrations relatives des cations solubles entre eux à l'exception du  $\text{Mg}^{2+}$  échangeable avec le  $\text{K}^+$  soluble. Ceci exprime que les éléments sous formes solubles et échangeables sont en équilibre en termes de concentrations dans la solution du sol est d'adsorption dans le complexe argilo-humique du sol.

Il est possible de déduire que les corrélations se sont beaucoup plus exprimé sur la sodicité du sol (ESP et SAR) et particulièrement en termes de concentrations des cations et anions. Le  $\text{Cl}^-$  est l'élément qui a enregistré cinq corrélations avec d'autres paramètres en comparaison avec le reste des paramètres qui n'ont pas dépassé deux corrélations.

## Références bibliographiques

**Aubert G., 1988** - Méthodes d'analyses des sols. Edition Septima paris. 36-37 p.

**Bower, 1952:** Bower C.A., Reitemeier R.F. et Fireman, M., (1952): Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. SoilSci, n° 73: pp. 251-261.

**Balesdent., 1998 :** Effet des ultrasons sur la distribution granulométrique des matières organiques des sols. pp 29, 95–106.

**Berthelin., 1998 :** Teneurs totales en éléments traces dans les sols en zone rurale de France 32-33 p.

**Baize D., 1988 :** Guide des analyses courantes en pédologie 172p.

**Baize D., 2007 :** cours INRA Poitiers et AFES sur les éléments traces dans les sols et la méthode d'analyses, 15-16 p.

**CEAEQ., 2015 :** Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, guide de l'échantillonnage des sols 14-15 p .

**Christoph Kessel., 2006:**The International Plant Names IndexManuel de fertilité des sols 140p

**Dabin., 1971 :** Étude d'une méthode d'extraction de la matière humique du sol, Science du Sol, pp 47-63.

**F.A.O.,1984:** L'organisation mondiale de l'alimentation et l'agriculture, Parameters of the demand projections. Fifthrun. FAO, Rome 145 p.

**Lemanceau etHeulin., 1998 :** La rhizosphere, Sol Interface Fragile, 93-106p .

**Keith Reid.,2015** - Spécialiste de la fertilité des sols/MAAARO fiche technique de Échantillonnage et analyse de sol dans le cadre de la gestion des éléments nutritifs. 12-13 p.

**UWDE.,2015 :**L'union Wallone des entreprises, Belgique ,l'étude de caractérisation – Décret sols (aout 2015) 1 p.

**BIPEA., 1970:** Le Bureau Interprofessionnel d'Etudes Analytiques (BIPEA). Circuit d'analyses de terre alsace, France, 25 p .

**UNIFEA.,2005 :**Union des Industries de la Fertilisation,l'organisation professionnelle représentant les industries de la fertilisation, rapport de la préservation des sols, p 42.

**CEAEQ.,2015 :** Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec. Guide d'échantillonnage à des fins d'analyse environnementale, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. P 82.

**Kenfaoui., 1997 :**Synthèse Technique – La salinité des eaux d'irrigation 17-18 p.

**Viaux., 1981 :** Conservation des échantillons de sol en vue d'un dosage de l'azote minéral. Science du Sol , 73-88p.

**CDE.,1990 :** Conseil de l'Europe 1990 in Winfried, les différentes fonctions des sols, 14p.

**E.H. Blum., 2001 :** Function of Soils for Human Societies and the Environment, Geological society, London special publications, pp 63-78.

**Hiltner.,1904:** Uber neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiet der Bodenbakteriologie und unterbesonderer Beriicksichtigung der Griindiingung und Brache. 236 p.

**Lemanceau et Heulin.,1998 :** La rhizosphère en : Sol : interface fragile. Paris 116 p.

**Peter Gaudet.,2006 :**Effets des ultrasons sur la distribution granulométrique des matières organiques des sols. Science du sol., pp 29, 95-106.

**Duchafour.,1989 :** etude de typologie des stations environnementaux, paris 145 p.

**Citeau Laetitia et al.,2008 :** Citeau Laëtitia, Antonio Bispo, Marion Bardy, Dominique King (coord.), 2008 - Gestion durable des sols. Éditions Quae, 320 p.

**Legros Jean-Paul., 2007:** Les grands sols du monde. Lausanne, PPUR, Collection : Science et ingénierie de l'environnement, 574 p.

**Gobat J-m et al., 2010 :**Gobat J.-M., Aragno M., Matthey W., 2010 (3<sup>e</sup> éd.) - Le sol vivant. Bases de pédologie - Biologie des sols. Lausanne, PPUR - Collection : Science et ingénierie de l'environnement, 848 p.

**Bourguignon Claude et Lydia., 2008 :** Le sol, la terre et les champs : Pour retrouver une agriculture saine . Éd. Sang de la Terre, 221 p.

**Jenny Hans., 1941 :** Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology 1941.

# **Annexes**

## Annexe 1

Tableau 1 : La concentration des cations échangeables et de la capacité d'échange cationique

code	La CEC	Cations échangeables			
	CEC(meq/100g)	K <sup>+</sup> (meq/100g)	Na <sup>+</sup> (meq/100g)	Ca <sup>++</sup> (meq/100g)	Mg <sup>++</sup> (meq/100g)
p1	19,12	0,73	3,10	2,13	2,85
p2	25,74	1,19	5,89	2,18	2,76
p3	20,73	0,71	2,41	2,32	2,63
p4	20,69	0,84	4,87	2,33	2,72
p5	22,41	0,68	5,82	2,25	2,77
p6	23,03	0,72	4,77	2,26	2,58
p7	19,60	0,73	3,11	2,06	2,60
p8	20,16	0,80	4,23	2,41	2,57
p9	27,34	1,07	5,79	2,27	2,69
p10	20,11	0,69	2,81	2,39	2,69
p11	22,27	0,70	3,29	2,44	2,67
p12	46,95	0,70	3,71	2,23	2,74
p13	21,71	0,72	4,74	2,36	2,82
p14	21,93	0,65	3,87	2,20	2,70
p15	22,16	0,68	4,79	2,36	2,58
p16	23,47	0,75	4,44	2,39	2,89
p17	21,25	0,63	16,11	2,36	2,44
p18	21,83	0,70	5,75	2,20	2,64
p19	23,34	0,78	3,15	2,31	2,75
p20	44,97	0,76	5,13	2,27	2,75
p21	23,73	0,55	4,43	2,34	3,02

## Annexe 2

Tableau 02 : La concentration des cations solubles en meq/L .

N° d'échantillon	Cations solubles			
	K <sup>+</sup> (meq/L)	Na <sup>+</sup> (meq/L)	Ca <sup>++</sup> (meq/L)	Mg <sup>++</sup> (meq/L)
P1	12,58	196,58	19,20	67,82
P2	13,54	222,72	30,60	101,07
P3	2,50	31,47	30,52	60,63
P4	5,52	189,63	42,64	56,17
P5	4,63	247,54	57,41	173,83
P6	4,19	147,94	29,13	58,31
P7	4,63	96,65	35,24	58,93
P8	5,37	162,83	33,37	67,16
P9	12,58	229,34	41,10	108,48
P10	4,49	79,45	26,61	33,46
P11	3,09	87,39	23,99	22,92
P12	3,46	119,49	28,78	39,14
P13	4,12	169,78	42,57	77,41
P14	3,01	131,73	32,54	49,38
P15	3,31	149,60	22,87	46,01
P16	4,12	149,27	31,55	66,26
P17	3,68	219,74	38,78	44,44
P18	3,90	97,98	28,35	42,72
P19	3,60	189,30	33,67	49,59
P20	4,78	200,22	29,83	75,72
P21	16,33	134,71	35,06	22,51

### Annexe 03

Tableau 03 : La concentration des anions

Anions (meq/L)				
N° d'échantillon	Sulfates	Bicarbonates	Chlore	Carbonate
P1	6,85	1,00	205,00	0
P2	57,35	0,60	190,00	0
P3	25,68	2,40	19,00	0
P4	6,85	0,60	163,00	0
P5	58,21	0,70	235,00	0
P6	41,94	1,10	91,00	0
P7	15,41	1,20	70,00	0
P8	17,98	1,10	111,50	0
P9	29,96	0,90	234,00	0
P10	62,49	1,40	51,00	0
P11	43,66	1,50	29,00	0
P12	27,39	1,40	67,00	0
P13	12,84	0,50	156,00	0
P14	19,69	0,40	81,00	0
P15	15,41	1,00	71,00	0
P16	15,41	0,90	94,00	0
P17	98,44	0,60	87,00	0
P18	18,83	1,00	65,00	0
P19	19,69	0,80	112,00	0
P20	5,99	0,40	155,00	0
P21	5,14	0,90	98,00	0

Annexe 04 :

Tableau 03 : Les Valeurs obtenues de SAR et ESP

N° d'échantillon	SAR	ESP%
p1	29,80	16,21
p2	27,45	22,90
p3	4,66	11,65
p4	26,98	23,55
p5	23,02	25,96
p6	22,37	20,70
p7	14,09	15,84
p8	22,97	21,00
p9	26,52	21,17
p10	14,50	14,00
p11	18,04	14,79
p12	20,50	7,90
p13	21,92	21,83
p14	20,58	17,63
p15	25,49	21,62
p16	21,35	18,91
p17	34,07	75,83
p18	16,44	26,35
p19	29,34	13,49
p20	27,56	11,41
p21	25,11	18,65