



Réf : ...../UAMOB/FSNVST/DSA/2022

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

### EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Sciences du sol

Présenté par :

*AMRANI Sara & CHERARAK Imane*

### *Thème*

**Caractérisation des sols de la ferme pilote de Si El Hachemi  
(El Hachimia, wilaya de Bouira)**

Soutenu le : 06 / 07 /2022

Devant le jury composé de :

*Nom et Prénom*

*Grade*

*Mme OURADI. L*

*MAA*

*Univ. Bouira*

*Présidente*

*Mme RAHMOUNI. A*

*MAA*

*Univ. Bouira*

*Promotrice*

*Mme KABEN. O*

*MAA*

*Univ. Bouira*

*Examinatrice*

**Année Universitaire : 2021/2022**

## *Remerciements*

*Nous remercions Dieu qui nous a guidés tout au long de ce chemin afin de réaliser ce modeste travail.*

*Au terme de ce mémoire, on exprime notre reconnaissance aux personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.*

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de Mme RAHMOUNI A. on la remercie pour ces conseils, ces encouragements et pour la confiance qu'elle nous a témoignée aux cours de réalisation de ce travail.*

*Nous remercions Mme KABEN o et Mme OURADI. L qui nous a fait le grand honneur d'accepter de présider et d'examiner ce travail.*

*Nous tenons à remercier M. KHEMICI responsable de la ferme pilote « Si El Hachemi », pour son accueil, également toute l'équipe.*

*Nous remercions aussi Mme BANOUH, ingénieur de laboratoire « Sol », pour l'attention et l'aide qu'elle nous a apportée au quotidien pendant notre stage.*

*Enfin, un grand merci pour nos professeurs pour la qualité de l'enseignement qu'ils nous ont prodigué au cours de nos années passées à l'université de Bouira.*

*Nous sommes reconnaissantes à toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.*

## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail à :

*A Mes parents, Qui ont su placer leur confiance en moi et m'ont soutenue durant ces années d'études. Merci pour vos sacrifices consentis pour ma réussite.*

A mon mari.

A toute ma famille et ma belle-famille.

A tous mes chers amis et collègues.

A toute personne qui m'aime, et qui contribuera à ma joie familiale et mon bonheur professionnel.

Sara

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*L'être le plus cher de ma vie, à la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse, à celle qui m'a arrosée de tendresse et d'espairs, à la source d'amour : mon adorable mère Hafida.*

*A l'homme, mon précieux offre de dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect, mon support dans ma vie, qui m'a appris m'a supportée : mon cher père Amar.*

*A mes très chères grandes mères Khadidja et Messouada. Que ce modeste travail, soit l'expression des vœux que vous n'avez cessé de formuler dans vos prières. Que dieu vous préserve santé et longue vie.*

*A tous mes oncles et mes tantes paternels et maternels.*

*A mes chers frères : Abderrahmane et Meriem. A tous mes amis, mes cousines spécialement : Hadjer et Katia. A tous mes collègues.*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour Éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.*

*Imane*

## Liste des abréviations

**dS** : Deci- Siemens

**F** : Echantillon fourni par la ferme pilote.

**GPS** : Global Positioning System.

**H** : Horizon.

**H<sub>r</sub>** : Humidité résuduelle.

**meq** : Milli-équivalent.

**MO** : Matière organique.

**P** : Profil.

**pF** : Point de flétrissement.

**pH** : Potentiel d'hydrogène.

**ppm** : Partie par million.

**q<sup>x</sup>** : Quintaux.

**r** : Coefficient de corrélation.

**R<sup>2</sup>** : Coefficient de détermination.

**S** : Sondage.

**s.d.** : Sans date.

**S/T** : Taux de saturation.

## Liste des figures

<b>Figure 01.</b> Les composants d'un sol (Munroe, 2006) .....	7
<b>Figure 02.</b> Triangle de texture (Duchaufour et <i>al.</i> , 2018) .....	11
<b>Figure 03.</b> Quelques exemples de structure de sol (Gobat et <i>al.</i> , 2010) .....	12
<b>Figure 04.</b> Epaisseurs des horizons de sol (Ruellan, 2010) .....	25
<b>Figure 05.</b> Profondeur des horizons (Mathieu, 2020) .....	25
<b>Figure 06.</b> Charte de Munsel (Munsell soil color charts, 1994) .....	28
<b>Figure 07.</b> Quelques types de plans d'échantillonnage d'un site (Crépin et Johnson, 1993 cité par Pansu et <i>al.</i> , 1998) .....	38
<b>Figure 08.</b> Schéma d'une fosse pédologique (favre, 2021) .....	39
<b>Figure 09.</b> Fosse pédologique (Rahmouni et Belhadj, 2014) .....	39
<b>Figure 10.</b> Tranchée de route (Rahmouni et Belhadj, 2014) .....	40
<b>Figure 11.</b> Berges de rivières (Rahmouni et Belhadj, 2014) .....	40
<b>Figure 12.</b> Modèle standard d'une tarière pédologique (Roebroeck, 2009) .....	41
<b>Figure 13.</b> Carte administrative de situation de la commune d'El Hachimia wilaya de Bouira (Map.Info, version 7.0) .....	44
<b>Figure 14.</b> Diagramme Ombrothermique de Bagnoule et Gausson de la région de Bouira (1995-2004) .....	46
<b>Figure 15.</b> Etage Bioclimatique de la wilaya de Bouira (Mezrag et Ziane, 2014) .....	47
<b>Figure 16.</b> Ensemble des parcelles de la ferme pilote Si El Hachmie (Kadi, 2022) .....	48
<b>Figure 17.</b> Carte d'implantation des profils pédologique et sondages au niveau de la parcelle étudiée (Google Earth, 2022) .....	49
<b>Figure 18.</b> Séchage des échantillons prélevés.....	50
<b>Figure 19.</b> Tamisage mécanique .....	50
<b>Figure 20.</b> Pesage de 10g de terre fine .....	51
<b>Figure 21.</b> L'étuve à 68c° .....	51

<b>Figure 22.</b> Refroidissement de l'échantillon du sol dans dessiccateur .....	51
<b>Figure 23.</b> Mesure de pH par pH-mètre .....	52
<b>Figure 24.</b> Agitation mécanique .....	53
<b>Figure 25.</b> Mesure de la salinité par conductivitémètre .....	53
<b>Figure 26.</b> Calcimètre de Bernard .....	54
<b>Figure 27.</b> Vue générale de la parcelle étudiée .....	57
<b>Figure 28.</b> Etat de surface avant creusement du S1 .....	57
<b>Figure 29.</b> Réaction à l'HCl pour l'échantillon S1H1 .....	58
<b>Figure 30.</b> Etat de surface avant de creusement de S2 .....	59
<b>Figure 31.</b> Réaction à l'HCl pour l'échantillon S2H1 .....	60
<b>Figure 32.</b> Etat de surface avant creusement du sondage S3 .....	60
<b>Figure 33.</b> Enracinement de sondage S3 .....	61
<b>Figure 34.</b> Profil P1 .....	62
<b>Figure 35.</b> Végétation de la surface pour le profil P1 .....	62
<b>Figure 36.</b> Opération de délimitation des horizons de profil P1 .....	63
<b>Figure 37.</b> Réaction à l'HCl pour le profil P1 .....	63
<b>Figure 38.</b> Profil P2 .....	64
<b>Figure 39.</b> Etat de la surface du profil P2 .....	65
<b>Figure 40.</b> Opération de délimitation des profondeurs des horizons de profil P2 .....	65
<b>Figure 41.</b> Réaction à l'HCl pour le profil P2 .....	65
<b>Figure 42.</b> Représentation en histogramme des valeurs de pH .....	68
<b>Figure 43.</b> Représentation en histogramme des valeurs de CE en dS/m .....	69
<b>Figure 44.</b> Représentation en histogramme des valeurs de calcaire total .....	70
<b>Figure 45.</b> Représentation en histogramme des valeurs de taux de gypse .....	72

<b>Figure 46.</b> Profil calcaire moyen .....	74
<b>Figure 47.</b> Profil salin moyen .....	75
<b>Figure 48.</b> Profil gypseux moyen .....	75
<b>Figure 49.</b> Relation linéaire entre les taux de calcaire et les valeurs de pH .....	76
<b>Figure 50.</b> Relation linéaire entre les taux de calcaire et les valeurs de la CE .....	77
<b>Figure 51.</b> Relation linéaire entre les taux de calcaire et les valeurs de gypse .....	79
<b>Figure 52.</b> Relation linéaire entre les taux de gypse et les valeurs de pH .....	81
<b>Figure 53.</b> Représentation des valeurs de CE en histogramme .....	81
<b>Figure 54.</b> Représentation des valeurs de pH en histogramme .....	82
<b>Figure 55.</b> Représentation en histogramme de calcaire total .....	82

## Liste des tableaux

<b>Tableau 01.</b> Classes des éléments grossiers selon leurs dimensions (Sahnoune, 2014) .....	5
<b>Tableau 02.</b> Fractions granulométriques selon Le système international d'Atterberg (Sahnoune, 2014) .....	5
<b>Tableau 03.</b> Caractéristiques des macromolécules résultant de l'humification (Gobat et <i>al.</i> , 2010) .....	7
<b>Tableau 04.</b> Les formes absorbées des macroéléments et les microéléments dans le sol (Briat et Lemaire, 2022) .....	17
<b>Tableau 05.</b> Possibilité de décrire des propriétés avec un sondage à la tarière (Baize, 2011) ...	42
<b>Tableau 06.</b> Données climatiques moyennes de la région de Bouira de 1995 à 2004 (Station de Bouira 1995-2004) In (Mezrag et Ziane, 2014) .....	45
<b>Tableau 07.</b> Les données propres au sol du sondage S1 .....	58
<b>Tableau 08.</b> Les données propres au sol du sondage S2 .....	59
<b>Tableau 09.</b> Les données propres au sol du sondage S3 .....	61
<b>Tableau 10.</b> Les données propres au sol du profil P1 .....	63
<b>Tableau 11.</b> Les données propres au sol de profil P2 .....	65
<b>Tableau 12.</b> Résultats analytiques relatives au pH de sol .....	67
<b>Tableau 13.</b> Résultats analytiques relatives à la CE du sol .....	68
<b>Tableau 14.</b> Résultats analytiques relatives au calcaire total .....	69
<b>Tableau 15.</b> Résultats analytiques relatives aux teneurs en gypse .....	71
<b>Tableau 16.</b> Statistiques descriptives des paramètres étudiés .....	72
<b>Tableau 17.</b> Bulletins d'analyse de terre fournis pour la ferme pilote pour les 10 échantillons de surface étudiés .....	80

## Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>Chapitre I : Revue bibliographique</b>	
I.1 Généralités sur le sol.....	3
I.1.1 Définition du sol.....	3
I.1.2 Diverses phases du sol.....	3
I.1.2.1 Phase liquide du sol.....	4
I.1.2.2 Phase gazeuse du sol.....	4
I.1.2.3 Phase solide du sol.....	4
A. Constituants minéraux.....	5
I.1.2.4 Horizons du sol.....	8
A. Horizons minéraux.....	8
B. Horizons organiques O.....	9
I.1.3 Caractéristiques et propriétés physiques des sols.....	10
I.1.3.1 Propriétés physiques du sol.....	10
A. Texture.....	10
B. Structure.....	11
C. Porosité.....	13
I.1.4 Caractéristiques et propriétés chimiques des sols.....	14

I.1.4.1	Capacité d'échange cationique.....	14
I.1.4.2	Matière organique.....	15
I.1.4.3	Réaction du sol pH.....	15
I.1.4.4	Teneurs en éléments nutritifs.....	17
I.2	Échantillonnage du sol.....	19
I.2.1	Introduction.....	19
I.2.2	Stratégie d'échantillonnage.....	19
I.2.3	Description du sol.....	19
I.2.3.1	Données générales du sol.....	20
I.2.3.2	Données concernant les conditions du milieu.....	21
I.2.3.3	Données propres au sol.....	25
I.2.4	Echantillonnage du sol.....	38
I.2.4.1	Plans d'échantillonnage.....	39
I.2.4.2	Méthode d'échantillonnage.....	40
I.2.4.3	Techniques d'échantillonnage.....	41
I.2.4.4	Choix de l'emplacement des profils.....	41
I.2.4.5	Utilisation de la tarière pédologique.....	41

## **Chapitre II : Matériels et méthodes**

II.1	Présentation de la région d'étude.....	44
------	--	----

II.1.1	Localisation de la commune d'El Hachimia.....	44
II.1.2	Climat.....	45
II.1.2.1	Diagramme Ombrothermique de Bagnoule et Gausсен.....	45
II.1.2.2	Climagramme d'Emberger.....	46
II.1.3	Présentation de la ferme pilote.....	47
II.2	Etude morphologique sur terrain.....	48

### **Chapitre III : Résultats et discussions**

III.1	Caractérisation morpho-analytique du sol.....	57
III.1.1	Description morphologique général.....	58
III.1.1.1	Sondage S1.....	58
III.1.1.2	Sondage S2.....	59
III.1.1.3	Sondage S3.....	61
III.1.1.4	Profile P1.....	63
III.1.1.5	Profile P2.....	65
III.2	Description analytique.....	67
III.2.1	Présentation des résultats.....	67
III.2.1.1	pH.....	67
III.2.1.2	Conductivité électrique (CE).....	68
III.2.1.3	Calcaire total.....	70

III.2.1.4	Taux de gypse.....	71
III.3	Traitement statistiques des données.....	72
III.3.1	Statistiques descriptives.....	73
III.3.2	Profil moyen.....	74
III.3.2.1	Profil moyen Calcaire.....	74
III.3.2.2	Profil moyen salin .....	75
III.3.2.3	Profil moyen gypseux.....	76
III.3.3	Corrélations .....	76
III.3.3.1	Calcaire – pH.....	77
III.3.3.2	Calcaire – CE.....	78
III.3.3.3	Calcaire – Gypse.....	79
III.3.3.4	Gypse – pH.....	80
III.4	Interprétation des fiches analytiques de la ferme pilote.....	80
	<b>Conclusion.....</b>	<b>84</b>

## **Références bibliographiques**

## **Annexes**

# *Introduction*

## *Introduction générale*

Le sol représente la première ressource pour la vie de la planète. C'est une ressource pour la production alimentaire, un support des activités humaines, une réserve d'eau, un support et pourvoyeur de la plante. Bref, il est considéré un élément vital et fondamental pour l'humanité.

Ce patrimoine fragile, inestimable et surtout non renouvelable devrait être protégée et conservée en raison de ses fonctions par rapport à la vie et à la santé de l'homme.

Dans l'objectif d'une gestion optimisée et plus soutenable des sols, des cultures et de l'environnement, de l'amélioration de la compréhension du sol, une caractérisation des sols surtout du point de vue pédologique est primordiale.

L'information recueillie permet à d'établir la qualité et la composition des sols, de classer les sols et d'analyser sa composition et ses propriétés, qui fournit au final les résultats des analyses comparés par la suite aux normes et critères reconnus.

Malheureusement, la connaissance des sols dans le monde, en Algérie notamment reste insuffisante et ses sols demeurent encore mal connus. Les études réalisées en Algérie et qui visent cet objectif restent très insuffisantes (Durand, 1955, Nkundikije-Desseaux *et al.*, 1976 ; Djili, 2000 ; Berkal, 2006 ; Ouamer Ali, 2009 ; Lekhal et Belbachir, 2017 ; Cherief et Debbah 2020). Il est à rajouter qu'en dehors des quelques études réalisées dans le cadre des mémoires, on ne dispose pas assez d'informations sur les sols de la wilaya de Bouira. De ce fait l'un des objectifs de cette caractérisation est de contribuer à une meilleure connaissance des sols en Algérie.

Notre étude de caractérisation est effectuée sur une zone agricole, où sa productivité végétale est fonction de trois groupes de facteurs : climatiques, chimiques, physiques, qui sont dépendants. Ainsi la dégradation de ces caractéristiques physico-chimiques, constitue l'une des causes fondamentales de la perte de leur fertilité (Charreau et Nicou, 1971).

C'est à travers l'exemple concret d'une caractérisation des sols la ferme pilote « Si El Hachemi », au niveau de la commune d' « El Hachimi » dans la wilaya de Bouira que nous tenterons de répondre à notre objectif.

Le présent document est organisé autour de trois grands chapitres :

-Le premier chapitre est une recherche bibliographique sur l'état de l'art en matière de caractérisation des sols de quelques généralités sur les propriétés du sol.

## *Introduction générale*

-Le deuxième chapitre présente la zone et le matériel d'étude et explique avec détail la méthodologie menée dans ce travail.

-Le dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats de l'étude, qui consiste le cœur de ce mémoire, discutés et interprétés par la suite.

Ce travail se termine par une conclusion générale, où nous récapitulons l'ensemble des résultats obtenus dans cette étude.

*Chapitre I*  
*Revue bibliographique*

### **I.1 Généralités sur le sol**

#### **I.1.1 Définition du sol**

Le sol est considéré tout d'abord comme un support pour la végétation et une réserve pour son alimentation.

Certaines définitions furent donc très marquées par cette conception. C'est ainsi, par exemple, Duchafour (1977, cité par Séré, 2007) donne la formulation suivante : "Milieu évoluant sous l'influence de facteurs actifs (climat et végétation) aux dépens d'un matériau minéral pour aboutir à un état d'équilibre stable avec la végétation naturelle ; le sol d'abord superficiel s'approfondit progressivement ; peu à peu se différencie en des strates successives de couleur, de texture et de structure différentes appelées horizons ; l'ensemble des horizons constitue le profil ".

Puis Ramann (1928, cité par Séré, 2007) présente le sol comme " La couche supérieure meuble de l'écorce terrestre. Elle comprend des roches qui ont été réduites en petits fragments et plus ou moins transformés chimiquement avec des débris de plantes et animaux qui vivent dessus et s'en servent ".

En 1883, (Dokuchaev, cité par Dabin et Séglan, 1970) avait considéré "le sol sous un angle véritablement pédologique. Il prend une individualité propre différente de la roche-mère dont il est issu, il est constitué par les horizons supérieurs d'une roche qui a subi, plus ou moins, un changement sous l'influence de l'eau, de l'air et différentes espèces d'organismes vivants ou morts ; ce changement se traduit, dans une certaine mesure, dans la composition, la structure, la couleur des produits d'altération ".

#### **I.1.2 Diverses phases du sol**

Le sol normalement drainé est un système triphasique constitué d'une phase liquide (solution du sol), une phase gazeuse (atmosphère du sol) et d'une phase solide.

### **I.1.2.1 Phase liquide du sol**

D'après Sahnoune (2014) ; la phase liquide du sol désigne la solution du sol, occupe une partie plus ou moins importante de la porosité du sol, elle est constituée d'eau où se trouvent diverses substances organiques et minérales dissoutes et des particules en suspension.

La composition de la solution du sol varie selon.

- Le climat.
- Les apports anthropiques (fertilisants, produits de traitement phytosanitaire...etc.).
- L'activité biologique du sol (exsudats racinaires, produits de synthèse et de dégradation microbienne ...etc.).

### **I.1.2.2 Phase gazeuse du sol**

Dans un sol bien aéré, les gaz qui règnent dans l'atmosphère du sol sont.

- L'azote (78 à 80%).
- L'oxygène (18 à 20%).
- Le dioxyde de carbone (0.2 à 3%).

D'autres molécules gazeuses d'origine anthropique telles que les pesticides ou les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) peuvent également être détectées dans l'atmosphère du sol. Ces gaz peuvent exister dans le sol.

- Soit à l'état libre.
- Soit dissous dans la solution du sol.

Cependant, dans certaines conditions (d'hydro-morphie par exemple), la phase gazeuse peut être absente ; tout l'espace poral du sol est alors occupé par l'eau et le sol devient saturé (Sahnoune, 2014).

### **I.1.2.3 Phase solide du sol**

La phase solide du sol est en général majoritairement minérale. Elle comprend les constituants minéraux et les constituants organiques.

## A. Constituants minéraux

### ➤ Éléments grossiers

Ce sont les éléments dont le diamètre est supérieur à 2 mm et on les classe par dimensions dans le tableau ci-joint.

**Tableau 01.** Classes des éléments grossiers selon leurs dimensions (Sahnoune, 2014).

Les éléments grossiers	Dimensions
Graviers	0.2 cm à 2 cm
Cailloux	2 à 5 cm
Pierres	5 à 20 cm
Blocs	> 20 cm

Leur expression se fait en pourcentage, qu'on donne sur le terrain en fonction du volume et en laboratoire en fonction de la masse (sur un échantillon de sol, au laboratoire, on estime le pourcentage après passage au tamis de 2mm) (Sahnoune, 2014).

### ➤ Terre fine

La terre fine est la fraction de terre qui reste après avoir retiré les éléments grossiers (donc inférieurs à 2 mm, au tamis). Ils sont classés en fonction de leurs dimensions dans le tableau 02 suivant.

**Tableau 02.** Fractions granulométriques selon Le système international d'Atterberg (Sahnoune, 2014).

Les éléments de la terre fine	Dimensions
Sable grossiers	2mm à 0.2 mm
Sable fins	0.2 mm à 50 µm
Limons grossiers	50 µm à 20 µm
Limons fins	20 µm à 2 µm
Argiles	< 2 µm

### ➤ Minéraux du sol

D'après Pansu et Gautheyrou (2003), le sol contient aussi les fractions minérales qui existe en trois catégories majoritaires dans le sol. Selon leur nature minéralogique, on trouve :

- Les silicates sont des oxydes de silice qui ont des structures très diverses (unités isolées (olivine (Fe, Mg) (Fe, Mg)<sub>2</sub> [SiO<sub>4</sub>]); chaîne (pyroxène (Mg, Fe)<sub>2</sub> (SiO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>); Feuillet (smectite) et sont souvent associés à des cations métalliques tels que l'aluminium, le fer ou le magnésium.
- Les oxydes, oxy-hydroxydes et hydroxydes les plus importants et les très abondants dans les sols sont la gibbsite (oxyde d'aluminium Al(OH)<sub>3</sub>), La goethite et l'hématite (oxydes de fer ((FeO-OH), (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)), la birnessite et la lithiophorite (oxydes de manganèse).
- Les carbonates les plus abondants sont les carbonates de calcium (Calcite) et les carbonates de magnésium (dolomite (Ca, Mg) (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>).

### B. Constituants organiques

C'est une fraction organique qui correspond à tout ce qui est constitué de carbone organique, qu'il soit vivant ou non vivant (insectes, plantes, humus, microorganismes...etc.) Pansu et Gautheyrou (2003) ; de la litière à la matière organique humifiée (Gobat et *al.*, 2010).

- Litière : elle est constituée de l'ensemble des matières organiques d'origine biologique, à différents stades de décomposition, elle comprend les organismes et les particules qui vient de mourir et qui en sont détachés, soient végétaux, animaux, ou microbiens, aériens ou souterrain ; ainsi les sécrétions liquides, exsudats et urines des animaux.
- Macromolécules héritées ou humifiées : certaines des macromolécules sont héritées directement des débris organiques ; mais la pluparts sont synthétisées dans le sol, à la suite de processus chimiques et biochimiques complexes constituant l'humification. Les premiers dominants sont la cellulose, la lignine, les protéines et les lipides. Les secondes sont des composés aromatiques à des degrés divers de

## Chapitre I : Revue bibliographique

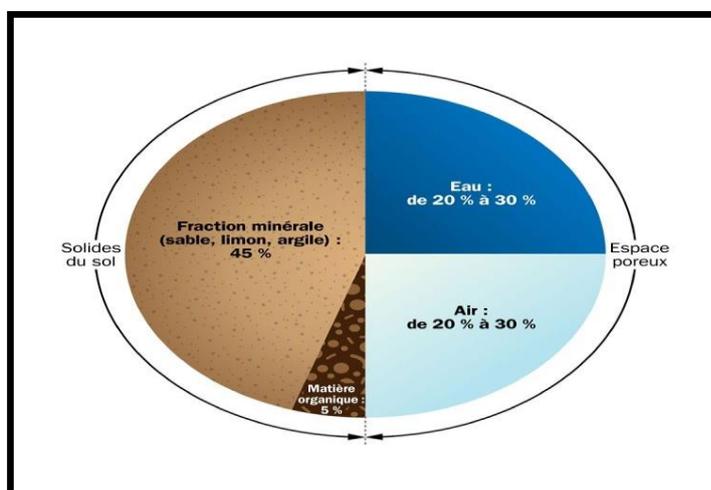
polycondensation, ainsi que des macromolécules très stables qui forment une partie de l'humine.

- **Matières organiques héritées** : la matière organique sèche est constituée, à 99%, de onze éléments majeurs : C, H, O, N, P, K, S, Ca, Cl, Na. Les molécules qu'ils forment sont de plusieurs types dont les proportions varient selon les catégories de litière. Ce sont les glucides, les lignines, les lipides et les composés azotés ; ces molécules sont dégradées dans le sol par des enzymes spécifiques.
- **Matières organiques humifiées** : les matières organiques résultant de l'humification se classent en fonction de leur masse moléculaire (tab. 03).

**Tableau 03.** Caractéristiques des macromolécules résultant de l'humification (Gobat et *al.*, 2010).

Type	Masse moléculaire (dalton)
<b>Acides humatomélaniques</b>	500 – 900
<b>Acides fulviques</b>	900 - 2. 10 <sup>3</sup>
<b>Acides humiques : gris</b>	2.10 <sup>3</sup> - 5. 10 <sup>4</sup>
<b>Acides humiques : bruns</b>	5.10 <sup>4</sup> - 10 <sup>5</sup>
<b>Humines</b>	10 <sup>5</sup> - 5. 10 <sup>5</sup>

La figure 01 résume les différents composants du sol exprimés en pourcentage calculés par rapport au volume.



**Figure 01.** Les composants d'un sol (Munroe, 2006).

### **I.1.2.4 Horizons du sol**

Les principaux horizons minéraux sont A, B et C. Les principaux horizons organiques sont L, F, H et O.

Pour désigner les sous-horizons, on ajoute des suffixes minuscules à quelques-uns des symboles des principaux horizons, par exemple : Ah ou Ae. Les horizons bien développés sont faciles à identifier sur le terrain. Cependant, dans les cas de faible expression ou de propriétés limites, comme entre Ah et H, des analyses de laboratoire sont nécessaires avant que les horizons puissent être désignés avec certitude (Carter, 1993 cité par CEPP, 2002).

#### **A. Horizons minéraux**

Les horizons minéraux contiennent, en poids, 17 % ou moins de C organique (<30 % de matière organique).

- A : horizon minéral formé, à la surface ou tout près, dans la zone de lessivage ou d'éluviation de matériaux en solution ou en suspension, ou dans celle d'accumulation maximale in situ de matière organique, ou dans les deux à la fois. L'accumulation de matière organique s'exprime morphologiquement par une couleur plus foncée que la surface du sol (Ah). Inversement l'éluviation de la matière organique se manifeste habituellement par une couleur du sol plus claire, généralement dans la partie supérieure du solum (Ae).

L'appauvrissement en argile de la partie supérieure du solum (Ae) se traduit par une texture du sol plus grossière par rapport aux couches sous-jacentes du sous-sol. L'éluviation en fer se manifeste généralement par une couleur du sol plus pâle ou moins rouge dans la partie supérieure du solum (Ae), par rapport à la partie sous-jacente du sous-sol.

- B : horizon minéral caractérisé par l'enrichissement en matière organique, en sesquioxyde ou en argile ou par le développement de la structure du sol, ou un changement de la couleur indiquant l'hydrolyse, la réduction ou l'oxydation. Dans les horizons B, l'accumulation de matière organique (Bh) est mise en évidence par des couleurs relativement foncées, en comparaison avec l'horizon C. L'accumulation d'argile est indiquée par des textures de sol plus fines et par des cutanes d'argile enrobant les peds et remplissant les pores (Bt).

## *Chapitre I : Revue bibliographique*

La structure du sol qui se forme dans les horizons B comprend les unités prismatiques ou colonnaires avec enrobements ou taches et des quantités significatives de sodium échangeable (Bn) et d'autres changements de structure (Bm) à partir de celle du matériau parental. Les changements de couleur comprennent la brunification relativement uniforme dû à l'oxydation du fer (Bm) ainsi que la marmorisation et la gleyification du matériau altéré structurellement, associés à une réduction périodique (Bg) (Carter, 1993 cité par CEPP, 2002).

- C : horizon minéral, autre que la roche brute, placé sous l'horizon B (ou sous A. s'il n'y a pas de B), analogue ou différent du matériau dont dérive la coupe AB et relativement peu affecté par les processus pédogénétiques ayant conduit à l'individualisation des horizons A et B sus-jacents et ne présentant pas leurs caractéristiques.
- R : roche brute sous-jacente. En cas de discontinuité lithologique, on désigne chaque matériau originel par un chiffre romain qui précède l'horizon. S'il n'y a qu'un seul matériau, on omet le chiffre romain. Dans le cas de plusieurs matériaux, celui du dessus peut être omis. Ex. : A1 - A2 - B1 - B21 - II B22 - II B3 - II C1 III C2 - IV R (Dabin et Séglan, 1970).
- W : cette couche d'eau peut être présente dans les sols gleysoliques, organiques ou crysoliques. Dans les sols organiques, les couches hydriques sont une sorte de couche W, comme le est la formation de ségrégations de glace dans les sols crysoliques (Carter, 1993 cité par CEPP, 2002).

### **B. Horizons organiques O**

Ils sont constitués de fragments de végétaux morts (feuilles, racines, écorces...) plus ou moins transformés en conditions aérobies, et situés à la partie supérieure de la couverture pédologique. Il s'agit de la litière désignée autrefois par AO. Selon le degré de transformation des débris végétaux, on distingue 3 types d'horizons O :

- OL : débris peu transformés, toujours reconnaissables.
- OF : débris mélangés avec de la matière organique fine sous forme de boulettes fécales.
- OH : une majorité de matière organique fine formée de boulettes fécales et de microdébris non identifiables à l'œil nu.

## Chapitre I : Revue bibliographique

- H : les horizons listriques ; ce sont des horizons entièrement constitués de matière organique (Holorganiques), formés en milieu saturé par l'eau pendant plus de 6 mois de l'année et composés principalement de débris de végétaux aquatiques ou hygrophiles. Ils sont caractéristiques des tourbes ou histosols.
- L : c'est l'horizon labouré, le travail de la charrue retourne la couverture pédologique et mélange les horizons, à cette action mécanique, importante près de la surface, s'ajoutent les apports de substances allochtones qui sont incorporées au sol (engrais, amendements, épandages, traitements divers....) à une trentaine de cm de profondeur, un niveau plus tassé constitue la semelle de labour (Beauchamp, 2006).

### I.1.3 Caractéristiques et propriétés physiques des sols

#### I.1.3.1 Propriétés physiques du sol

##### A. Texture

D'après Bonneau (1963), une roche subit, avant de devenir un sol proprement dit, des processus d'altération physique et chimique qui ont pour effet, d'une part de la fragmenter et d'autre part de faire apparaître des minéraux nouveaux, essentiellement des argiles.

La partie minérale d'un sol est donc formée de fragments plus ou moins gros de roche mère et de minéraux de néo formation généralement très fins. La fraction des particules minérales du sol de dimensions supérieures à 2 mm forme le squelette du sol, graviers et cailloux, le reste formant la terre fine. C'est surtout à propos de cette terre fine qu'on parle de la texture, qui est le mode de distribution des particules du sol entre différentes classes de dimensions.

On distingue dans la fraction fine, trois particules en fonction de leurs grosseurs :

- Les argiles : ce sont des particules dont le diamètre est inférieur à 2  $\mu\text{m}$ . Ces particules sont chargées négativement sur leur surface, chose qui leur permet de fixer les cations libres du sol. Sur le plan minéralogique, les argiles sont considérés des minéraux constitués de feuillets à couches de silice ou d'aluminium ; elles sont rattachées aux phyllosilicates et analogues à des micas, mais de taille beaucoup plus faible (Gobat et *al*, 2010).

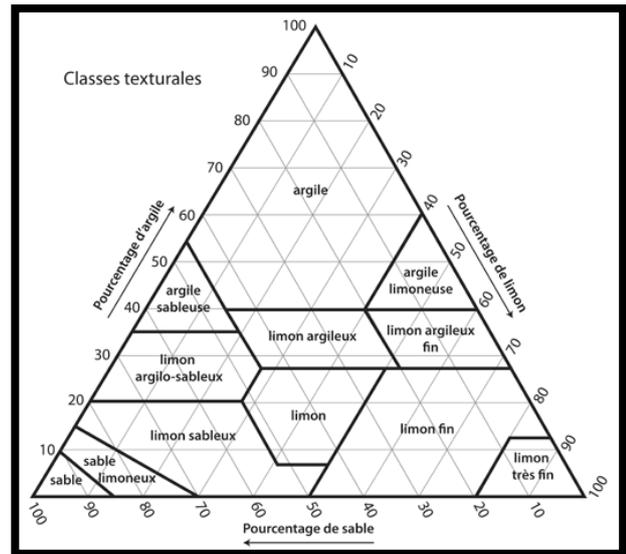
## Chapitre I : Revue bibliographique

➤ Les limons : ce sont des particules dont leur diamètre est compris entre 2 millièmes et 5 mm (2  $\mu\text{m}$  à 50  $\mu\text{m}$ ), qui sont souvent responsables du colmatage et de la « battance » des sols. Ils sont subdivisés en :

- Limons fins : 2 à 20  $\mu\text{m}$ .
- Limons grossiers : 20 à 50  $\mu\text{m}$ .

➤ Les sables : Ce sont des particules fines d'une taille supérieure à 0.05 mm (50 $\mu\text{m}$ ). Ils sont subdivisés en :

- Sables fins : 50 à 200  $\mu\text{m}$ .
- Sables grossiers : 200 à 2000  $\mu\text{m}$ .



**Figure02.** Triangle de texture (Duchaufour et al., 2018).

Ces classes de dimensions sont souvent représentées graphiquement dans un diagramme triangulaire (fig. 02), où sont portés sur un côté les argiles, sur l'autre les limons, sur le troisième les sables. Chaque point est représentatif d'une texture donnée et l'ensemble du triangle est découpé en diverses « classes de texture » ; à titre d'exemple, le triangle adopté par Ph. Duchaufour, dans son « Précis de Pédologie ».

Les textures les plus favorables sont celles qui appartiennent aux classes limon, limon sableux, limon argilo-sableux, car elles comportent un équilibre convenable entre particules fines et particules grossières. L'équilibre le plus favorable n'est pas réalisé lorsqu'il y a égalité des trois constituants, mais lorsque les sables occupent plus de 50 % du sol et que les limons ne sont pas en nette prédominance sur l'argile (Ex : 60 % de sable, 20 % d'argile, 20 % de limons) (Bonneau, 1963).

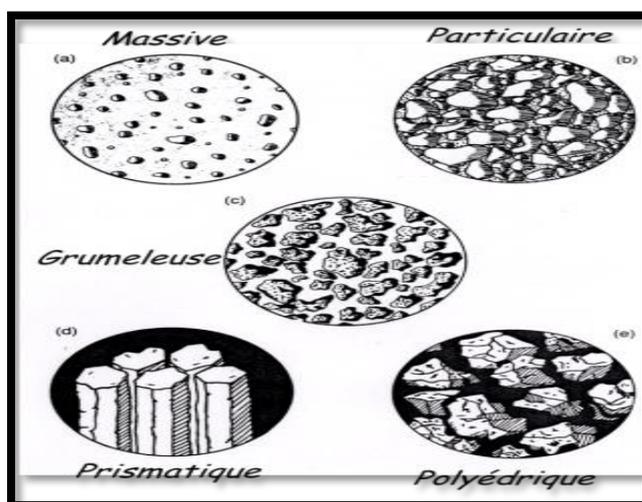
### B. Structure

Selon Dabin et Séglan (1970), les particules élémentaires constituant le sol ne sont pas normalement individualisées, mais associées en agrégats. La structure du sol est définie par l'agencement des éléments les uns par rapport aux autres. Elle englobe la forme et la dimension des mottes, ou éléments structuraux, et leur disposition relative dans un horizon

## Chapitre I : Revue bibliographique

déterminé. La sous-structure correspond à la forme et à la dimension des unités structurales dont la juxtaposition forme des éléments structuraux plus volumineux. Les éléments structuraux peuvent être classés par taille, mais aussi en fonction de leur forme. Selon ce dernier critère.

Les trois classes de structures sont matérialisées par la figure 03.



**Figure 03.** Quelques exemples de structure de sol (Gobat et *al.*, 2010).

- Structure massive (ou continue) est représentée par un bloc unique. Elle est divisée en sous-classes de types ciment, grès et poudingue.
- Structure particulaire où le sol est constitué par des éléments du squelette, non agrégés (Exemple de la structure cendreuse, fibreuse et feuilletée).
- Structures fragmentaires dont les constituants élémentaires sont associés en agrégats ou en mottes.

La structure du sol est une notion essentiellement descriptive et qualitative, mais elle conditionne directement la porosité et l'état d'ameublissement.

La porosité totale du sol est la proportion du volume total de sol occupé par l'eau après ressuyage (ou microporosité) et la macroporosité ou capacité minimum pour l'air. La cohésion du sol est définie comme sa résistance à la rupture. L'ameublissement correspond au contraire à la mobilité des éléments les uns par rapport aux autres, et peut être estimé à partir de la résistance du sol à la pénétration d'une pointe métallique.

## *Chapitre I : Revue bibliographique*

La structure du sol n'est pas une caractéristique définitive du sol. Car elle est soumise à l'action d'un certain nombre d'agents de dégradation, dont le plus important est l'eau. D'où la notion dynamique de stabilité structurale qui peut être définie comme l'aptitude des terres à résister à l'action de l'eau. Cette stabilité structurale est fonction directe de la cohésion des agrégats, de la non mouillabilité du sol, et de la dispersion des colloïdes. Ces trois facteurs sont eux-mêmes sous la dépendance de la nature et de la proportion de l'argile, de la quantité et du type de matière organique, et de la nature des ions du complexe absorbant (Dabin et Séglan, 1970).

### **C. Porosité**

Selon Monnier (In Encyclopædia Universalis, s.d.), plus ou moins directement, toutes les propriétés physiques se rattachent à une caractéristique fondamentale qui est la porosité.

La porosité d'une couche de sol en place est la partie d'un volume apparent unitaire qui n'est pas occupée par la phase solide. La porosité totale P s'exprime en %, à partir de ces données, par la relation :

$$\text{Avec : } P \% = \frac{V_0}{V_1} \times 100$$

V<sub>0</sub> : volume des vides.

V<sub>1</sub> : volume total.

Cette porosité est susceptible de varier de valeurs inférieures à 25 %, pour des sols sablo-limoneux compacts, à des valeurs supérieures à 60 %, pour des matériaux à structure fragmentaire fine, ou bien à la surface de sols argileux humides et fortement gonflés.

À la connaissance du volume total de l'espace poreux doit s'ajouter une évaluation de sa configuration : la taille des pores principalement, mais aussi leur forme, leur orientation, leur degré de connexion, leur tortuosité, etc. On doit pour cela faire appel à toute une série de techniques, porosimétrie au mercure, perméamétrie, morphométrie sur plaque mince, établissement de courbes de pF (teneur en eau en fonction de la succion), etc.

D'un autre point de vue, la porosité totale du sol résulte le plus souvent de la superposition de différents niveaux d'arrangement des constituants du sol.

## *Chapitre I : Revue bibliographique*

- À l'échelle de l'assemblage élémentaire, la disposition relative des particules individualisées au cours de l'analyse granulométrique ménage un premier système de porosité dite, du fait de son origine, texturale.
- Dans le cas des structures fragmentaires, les éléments structuraux sont délimités par un réseau plus ou moins complexe de fissures qui constitue, avec les canalicules et alvéoles d'origine biologique ou pédologique, un deuxième système de porosité dite structurale.

### **I.1.4 Caractéristiques et propriétés chimiques des sols**

#### **I.1.4.1 Capacité d'échange cationique**

Munroe (2006), définit la capacité d'échange cationique (CEC) comme étant, la capacité d'un sol à retenir et fournir des éléments nutritifs à une culture, c'est une mesure du pouvoir d'un sol à retenir et échanger des cations. Il s'agit d'un indicateur relatif du potentiel de fertilité d'un sol.

Les sols ayant une CEC élevée peuvent retenir davantage de cations et possèdent une plus grande capacité à les échanger que les sols ayant une faible CEC.

Le même auteur indique que les cations qui sont le plus souvent mentionnés dans un rapport d'analyse de sol sont les suivants : le potassium ( $K^+$ ), le magnésium ( $Mg^{2+}$ ) et le calcium ( $Ca^{2+}$ ). Certains rapports indiquent aussi l'hydrogène ( $H^+$ ) et le sodium ( $Na^+$ ).

Les cations sont retenus sur des sites chargés négativement que l'on retrouve à la surface de particules de matière organique et d'argile. La matière organique possède plus de sites d'échanges que les particules d'argile. Ces sites sont des sources importantes de tous les cations assimilables par les végétaux. Les cations ne sont pas retenus fortement à ces surfaces.

En fait, ces surfaces réalimentent constamment la solution de sol en cations à mesure que ces derniers sont prélevés par les plantes (Munroe, 2006).

### I.1.4.2 Matière organique

Selon Gaspard et *al.*, (2011), la matière organique composée de 58 % de carbone organique en moyenne, les matières organiques du sol libèrent du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et des composés organiques en se décomposant sous l'influence du climat et des conditions ambiantes du sol.

L'évolution du stock de carbone organique dans les sols résulte de l'équilibre entre les apports de matières organiques végétales au sol et leur minéralisation. Le sol représente le plus grand réservoir de carbone de la biosphère continentale contenant environ deux fois le stock de carbone atmosphérique et trois fois le stock de carbone contenu dans la végétation (40 t/ha en sols cultivés et 65 t/ha sous prairies).

Une augmentation des stocks de carbone organique des sols cultivés peut jouer un rôle significatif dans la limitation des émissions nettes de gaz à effet de serre vers l'atmosphère en stockant du CO<sub>2</sub> atmosphérique dans la MO des sols.

### I.1.4.3 Réaction du sol pH

Munroe (2006), détermine le pH du sol comme une mesure de la concentration d'hydrogène de la solution de sol. L'échelle du pH varie de :

- 0 à 14,7 étant neutre.
- pH inférieur à 7 étant de plus en plus acide.
- pH supérieur à 7 étant de plus en plus basique.

Les valeurs de pH du sol varient de 3 pour les sols, les plus acides à 11 pour les sols les plus alcalins. Notant que Pour chaque diminution d'une unité de pH, la concentration d'hydrogène augmente par dix. Par exemple, un sol dont le pH est de 4 à 1 000 fois plus d'hydrogène dans la solution de sol qu'un sol avec un pH de 7.

Lorsque les niveaux de pH sont typiques dans un sol, la concentration d'hydrogène n'a pas par elle-même un impact appréciable sur une plante. Cependant, le pH peut avoir un effet sur d'autres éléments, notamment les éléments nutritifs dans le sol, et des effets directs et indirects sur l'activité des organismes terricoles à qui l'on doit la structure du sol, le cycle de la matière organique ou la fixation de l'hydrogène dans les nodosités sur les racines des

## Chapitre I : Revue bibliographique

légumineuses. Il a aussi un effet sur le rendement et la dégradation de certains pesticides. Le pH du sol influence la solubilité des éléments nutritifs de la plante et des autres éléments.

L'aluminium est contenu en grandes quantités dans des matières minérales du sol (sable, limon et argile). En général, plus le pH diminue, plus la solubilité des métaux dans le sol, notamment l'aluminium, augmente.

L'acidité du sol est définie par la concentration en ions  $H^+$  ; le pH permet de définir approximativement, l'état du complexe absorbant, notamment le taux de saturation S/T% (Duchaufour et *al.*, 2001).

En 2006, une étude (Munroe) a démontré que le pH du sol s'influe par plusieurs facteurs :

### ➤ **Matériau d'origine**

C'est le principal facteur qui influence le pH naturel d'un sol (matériau d'origine du sol) à partir desquels le sol s'est formé.

### ➤ **Acidification du sol**

Les précipitations ; l'eau de pluie pure est légèrement acide en raison du dioxyde de carbone qui s'y trouve dissous et qui forme de l'acide carbonique. La quantité d'acide carbonique dans l'eau de pluie est directement liée à la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Lorsque les concentrations de dioxyde de carbone dans l'atmosphère augmentent, le pH de l'eau de pluie diminue légèrement. La quantité d'autres acides, comme l'acide nitrique et l'acide sulfurique, dépend de l'importance de la pollution atmosphérique.

### ➤ **Épandage d'engrais**

La conversion microbienne de l'azote ammoniacal en azote des nitrates est l'un des processus biologiques qui libèrent de l'acide dans le sol. L'apport de grandes quantités d'engrais contenant de l'ammonium peut accélérer la baisse du pH, en particulier dans les sols sableux pauvres en matière organique.

L'urée et l'ammoniac anhydre ne renferment pas d'azote ammoniacal, mais sont convertis en azote ammoniacal lorsqu'ils entrent en contact avec le sol. Lorsque de l'azote sous forme d'ammonium, d'ammoniac ou d'urée provenant d'engrais ou de fumier est utilisé sur un sol sableux, le pH du sol doit être contrôlé périodiquement.

### ➤ **Alcalinisation du sol**

Plusieurs sols agricoles de l'Ontario sont alcalins (pH supérieur à 7) à des profondeurs de seulement 30 cm (12 pouces) ou plus et présentent un pH aussi élevé que 8.2 à environ 1 m (39 pouces). Par conséquent, pour la plupart, les sols agricoles de l'Ontario offrent aux plantes amplement de réserves d'éléments nutritifs basiques comme le calcium et le magnésium dans la zone racinaire.

#### **I.1.4.4 Teneurs en éléments nutritifs**

Vedie (2008), explique que le sol est une réserve de substances nutritives qui proviennent de l'altération de la roche mère, de la décomposition de matières organiques ainsi que de l'atmosphère.

Les racines puisent dans la solution du sol les éléments majeurs (Ca, N, P, K, Mg...etc.) et les oligo-éléments (tab. 04), la composition de la solution étant régulée par le Complexe Argilo-Humique (CAH) du sol. C'est en effet le CAH du sol, dont l'importance varie en fonction des teneurs en argile et en matières organiques, qui va permettre la mise en réserve ou la libération des éléments nutritifs pour les racines. Tous les raisonnements d'apports éventuels d'éléments nutritifs doivent donc être raisonnés en fonction des besoins de la culture bien sûr, mais aussi en fonction de la taille du CAH du sol, en général mesurée par la Capacité d'Echange Cationique (CEC).

**Tableau 04.** Les formes absorbées des macroéléments et les microéléments dans le sol  
(Briat et Lemaire, 2022).

Eléments	Symbole	Forme absorbée
<b>Macroéléments</b>		
Azote	<b>N</b>	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>
Potassium	<b>K</b>	<b>K<sup>+</sup></b>
Calcium	<b>Ca</b>	<b>Ca<sup>2+</sup></b>
Magnésium	<b>Mg</b>	<b>Mg<sup>2+</sup></b>
Phosphore	<b>P</b>	<b>HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>
Soufre	<b>S</b>	<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>
Silice	<b>Si</b>	<b>SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup></b>
<b>Microéléments</b>		
Chlore	<b>Cl</b>	<b>Cl<sup>-</sup></b>
Fer	<b>Fe</b>	<b>Fe<sup>2+</sup> ou Fe<sup>3+</sup></b>
Manganèse	<b>Mn</b>	<b>Mn<sup>2+</sup></b>
Zinc	<b>Zn</b>	<b>Zn<sup>2+</sup></b>
Cuivre	<b>Cu</b>	<b>Cu<sup>2+</sup></b>
Nickel	<b>Ni</b>	<b>Ni<sup>2+</sup></b>
Molybdène	<b>Mo</b>	<b>MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>
Bore	<b>B</b>	<b>B(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup></b>

Les sources les plus importantes de variations de la composition de la solution du sol sont :

- L'activité des micro-organismes et de la rhizosphère.
- L'altération des roches, qui libèrent de multiples cations.
- Les apports d'engrais et amendements.

- Les pluies, qui font varier la concentration des éléments en solution et qui peuvent entraîner des pertes importantes par lessivage.

### **I.2 Échantillonnage du sol**

#### **I.2.1 Introduction**

La caractérisation du sol est une opération délicate, souvent fort longue pour être bien faite. Elle relève d'un ensemble de techniques très différentes qu'on ne peut mettre en œuvre dans le même temps.

Tout d'abord il faut opérer une caractérisation très précise du lieu où est observé le sol, définir son environnement : par ses données climatiques, la végétation qu'il supporte, la nature de la roche-mère, la géomorphologie qui commande.

Par la suite, il faut décrire soigneusement le sol horizon par horizon et donner les caractéristiques essentielles qui sont la couleur, la texture, la structure, la porosité, la consistance, la cohésion, l'enracinement, etc. Cette description sur terrain est complétée par un échantillonnage de sol et des analyses au laboratoire d'ordre physico-chimiques et biologiques (Maignien, 1969).

#### **I.2.2 Stratégie d'échantillonnage**

Avant d'entreprendre une campagne d'échantillonnage, il est important de faire une revue des données existantes, incluant l'historique du terrain, afin de mieux définir les objectifs de l'étude. Des méthodes d'investigation indirecte, peuvent être utilisées comme complément d'information (MDDEP, 2009).

#### **I.2.3 Description du sol**

Selon Djili (2003), la description du sol fait appel à trois séries de données. Les données générales qui elles situent l'observation dans le temps et dans l'espace, les données de l'environnement qui elles situent le profil dans son environnement naturel et les données intrinsèques du sol où il faut décrire les différentes caractéristiques morphologiques et analytiques du profil.

### **I.2.3.1 Données générales du sol**

Les données générales du sol concernent, le numéro de profil, la localisation, l'altitude, le nom d'observateur, la date de description et les conditions atmosphériques.

#### **1) Numéro de profil**

Il est indispensable pour se référer à l'observation, se mémoriser et situer par la suite l'observation dans l'espace et dans le temps (Maignien, 1969).

#### **2) Localisation**

Elle doit être très précise car elle permet de retrouver l'emplacement du sol étudié. Il est recommandé, lorsque cela est possible, de fournir les coordonnées géographiques (longitude, latitude). Si l'on utilise un nom local de lieu, il faut rappeler la région et le pays pour que tout lecteur puisse restituer l'observation, pour cela, il faut, dans la mesure du possible, se référer aux cartes topographiques à grandes échelles (Maignien, 1969).

#### **3) Altitude**

Elle se fait par lecture sur la carte topographique par interpolation après repérage des courbes de niveau sur la carte, comme on peut utiliser un altimètre ou un GPS, la donnée sur l'altitude permettra par la suite de comparer les profils entre eux et de mieux comprendre la pédogénèse (Djili, 2003).

#### **4) Nom d'observateur (pédologue ou de l'organisme)**

Le nom de pédologue ou de l'organisme chargé de la caractérisation doit figurer sur la fiche de description.

#### **5) Date de description**

Maignien (1969), précise que la date de l'observation sert de repère dans le classement des échantillons prélevés. Elle évite la confusion entre deux prélèvements portant par erreur la même numérotation. Selon Djili (2003), Elle permet de mieux comprendre et interpréter certains phénomènes pédogénétiques, par exemple, la description des sols salés est différente en hiver et en été (l'accumulation des sels est très importante en surface pendant l'été, mais

en hiver, ils s'accumulent en bas du profil suite aux mouvements de l'eau). Cette notion est importante lors d'un suivi dans le temps de certaines propriétés pédologiques (suivi de fertilité, dégradation des sols...etc.).

### **6) Conditions atmosphériques**

Les conditions du milieu et les caractéristiques du sol peuvent subir des variations sensibles suivant les saisons. Ceci est important pour la couleur et la structure. Ainsi, il est nécessaire de mentionner les conditions atmosphériques avant et pendant la période de l'étude (Maignien, 1969).

### **I.2.3.2 Données concernant les conditions du milieu**

Il est fondamental de préciser ces données car l'étude d'un sol ne peut être dissociée de celle des facteurs qui contribuent à son individualisation et son évolution (Maignien, 1969).

De ce fait, l'étude du sol en dehors de son environnement ne permet aucune interprétation pédogénétique et ne saurait aboutir à des propositions de mise en valeur (Djili, 2003). Ainsi, les données à fournir concerne l'aspect du site, l'altitude, le relief, la pente, le climat, la végétation, la géologie, le drainage, l'inondation, l'érosion, la pierrosité de surface et l'environnement humain.

#### **1) Site**

##### **a) Modélé ou géomorphologie**

Djili (2003) a conclue, que l'étude de la forme, du modèle, de la dynamique et de l'histoire du modèle topographique est très importante pour comprendre le sol dans ses divers aspects actuels, dans sa genèse et dans ses relations avec les sols voisins.

##### **b) Altitude**

Les effets de l'altitude sont importants, elle provoque, en particulier, une augmentation très sensible des teneurs en matières organiques. Il y a donc lieu de distinguer les sols de montagnes des sols de niveaux inférieurs (Maignien, 1969).

### **c) Relief**

Selon Maignien (1969), on distingue le relief général du microrelief de la surface du sol. La forme d'un paysage se caractérise par l'allure générale du relief. On peut reconnaître quatre classes de paysages.

- Paysage accidenté : région constituée d'un ensemble de collines à surfaces subhorizontales réduites et à pentes supérieures à 25%.
- Paysage ondulé : région constituée par un ensemble de collines à surfaces horizontales réduites et à dominance de pentes de 8 à 25%.
- Paysage largement ondulé : ensemble de collines ou de plateaux à grandes surfaces subhorizontales, coupées par des pentes qui varient de 8 à 25 %.
- Paysage plan : paysage constituée par des unités horizontales et subhorizontales dont les pentes ne dépassent pas 8%.

### **d) Pente**

La pente induit la circulation des eaux en dehors et dans le profil. Cette donnée est fondamentale pour la compréhension de la pédogénèse. Les données à préciser concernant la pente sont, la longueur, l'exposition, la forme et la valeur (Maignien, 1969).

## **2) Climat**

Le climat est un agent puissant de la pédogénèse qui influe par le biais de la pluviométrie, la température, la durée d'insolation, les vents...etc. Il est décrit à partir de la station météorologique la plus proche ou par interpolation à partir des stations météorologiques environnantes.

Il reste important de commenter le climat de la région étudiée et le classer (Djili, 2003).

## **3) Végétation ou système de culture**

Sans aller jusqu'à une étude phytosociologique, un certain nombre de caractéristiques sont à préciser. Le type de formation (savane, steppe, prairie, plantation arbustive, champs cultivés et autres), et leurs hauteurs, l'espèce dominante, degré de recouvrement du sol. (Pour avoir une idée sur les possibilités d'ensoleillement à la surface du sol, les risques de l'érosion et le renouvellement du stock organique) (Maignien, 2003).

### **4) Géologie (Roche-mère et matériau originel)**

L'étude détaillée de la roche mère permet de bien comprendre le comportement et la dynamique du sol (Djili, 2003).

D'après Maignien (1969), la nature de la roche influence sensiblement sur les caractéristiques du sol

### **5) Drainage**

Le drainage du sol selon Maignien (1969), se réfère à la manière dont les excès d'eau sont évacués à la fois à la surface des sols et au sein des profils. On distingue généralement le drainage externe, qui exprime la façon selon laquelle l'eau est évacuée en surface, du drainage interne qui caractérise les possibilités de percolation de l'eau à travers le profil.

Le drainage externe fait appel aux données d'observation directes. Il est sous la dépendance à la fois de la pente et de la porosité du sol. On distingue entre le drainage nul, très lent, lent, moyen, rapide et très rapide.

### **6) Inondation**

Maignien (1969), explique qu'il peut y avoir inondation de la surface étudiée soit par suite d'une évacuation défectueuse des eaux accumulées, soit par suite d'un apport excessif d'eau par débordements d'une rivière ou ruissellement accéléré des zones amont. On distingue entre les sols longuement inondés, périodiquement inondés, parfois inondés, exceptionnellement inondés, jamais inondés.

### **7) Erosion**

Les marques de l'érosion sur le sol sont décrites en détail car elles permettent de préciser les types d'aménagement compatibles avec l'équilibre du milieu. On distingue les deux types classiques d'érosion : par le vent et par l'eau (érosion éolienne ou hydrique). On indique s'il y a décapage ou apports et on signale les formes et les horizons atteints, la superficie couverte.

En plus des formes de l'érosion, on indique le pourcentage de surface érodée, et si c'est possible, les relations avec certains facteurs (déboisement, construction de route, travail du sol, etc.) (Maignien, 1969).

### **8) Pierrosité de surface**

La pierrosité de surface est représentée par les éléments grossiers supérieurs à 2 mm présents en surface, parfois partiellement enterrées (Baize et Jabiol, 2011).

La présence des pierres, qui sont définies par Baize (2016), comme étant des éléments grossiers dont la plus grande dimension est comprise entre 5 (ou 7.5) et 20 cm.

On peut décrire leur abondance (en % de recouvrement de la surface), nature et leurs dimensions (Djili, 2003).

### **9) Environnement humain**

D'après Djili (2003), l'homme joue un rôle important dans la modification des propriétés des sols. Ce rôle peut être positif par l'apport de matière organique, assainissement, chaulage ou négatif par l'érosion, monoculture...etc.

Pour cela il est utile de bien situer le sol dans son environnement humain, on décrit les systèmes de culture (monoculture ou polyculture) et les grands travaux d'assainissement, irrigation, boisement, le type d'utilisation de la culture (pâturage, fauche), les aménagements apportés (drainage, irrigation), les techniques culturales (amendements, labours) et les aspects de végétation (chlorose).

### **I.2.3.3 Données propres au sol**

Il s'agit de reconnaître les différents horizons constituant le profil pédologique, et de préciser comment s'effectue le passage d'un horizon à un autre et de décrire chaque horizon commençant par l'horizon supérieur.

#### **1) Description des profils**

Djili (2003), définit le sol tout d'abord ; par son profil qui se caractérise par une morphologie qu'il faut décrire. Cette description contribue à l'identification du sol qui doit être analytique et complète.

L'énumération des caractéristiques de la morphologie montre qu'il s'agit là d'une opération longue et complexe qui demande beaucoup de temps, même pour un pédologue entraîné. Il est donc pratiquement impossible d'effectuer ce travail de caractérisation sur tous les profils.

On limite l'observation exhaustive à ceux qui sont considérés comme représentatifs des unités cartographiées. L'étude de leur extension se fait à l'aide d'observations plus rapides à la sonde.

### 2) Limite des horizons

Les horizons sont des volumes superposés entre lesquels des limites plus ou moins nettes et plus ou moins sinueuses peuvent être définies. Ces dernières sont en fait des surfaces cubes tridimensionnelles (Baize, 2011).

On note l'épaisseur des horizons en indiquant en centimètres de haut en bas la profondeur des différentes limites (fig. 04).

La limite supérieure est la surface du sol minéral. L'épaisseur des différents dépôts organiques superficiels (litière) est notée de bas en haut à partir de la surface du sol minéral (Djili, 2003).

Les limites entre les horizons diffèrent en netteté et régularité. La distinction dépend partiellement du contraste entre les horizons et partiellement de la netteté de la limite ou de l'importance de la transition entre un horizon et le suivant (Maignien, 1969).



**Figure 04.** Epaisseurs des horizons de sol (Ruellan, 2010).

- **La netteté** : C'est la largeur de la transition. On définit les classes suivantes :
  - Passage brutal : la transition est inférieure à 2 cm.
  - Passage distinct : la transition a de 2 cm à 5 cm.
  - Passage graduel : la transition se situe entre 5 et 15 cm.
  - Passage progressif (ou diffus) : la transition est supérieure à 15 cm.
- **La régularité** : Cette donnée concerne la forme de la transition. Elle peut être soit :
  - Régulière : la limite est pratiquement parallèle à la surface du sol.
  - Ondulée : la limite constitue des poches jointives dont la largeur est supérieure à la profondeur.
  - Irrégulière : la limite constitue des poches jointives, dont la profondeur est supérieure à la largeur.

- Discontinue : il s'agit de parties d'horizons non jointives.

### 3) Profondeurs des horizons

Baize (2011) présente la profondeur des horizons comme étant la position par rapport à la surface de terrain, et relativement aux autres horizons éventuellement présents. Elle est notée par sa profondeur d'apparition et par la profondeur d'apparition de l'horizon qui lui suit immédiatement. Ces profondeurs sont, par convention, notées en centimètres, du haut vers le bas (fig. 06), à partir de la surface du terrain, donc il s'agit de cotes négatives mais le signe «-» est sous-entendu.



**Figure 05.** Profondeur des horizons (Mathieu, 2020).

Donc les horizons sont décrits par les cotes de leurs limites supérieures et inférieures et non pas par l'épaisseur.

Exemple : l'horizon 2 de la figure 07 est situé entre 30 et 70 cm.

### 4) Etat d'humidité

L'humidité du sol dépend dans une large mesure des antécédents climatiques et de la saison. Dans certains cas, elle peut renseigner ou expliquer certains processus pédologiques (hydromorphie, taches d'oxydoréductions...etc.) (Djili, 2003).

C'est une appréciation subjective portée sur le terrain avec une sensation tactile, aussi avec le comportement mécanique : un échantillon plastique et malléable paraît humide ou plus, un échantillon friable ou fragile ne semble « frais » ou sec, un sable « bouillant » est sec (Baize, 2011).

D'une façon générale, on distingue cinq (05) états d'humidité (Djili, 2003).

- Sec : humidité inférieure au point de flétrissement.
- Frais : humidité intermédiaire entre la capacité au champ et le point de flétrissement.
- Humide : humidité voisine de la capacité au champ : absence d'eau libre, « échantillon malléable » (Baize, 2011).
- Très humide : présence d'eau libre saturant tout ou partie de la porosité de l'horizon.
- Noyé ou saturé : l'eau libre sature toute la porosité de l'horizon, il baigne dans une nappe phréatique.

Il ne faut pas oublier que l'humidité assombrie la couleur des horizons donc il faut la prendre avec attention lors de la distinction des horizons.

### **5) Couleur**

Selon Djili (2003), la couleur est l'indice le plus immédiatement visible dans la description du profil. C'est un reflet de très nombreuses caractéristiques pédologiques (matière organique assombrie le sol ; le calcaire lui donne une teinte claire). Cependant, il n'existe pas une relation quantitative stricte entre la couleur et les caractéristiques pédologiques.

Dans un horizon, la couleur peut être uniforme ou bariolée (présence des taches). Dans ce cas il faut d'abord décrire la couleur dominante de la matrice de sol.

La couleur est une notion très subjective. Pour standardiser le langage pédologique, on a recours à des couleurs de référence regroupées dans des chartes, comme : la charte Munsell des couleurs (fig. 06), qui est constituée de pastilles colorées pour comparer l'échantillon de terre. Dans cette charte, la couleur varie en fonction de trois (03) variables.

#### ➤ **Hue**

Appelée aussi gamme, il s'agit de la couleur dominante. Elle est notée par un symbole en haut à droite et précède par un chiffre. Exemple : 5 YR.

Le symbole est extrait du nom anglais de cinq (05) couleurs majeures.

- R : Red pour rouge.
- Y : Yellow pour jaune.
- G : Green pour vert.
- B : Blue pour bleu.
- P : Purple pour pourpre.

Chaque couleur est divisée de 0 à 10.

#### ➤ **La value**

Appelée aussi valeur, qui s'agit de la luminosité relative de la couleur, ceci convient à un mélange de noir absolu (0) et de blanc (10), ce qui donne une teinte grise. Cette notation s'étend de 2.5 (plus foncée) à 8 (plus claire).

➤ **Le chroma**

Appelée aussi l'intensité, c'est la pureté de la couleur : C'est un mélange entre la hue et la value. Elle augmente de gauche (0) à droite (10). Cette notation est symbolisée par des chiffres arabes de 1 à 8 (Djili, 2003).

Lorsque l'on note les couleurs, il est indispensable d'indiquer principalement les observations faites à l'état humide, et facultativement à l'état sec.



**Figure 06.** Charte de Munsel (Munsell soil color charts, 1994).

**6) Matière organique**

Sur terrain, on décrit la matière organique facilement à partir de la nature de débris directement décelables dans la litière, feuilles, aiguilles, pailles, tiges, écorces, fruits, mousses...etc. lorsque les débris organiques ne sont pas directement décelables, on peut évaluer sa teneur à partir de la couleur et de la consistance (Jabiol *et al.*, 2011).

Maignien (1969), énonce qu'il est important de signaler tout d'abord si l'horizon est enrichi en matière organique ou non, on cherche à préciser grossièrement cet enrichissement. Les horizons sont classés suivant leurs teneurs en matière organique et on essaie de préciser le type d'humus. Pour cela, ils sont soit :

- Organiques : avec plus de 20% de matière organique s'il est sableux, et plus de 30% s'il est argileux. La morphologie est dominée par les matériaux organiques qui se reconnaissent facilement par leur aspect fibreux.

## *Chapitre I : Revue bibliographique*

- Moyennement organiques : avec des teneurs de 6-8 à 20-30 % (en fonction de texture) de matière organique. Ils sont fortement assombris. Il est difficile de reconnaître la matière organique du complexe minéral.
- Faiblement organiques : 2 à 6 % de matière organique. Au-dessous de cette teneur on ne qualifiera pas les horizons d'organiques.

Dans la recherche de ces caractéristiques, il faut se méfier de la couleur. Un assombrissement du profil n'est pas forcément lié à une augmentation des teneurs en matière organique. Certains sels ferreux, le manganèse noircissent les horizons. On se limite donc aux caractéristiques nettement définies et reconnaissables.

### **7) Teneurs en calcaire**

Selon Maignien (1969), le carbonate de calcium a une profonde influence sur la morphologie des profils. En particulier, il oriente l'évolution de la matière organique ; il freine le lessivage de l'argile. Il est donc important de signaler la présence ou l'absence de ce matériau.

On a une idée de la teneur en  $\text{CaCO}_3$  en projetant sur le profil à l'aide d'une pissette de l'acide chlorhydrique froid 50% et l'on observe s'il y a effervescence ou non. On se rappelle qu'un sable calcaire réagit plus vigoureusement qu'une marne aux teneurs en carbonate comparable. On distingue entre les classes de calcaire suivantes.

- Non calcaire : aucune effervescence.
- Peu calcaire : très faible effervescence, juste visible, mais étant nettement perceptible à l'oreille.
- Calcaire : effervescence visible.
- Très calcaire : forte effervescence.

En cas de présence d'accumulations calcaires (pseudo mycélium, concrétions, poupées, nodules), on indique la localisation du carbonate, son abondance et si besoin, leurs formes et leurs tailles.

### 8) Texture

La texture rend compte de la composition granulométrique de l'horizon considéré. Elle s'exprime par la teneur relative de différentes fractions granulométriques dont le diamètre moyen est inférieur à 2 mm.

Sur terrain on peut manipuler un échantillon de terre, qui est pris de son milieu, et après enlèvement des éléments grossiers, en le malaxant dans la main. Cette manipulation nous permet d'interpréter le comportement de sol en le mettant en parallèle avec sa granulométrie. Ce comportement mécanique a été traduit par Jabiol et *al.*, (2011) de la façon suivante.

- L'argile : humide colle aux doigts avec possibilité de façonner toutes les formes (anneau et autres) et sans cassure.
- Le limon : sec, procure la même sensation que le talc et, humide, forme une pâte qui ne colle pas aux doigts et s'effrite.
- Les sables fins : donnent une impression de rugosité sous les doigts.
- Les sables grossiers : s'observent à l'œil.

Entre ces trois pôles (argileux, limoneux et sableux), on distingue des classes intermédiaires et une classe centrale dans laquelle ces trois pôles sont en quantité équivalente (il s'agit de la texture équilibrée).

### 9) Éléments grossiers

Les différents horizons des sols ne sont pas toujours composés uniquement de fractions granulométriques inférieures à 2 mm. Ils contiennent des éléments plus grossiers en proportion appréciable. Il s'agit des graviers, cailloux, pierres et blocs (tab. 01).

On décrit pour chacun leurs formes (arrondies, anguleuses, sub-anguleuses...etc.), leurs natures (calcaires, siliceuse, gréseuse...etc.) et leur abondance souvent appréciée à partir d'une surface et exprimée en pourcentage (Jabiol et *al.*, 2011).

Les éléments grossiers influencent la dynamique des sols non seulement par leur nombre et leur taille, mais également par leur composition et leur forme. Comme ces matériaux sont facilement observables, on peut faire des distinctions détaillées. Mais d'une façon générale, on ne retiendra que les données qui peuvent avoir une influence effective sur le sol, et principalement, sur l'infiltration et l'écoulement des eaux de percolation, sur le

développement et la croissance des racines, sur la protection des particules fines qui peuvent être entraînées par érosion (Maignien, 1969).

### **10) Structure**

La structure de sol est le mode d'assemblage des constituants solides du sol, minéraux et/ou organiques. C'est un état du sol, variant à court terme, par exemple selon les saisons. Elle dépend directement de la texture mais aussi de l'état des colloïdes, de la teneur en eau ou en matière organique (Gobat et *al.*, 2010).

Un agrégat (ped en anglais) est un solide géométrique naturel qui conserve une forme individuelle spécifique (déterminée lorsqu'on le manipule). Constitué par des éléments de terre fine et éventuellement par des éléments grossiers liés entre eux par des ciments colloïdaux ou des forces de cohésion variées qui peuvent être plus ou moins réversibles. Chaque agrégat est séparé des agrégats voisins par des surfaces de moindre résistance (Maignien, 1969).

Selon Baize (2011), on décrit la structure selon la présence ou la non présence d'agrégats, les formes d'agrégats, leurs dimensions, leurs nettetés.

### **11) Porosité**

Selon le degré d'humectation, les vides du sol sont occupés en majeure partie, soit par l'eau, soit par l'air. Leur ensemble représente la porosité, une propriété de sol qui reflète le volume des vides du sol (Gobat et *al.*, 2010).

Il faut distinguer entre la vraie porosité qui est à déterminer au laboratoire et qui est une caractéristique d'ordre quantitatif avec celle décrite sur terrain.

En 1969, une étude de Maignien a démontré que dans la porosité, il faut distinguer la porosité vraie qui est une porosité diffuse et qui est plutôt une caractéristique d'ordre quantitatif à déterminer au laboratoire et la description des cavités qui est une caractéristique autant qualitative que quantitative.

Sur le terrain, il s'agit d'apprécier l'abondance de pores visibles à l'œil nu soit sur une section de la masse de l'horizon dans le cas d'un horizon non structuré, soit sur une section des unités structurales. Il faut donc faire une distinction entre cette porosité à l'intérieur des agrégats et la porosité correspondant aux espaces qui séparent les unités structurales.

## *Chapitre I : Revue bibliographique*

On pourrait donc parler de micro et de macroporosité en tenant compte pour celle-ci des fentes de retrait qui peuvent avoir une influence considérable sur le drainage du sol en début d'irrigation.

En ce qui concerne la porosité à l'intérieur des agrégats on peut employer les qualificatifs suivants, après observation à la loupe, compact, assez poreux, très poreux. Les cavités apparentes sont classées en cavernes, fissures, alvéoles, tubes suivant leurs formes ou dimensions.

Il faut également vérifier s'il y a communication entre les différentes cavités, ce qui facilite la circulation des eaux. Certains horizons paraissent très poreux mais sont en fait peu perméables car les cavités sont entièrement isolées et ne communiquent pas les unes avec les autres. On parle parfois de porosité vésiculaire.

En se rapportant uniquement à l'aspect actuel de la porosité globale, on distingue trois classes au niveau de chaque horizon.

- Très poreux : interstice facilement observable entre les particules. Lorsque le pied s'enfonce dans le sol celui-ci est souvent qualifié de creux ou de soulevée.
- Moyennement poreux : interstices entre particules peu visibles. Les racines s'installent mais sont peu garnies de poils. Le pied s'enfonce difficilement dans le sol, qui est parfois dit rassis.
- Peu poreux ou compact : aucun interstice entre les particules. Les racines ne pénètrent pas ou pénètrent mal. Le pied ne s'enfonce pas dans le sol qui est tassé (Maignien, 1969).

### **12) Consistance du matériau**

La consistance est le comportement mécanique du sol à l'égard d'une force. Sur le terrain, on se limite à ce qui peut être apprécié au doigt et à l'œil. La consistance comprend les caractéristiques exprimées par le type et le degré de cohésion, d'adhésion ou par la résistance à la déformation ou à la rupture.

Elle est sous la dépendance étroite de l'humidité et est définie par les limites d'Atterberg. En pratique, sur le terrain les tests appliqués varient suivant les degrés d'humidité.

- Etat Sec : humidité inférieure au point de flétrissement permanent (pF4.2). Les caractéristiques de l'horizon sont sa fragilité ou sa résistance à l'éclatement.

## *Chapitre I : Revue bibliographique*

- Etat Humide : humidité se situe entre le point de flétrissement et la capacité au champ (pF4.2 et pF2.54). L'horizon est à l'état plastique, c'est-à-dire qu'il peut subir une déformation sans rupture.
- Etat Trempé : humidité supérieure à la capacité au champ. Le sol est à l'état pâteux ou pseudo-fluide. Il peut s'écouler sous son propre poids.

D'une façon générale, la détermination de la consistance s'effectue soit au niveau de l'horizon, soit au niveau des agrégats lorsque cela est possible.

### **a) Consistance à l'état sec**

A ce degré d'humidité, l'échantillon se caractérise soit par sa rigidité, ou sa fragilité. Il présente une résistance maximum à la pression, une tendance plus ou moins grande à être écrasé en poudre ou en fragments à arêtes aigues. Par pression, le matériau écrasé ne peut devenir à nouveau cohérent.

Pour estimer les différents degrés de cet état, on cherche à briser une certaine quantité de matériau sec entre les mains et à écraser les fragments entre les doigts.

On distingue les classes suivantes.

- Meuble : non cohérent.
- Peu cohérent : le matériau est fragile. Il tombe en poudre ou en grains individuels sous faible pression.
- Moyennement cohérent : l'échantillon est peu résistant à la pression, mais la résistance est sensible. Il peut facilement être brisé entre le pouce et l'index.
- Dur : l'échantillon résiste à la pression. Il peut sans difficulté être brisé entre les mains, mais résiste à l'écrasement entre le pouce et l'index.

### **b) Consistance à l'état humide**

A ce degré d'humidité le sol montre une forme de consistance qui se caractérise par une tendance à se briser en fragments plus petits, une tendance à se déformer avant rupture, une fragilité, une possibilité à devenir à nouveau cohérent par pression des fragments.

Comme la résistance à l'écrasement diminue avec le degré d'humidité, la valeur des tests est limitée par l'appréciation de cette humidité.

## *Chapitre I : Revue bibliographique*

Pour estimer ces valeurs, on écrase et on serre dans la paume de la main et entre les doigts, une certaine quantité de terre légèrement humide. On reconnaît les classes suivantes.

- Très friable : le matériau s'écrase facilement sous faible pression. Il n'offre pas de résistance sensible. Il redevient cohérent après une nouvelle pression.
- Friable : le matériau s'écrase sous une légère pression nettement perceptible. Il redevient cohérent après une nouvelle pression.
- Ferme : le matériau s'écrase sous une pression modérée. La résistance à l'écrasement est très sensible. Il ne devient plus cohérent après une nouvelle pression.
- Très ferme : le matériau ne s'écrase que sous une forte pression et très difficilement entre le pouce et l'index.
- Extrêmement ferme : le matériau résiste pratiquement à toute pression. Il faut le briser morceau par morceau.

### **c) Consistance à l'état trempé**

A cet état, on observe souvent des films d'eau à la surface des agrégats. Il peut être aussi possible de faire suinter l'eau en serrant fortement l'échantillon dans le creux de la main. Pour les plus fortes humidités, on apprécie l'adhésivité sinon on détermine le degré de plasticité (Maignien, 1969).

#### **➤ Adhésivité**

Le test s'appuie sur la propriété du sol à adhérer à d'autres objets. Pour son évaluation sur le terrain, le matériau est pressé entre le pouce et l'index, puis en écartant les doigts on note le type d'adhérence. On détermine les classes suivantes.

- Non collant : après pression, pratiquement aucun matériau n'adhère au pouce et à l'index.
- Peu collant : après pression, le matériau adhère au pouce et à l'index, mais se détache de l'un d'eux lorsque l'on écarte les doigts, sans qu'il soit étiré d'une façon notable.
- Collant : après pression, le matériau adhère au pouce et à l'index. Il a tendance à s'étirer un peu, puis à se rompre plutôt qu'à se détacher d'un des doigts lorsque l'on écarte ces derniers.
- Très collant : après pression, le matériau adhère au pouce et à l'index, et s'étire fortement lorsqu'on écarte les doigts.

### ➤ **Plasticité**

La plasticité est la propriété d'un matériau qui consiste pour ce dernier à changer continuellement de forme sous l'influence d'une pression et de conserver cette forme après suppression de la pression. Pour déterminer sa plasticité sur le terrain, on roule le matériau entre les doigts et l'on essaie de faire un pàton cylindrique de plus en plus fin.

On détermine les classes suivantes.

- Non plastique : on ne peut pas former de rouleau.
- Peu plastique : on peut former un rouleau et il est nécessaire d'appliquer une pression modérée pour déformer la masse.
- Très plastique : on peut former un rouleau et il faut appliquer une forte pression pour déformer la masse.

### **13) Cohésion**

La cohésion peut être appréciée au niveau de l'horizon ou au niveau des agrégats. Il faut distinguer entre la cohésion réversible et la cohésion irréversible. Dans le premier cas, la cohésion disparaît en tout ou en partie sous l'action de l'humidité, dans le second cas, le matériau reste cohérent même en milieu très humide. Il s'agit alors d'une cimentation.

#### **a) Cohésion réversible**

D'après Maignien (1969), au niveau de l'horizon, cette propriété n'a pas de sens physique précis. Elle ne se définit que par un effort physique correspondant à une utilisation particulière qui varie suivant la nature de l'outil employé.

Le terme « meuble » qui s'oppose au terme « cohérent » se définit par l'absence de cohésion entre les éléments de petite taille à sec, il y a formation d'un talus d'éboulement. On peut distinguer la cohésion vraie qui résulte de l'action de liaisons internes homogènes (pour sa détermination on est ramené aux tests de la consistance des sols à l'état sec) et la pseudo-cohésion dont les effets similaires sont dus à des causes externes variées, non homogènes, par exemple : enchevêtrements d'éléments, frottement dû au poids d'éléments (instruments aratoires, glacier...etc.), comme c'est le cas pour les semelles de labour et peut-être pour certaines formations particulières de sols.

#### **b) Cimentation**

## *Chapitre I : Revue bibliographique*

La cimentation se réfère à une consistance dure et fragile, causée par un liant autre que les minéraux argileux (carbonates, silice, sesquioxydes...etc.). Elle implique que l'induration ne change pas ou peu avec l'humectation. La cimentation peut être homogène ou discontinue à l'intérieur d'un horizon. Suivant le cas, elle sera appréciée au niveau de l'horizon ou au niveau des éléments cimentés (Maignien, 1969).

On distingue les catégories suivantes.

- Peu cimenté : la masse est fragile et dure mais peut être brisée entre les mains.
- Cimenté : La masse se brise difficilement entre les mains. Elle se façonne facilement à l'aide d'un instrument tranchant (bêche, couteau).
- Fortement cimenté : la masse ne peut plus être brisée entre les mains. Elle se façonne difficilement à l'aide d'un instrument tranchant. Elle se brise sous le choc du marteau.
- Très cimenté : la masse se brise difficilement au marteau qui rebondit en choc. Le matériau résonne sous l'influence du coup (Maignien, 1969).

### **14) Enracinement**

L'étude du système racinaire est extrêmement importante pour la définition des conditions du milieu. Il existe en effet des relations étroites entre les faits pédologiques et le mode de développement du système racinaire (Djili, 2003).

Maignien (1969), indique qu'il est important de signaler.

- La nature des racines en distinguant : les grosses racines lignifiées, vivantes et mortes, les racines herbacées, le chevelu des racines absorbantes.
- Les espèces auxquelles appartiennent les racines, lorsque cela est possible.
- La taille des racines : grosses (plus de 10 mm de diamètre), moyennes (2 à 10 mm), chevelues (moins de 2 mm).
- La répartition des racines entre et dans les horizons ainsi leurs abondance.
- La direction de pénétration des racines et la façon dont elles prospectent le sol. Il faut indiquer si les racines suivent des fentes ou des lignes de moindre résistance et si les poils absorbants pénètrent ou ne pénètrent pas à l'intérieur des agrégats. Il arrive fréquemment que des racines buttent sur un horizon plus cohérent, et s'étalent horizontalement au sommet de ce dernier (par exemple, une semelle de labour, un niveau d'engorgement, etc.).

## *Chapitre I : Revue bibliographique*

- L'état sanitaire des racines se décrit le plus souvent par la présence des pourritures. Dégagent des odeurs butyriques, ou par des blessures sur les racines provenant de l'action d'animaux, ou du contact avec certains matériaux durs et coupants (quartz par exemple).
- On précise enfin les liaisons qui peuvent exister entre la présence des racines et certaines formations (traînées rouilles dans les horizons de surface, langue de marmorisation, concrétions, gley...etc.).

### **15) Taches**

Elles sont le reflet des processus physico-chimiques du sol (oxydoréduction, rubéfaction, décoloration...etc.) mais peuvent être également héritées ou dues à la nature du matériau original.

Les taches sont décrites lorsqu'il y a une différence de couleur par rapport à la matrice. Elles ne doivent pas être plus dures que la matrice, donc la tâche ne doit se différencier par rapport au fond matriciel que par la couleur. Si en revanche, la tache a une tendance à la concrétisation, elle sera décrite comme élément secondaire. Il faut décrire la nature des taches, leurs abondances, leurs couleurs, leurs formes et dimensions, leurs contrastes avec la matrice, leurs limites et leurs distributions dans le profil (Djili, 2003).

### **16) Formations particulières**

Selon Maignien (1969), ces formations dont la liste ci-jointe n'est pas exhaustive, sont parfois importantes car elles correspondent à des processus pédogénétiques particuliers qui permettent d'interpréter les profils.

- Revêtement argileux (Coatings en anglais) représentés par de minces pellicules d'argiles qui se déposent dans certains horizons sur les unités structurales ou le long des fentes de retrait. Ces revêtements sont plus ou moins épais et plus ou moins continus. On indique leur emplacement, leur épaisseur, la présence éventuelle d'une stratification, leur couleur et leurs formes.
- Les faces de glissement ou (slickensides en anglais) symbolisent les faces luisantes et striées qui s'observent sur certains agrégats et dont l'origine est liée au frottement de deux masses l'une sur l'autre à la suite du gonflement différentiel d'argiles.

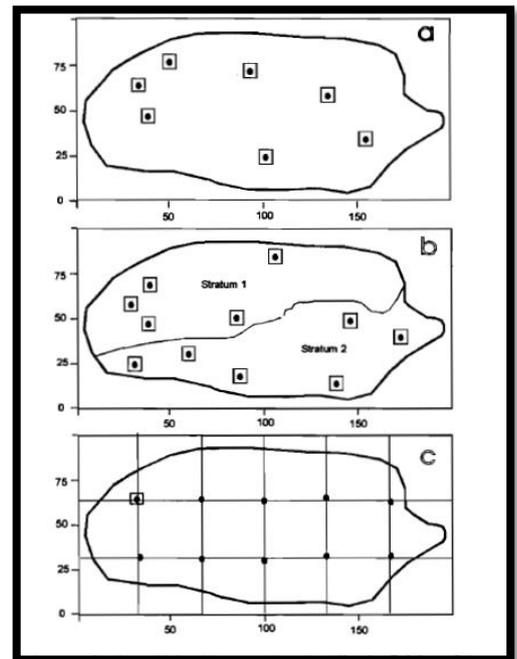
Il est tout de même important de signaler la présence des tubes ferrugineux indiquant d'anciennes racines, des morceaux de charbon de bois, de poteries, de débris divers confirmant des contaminations et des remaniements, des formations dues à la faune du sol comme les galeries d'insectes ou d'animaux fouisseurs, déjections de vers de terre, etc., et des Efflorescences salines diverses, montrant leur degré de cristallisation, couleur, goût, etc.

### I.2.4 Echantillonnage du sol

Pepin (1997), définit l'échantillonnage comme étant l'ensemble du processus ayant pour objet la réalisation d'échantillons représentatifs d'un milieu naturel (sols, eaux de surfaces ou eaux souterraines, déchets).

Cette opération a pour objectif d'être le plus représentatif du milieu qu'il est censé représenter.

La base de la pédologie est l'étude du profil du sol et des propriétés physiques du sol. Les propriétés physiques du sol sont essentiellement déterminées en laboratoire. Une telle recherche en laboratoire nécessite l'obtention d'échantillons de sols représentatifs. Pour répondre à une telle exigence, des échantillons de sols sont prélevés soit à la main soit par outils appropriés (tarière, bêche...etc.) (Van Der Lecq, 2007), après avoir élaboré un plan d'échantillonnage, qui consiste à localiser les différents prélèvements.



**Figure 07.** Quelques types de plans d'échantillonnage d'un site (Crépin et Johnson, 1993 cité par Pansu et *al.*, 1998).

#### I.2.4.1 Plans d'échantillonnage

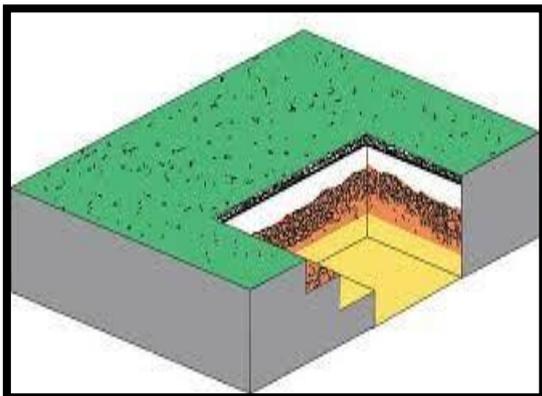
Une étape très importante précède l'opération d'échantillonner. Il s'agit d'établir un plan d'échantillonnage, après avoir définis ses objectifs et le degré de précision requis. Il existe plusieurs plans d'échantillonnage.

- Echantillonnage aléatoire : la localisation des points d'échantillonnage est déterminée, sur l'ensemble de la zone étudiée, de façon arbitraire (fig. 07a).

- Echantillonnage aléatoire stratifié : cet échantillonnage est une variante de échantillonnage aléatoire (fig. 07a), où la zone étudiée est subdivisée en zones ou entités plus homogènes appelés strates (fig. 07b).
- Echantillonnage systématique : l'aire d'étude est subdivisée grâce à un maillage régulier, carré, losangique ou triangulaire, au sein duquel les points d'échantillonnage sont déterminés par les nœuds du maillage ou localisé au centre de ces formes géométriques. La grille est placée soit de façon aléatoire, soit de manière à optimiser la couverture de la zone d'étude (fig. 07c) (Pellet et Laville-Timsit, 1993).

#### **I.2.4.2 Méthode d'échantillonnage**

Les prélèvements des échantillons de sol se font habituellement après avoir creusé une fosse (fig. 08 et 09) appelée en sciences du sol « profil pédologique ». Cette dernière est définie selon Baize (2011), comme étant un rectangle, en coupe longitudinale. Ses dimensions doivent permettre au prospecteur d'y descendre et de s'y mouvoir facilement pour avoir un peu de recul lors de l'observation, et aussi pour qu'il puisse s'accroupir pour l'étude et le prélèvement des horizons les plus profonds. De ces différentes considérations et aussi pour des questions de prix de revient les dimensions moyennes suivantes sont souvent retenues : longueur = 150 cm, largeur = 75 cm et profondeur = 200 cm. Cette dernière valeur est évidemment à nuancer, car, elle dépend de l'apparition de matériau parental et des préoccupations du descripteur et de ses moyens (en temps, argent et main d-œuvre).



**Figure 08.** Schéma d'une fosse pédologique (favre, 2021).



**Figure 09.** Fosse pédologique (Rahmouni et Belhadj, 2014).

Pour économiser la fatigue de creuser et surtout diminuer de son coût, on peut exploiter des coupes naturelles ou artificielles telles que les berges de rivières (fig. 11) ou de ravines, les tranchées de route (fig. 10), les fossés d'assainissement, les fondations de bâtiments, etc.



**Figure 10.** Tranchée de route (Rahmouni et Belhadj, 2014).



**Figure 11.** Berges de rivières (Rahmouni et Belhadj, 2014).

### I.2.4.3 Techniques d'échantillonnage

Une fois le profil pédologique creusé, et les horizons pédologiques bien décrits du haut vers le bas du profil vient l'étape de l'échantillonnage du sol. La technique la plus utilisée est l'échantillonnage à la main avec des outils appropriés proposée par Baize (2011).

### I.2.4.4 Choix de l'emplacement des profils

Tant que le creusement d'une fosse est une opération coûteuse, il faut être attentif au choix précis de son emplacement. Il faut éviter les zones très perturbées, les zones de prairie occupées par du bétail, aussi il ne doit pas être fait au niveau des dépressions, rigoles et monticules, bords de champs (fossés et brises vent...etc.), endroits d'accumulation de fumure, de compost ou d'amendement, vérifier que l'endroit correspond à ce que l'on désire caractériser, par quelques sondages à la tarière. La fosse sur un versant, doit être orientée parallèlement à la pente. En revanche, sur terrain plat, la paroi principale de la fosse doit bénéficier du meilleur éclairage (Baize, 2011).

### I.2.4.5 Utilisation de la tarière pédologique

Parallèlement aux profils pédologiques utilisés pour une bonne description, des sondages peuvent être réalisés à l'aide de tarière pédologique (fig. 12). Un outil d'échantillonnage qui permet de prélever des carottes de terre dès la surface du sol.



**Figure 12.** Modèle standard d'une tarière pédologique (Roebroek, 2009).

Similairement, le choix de l'emplacement d'un sondage à la tarière relève des mêmes réflexions et précautions que celles préalables au creusement d'une fosse, il faut être particulièrement attentif à éviter les perturbations de surface peu visibles (trace de roue, galerie de rongeur...etc.). Cependant, cette méthode de prospection présente un certains nombres d'inconvénients (de nombreux caractères sont difficiles à décrire sur carottes). Baize (2011) résume les possibilités de décrire des propriétés avec la tarière dans le tableau 05.

**Tableau 05.** Possibilité de décrire des propriétés avec un sondage à la tarière (Baize, 2011).

Chapitre	Difficulté
Découpage du solum en horizons	Difficile, relevé obligatoirement incomplet, ou peu précis, impossible d'apercevoir poches, gloses, limite ondulées
Hétérogénéité interne des horizons-fond matriciel et traits pédologiques	Difficile, relevé obligatoirement incomplet, ou peu précis
Etat d'humidité	Possible sans difficulté
Couleurs	Possible sans difficulté
Plages de couleurs-signes d'hydromorphie	Difficile, relevé obligatoirement incomplet, ou peu précis, impossible pour formes, distribution, difficile pour le pourcentage de recouvrement
Texture	Possible sans difficulté
Eléments grossiers	Possible sans difficulté seulement pour graviers et gravillons, ou relevé obligatoirement incomplet, ou peu précis

## *Chapitre I : Revue bibliographique*

Structure	Impossible
Revêtements et traits pédologiques liés aux faces d'agrégats	Impossible
Vides-porosité	Impossible
Propriétés mécaniques	Relevé obligatoirement incomplet, ou peu précis, possible pour plasticité, adhésivité, compacité, impossible pour fragilité, friabilité
Racines	Relevé obligatoirement incomplet, ou peu précis, ou impossible, seulement absence ou présence
Effervescence à HCL-calcaire	Possible sans difficulté ou difficile, en présence de graviers calcaires, impossible d'observer une effervescence localisée
Éléments secondaires	Difficile ou relevé obligatoirement incomplet, ou peu précis, certains traits carbonatés n'apparaissent pas
Matières organiques	Difficile, relevé obligatoirement incomplet, peu précis, seulement par la couleur
Traces d'activités humaines et biologiques	Difficile, relevé obligatoirement incomplet, peu précis
Eau directement observable	Possible ou difficile, relevé obligatoirement incomplet, peu précis, difficile d'observer et de localiser les suintements
Roche sous-jacente-nature et état	Difficile ou impossible de faire la différence entre une pierre isolée et une roche dure continue
Prélèvements	Difficile
Interprétation pédogénétique des solums	Difficile et nécessite une grande expérience
Diagnostic relatif au réservoir en eau	Difficile ou impossible, nécessite l'estimation de la profondeur d'enracinement maximum
Dénomination des horizons et des solums	Difficile et nécessite une grande expérience

## *Chapitre I : Revue bibliographique*

Evaluation qualitative des couvertures pédologiques	Difficile et nécessite une grande expérience
---	--

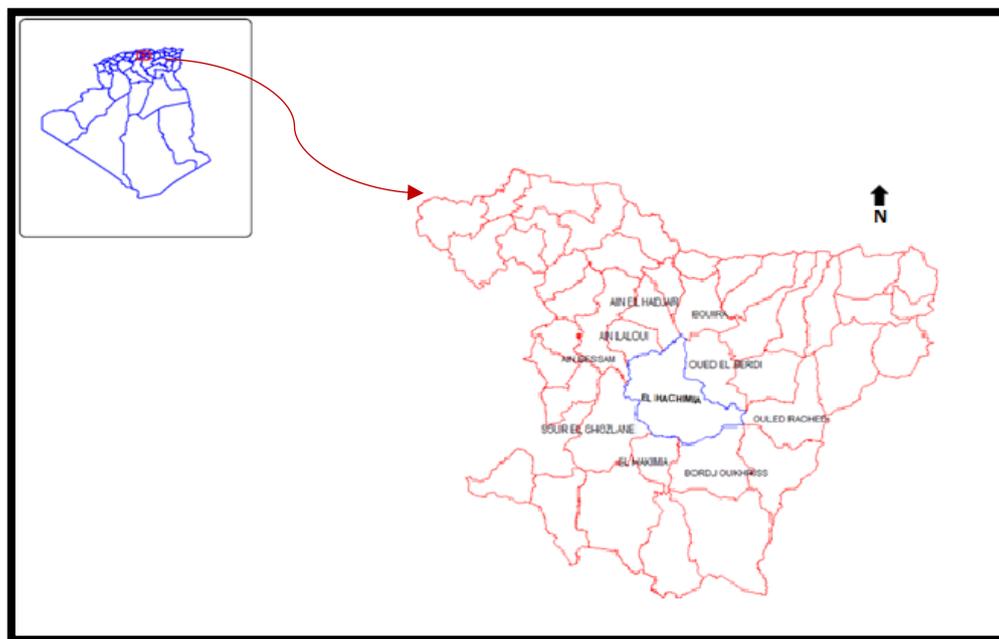
*Chapitre II*  
*Matériels et méthodes*

## II.1 Présentation de la région d'étude

### II.1.1 Localisation de la commune d'El Hachimia

El Hachimia est un chef-lieu de commune et de daïra qui englobe deux communes : El Hachimia et Oued El Berdi. Elle est d'une superficie de 250 km<sup>2</sup>, avec une population de 17510 habitants, selon le dernier recensement de la population en 2008 (Kateb, 2010).

La commune d'El Hachimia se situe au centre de la wilaya de Bouira. Délimitée au nord par la commune d'Ain El Hadjar, au nord -est par la commune d'Oued El Berdi, au sud-est par la commune de Bordj Oukhriss et au sud-ouest par le commune de Sour El Ghozlan (fig. 13).



**Figure 13.** Carte administrative de situation de la commune d'El Hachimia wilaya de Bouira (INCT, 2000).

### II.1.2 Climat

Le climat est de type méditerranéen chaud caractérisé par un été chaud et sec, et un hiver froid et pluvial. Deux données climatiques fondamentales doivent être prises en compte : la pluviométrie et la température (tab. 06) pour caractériser le climat d'une région (Houichi et Ait Zai, 2021). On note que les pluies sont caractérisées par une grande variabilité de leur intensité pendant l'hiver et l'automne.

## Chapitre II : Matériels et méthodes

A partir des données des précipitations et des températures, il est possible de représenter le Diagramme Ombrothermique de Bagnoule et Gausсен et le Climagramme d'Emberger.

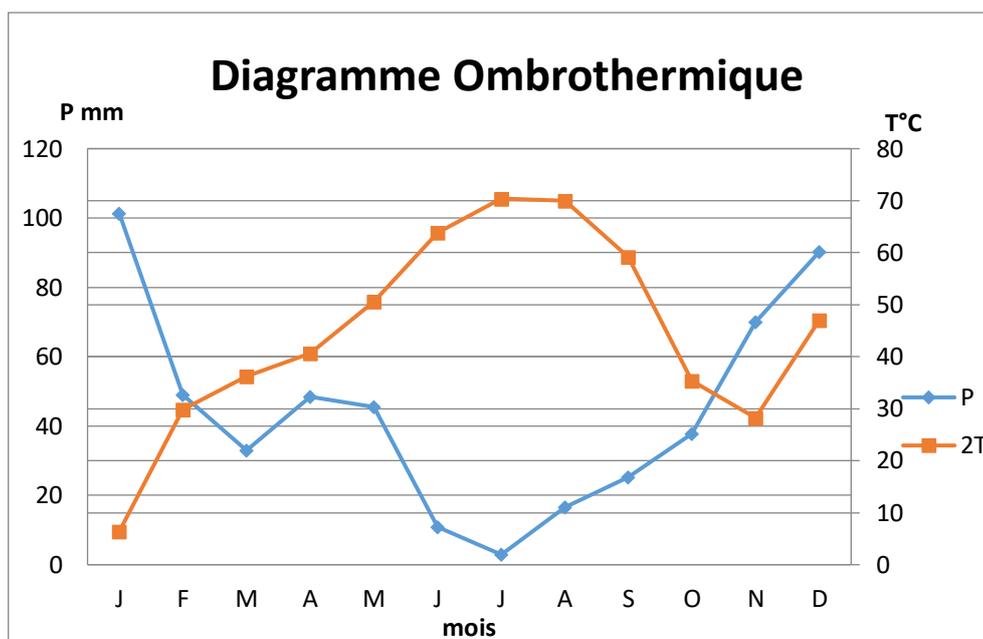
**Tableau 06.** Données climatiques moyennes de la région de Bouira de 1995 à 2004 (Station de Bouira 1995-2004) In (Mezrag et Ziane, 2014).

Mois/paramètre	Précipitations (mm)	Température Maximale (°C)	Température minimale (°C)	Température moyenne (°C)
<b>Janvier</b>	101.3	13.3	4.5	8.9
<b>Février</b>	49	14.9	4.3	9.6
<b>Mars</b>	32.9	18.1	6.5	12.3
<b>Avril</b>	48.7	20.3	7.9	14.1
<b>Mai</b>	45.4	25.3	12.3	18.8
<b>Juin</b>	10.9	31.9	16.9	24.4
<b>Juillet</b>	2.9	35.2	19.8	27.5
<b>Aout</b>	16.5	35	20.4	27.7
<b>Septembre</b>	25.3	29.6	16.9	23.2
<b>Octobre</b>	37.7	17.7	13.3	19.2
<b>Novembre</b>	69.9	14.1	8.4	13
<b>Décembre</b>	90.2	23.5	5.6	9.9
<b>Moyenne annuelle</b>	523.7	23.5	11.5	17.5

### II.1.2.1 Diagramme Ombrothermique de Bagnoule et Gausсен

Le diagramme ombrothermique de Gausсен et Bagnouls est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèches et humides de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), avec  $P=2T$  (Benseghir, 2006).

La figure 14 porte le diagramme ombrothermique de la région de Bouira établi à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de dix (10) ans de 1995 à 2004 indiqués sur le tableau 06.



**Figure 14.** Diagramme Ombrothermique de Bagnoule et Gausсен de la région de Bouira (1995-2004).

Le diagramme ombrothermique de la région de Bouira démontre deux périodes bien distinctes :

- Une période humide, qui s'étale à partir de la mi-octobre jusqu'à la fin du mois de février.
- Une saison sèche, qui s'étale à partir du mois de mars jusqu'à la première quinzaine du mois d'octobre.

### II.1.2.2 Climagramme d'Emberger

Le Climagramme d'Emberger permet, grâce au quotient pluviométrique d'Emberger (Q) spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique.

Ce quotient tient compte des précipitations et des températures, il est déterminé par la formule de STEWART (1968) :

$$Q=3.43 \times P/M-m$$

- Q : Quotient pluviométrique d'Emberger.
- P : Pluviométrie annuelle moyenne en mm = à 523.7mm.
- M : Moyenne maximale du mois le plus chaud = à 35.2°C.
- m : Moyenne minimale du mois le plus froid = à 4.3 °C (Benseghir, 2006).

Après application de la formule sur les données climatiques portées sur le tableau 06, la valeur de Q calculée est égale à 58. Cette valeur est positionnée sur le diagramme d'Emberger. Il en résulte que la région d'étude est située dans l'étage semi-aride à hiver doux (fig. 15).

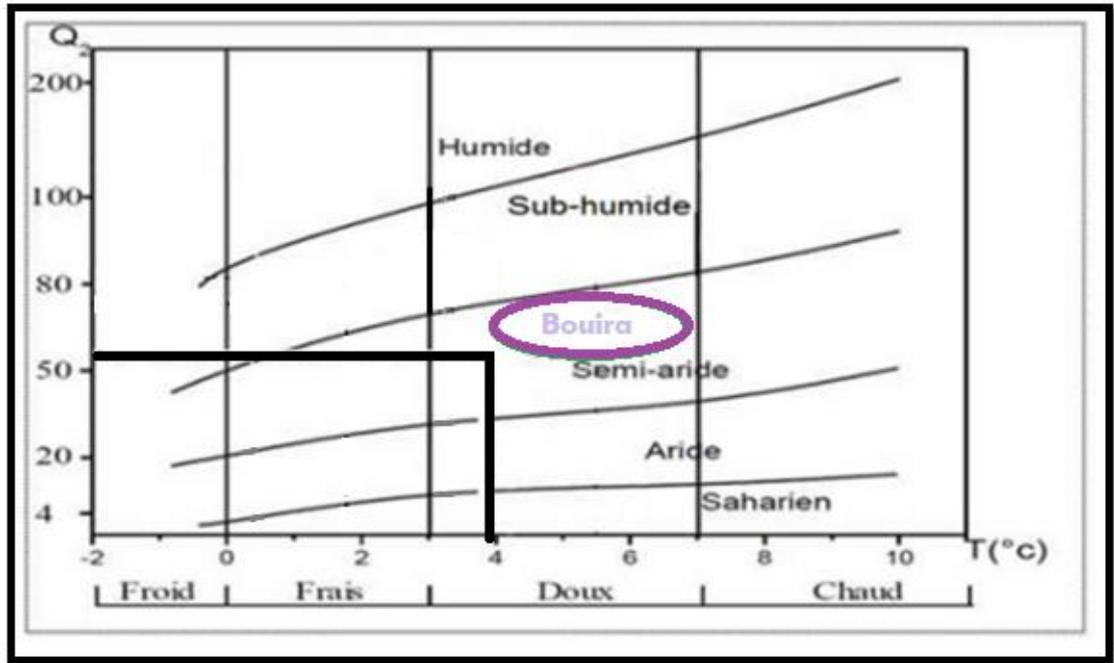


Figure 15. Etage Bioclimatique de la wilaya de Bouira (Mezrag et Ziane, 2014).

### II.1.3 Présentation de la ferme pilote

La ferme pilote « Si El Hachemi » située au niveau de la commune d'El Hachimia wilaya de Bouira, est une exploitation multi culture qui a été mise sur pied en 2001. Elle se trouve à la sortie de la commune d'El Hachimia à proximité de la route qui mène vers Sour El Ghozlan.

Il s'agit d'une vaste étendue dont la superficie est de 1555 ha. Ces surfaces sont occupées par des parcelles de différentes espèces végétales telles que le blé dur, blé tendre, colza, orge et les légumineuses.

La ferme possède également trois (03) vergers couvrant une surface de 7.5 ha dont 0.5 ha consacré pour la culture de figuier, 0.5 ha pour l'oléiculture et 6.5 ha pour la culture de l'amandier. La figure 16 montre les différentes parcelles de cette ferme.



**Figure 16.** Ensemble des parcelles de la ferme pilote Si El Hachemi (Kadi, 2022).

La surface agricole totale de la ferme pilote (SAT) est de 1555 ha. La surface agricole utilisable (SAU) est de 1550ha, et la surface inculte est de 5 ha.

Pour ce qui est de la nature des sols de la ferme, exception faite pour une parcelle qui est de texture limono-argileuse, toutes les autres parcelles sont argileuses avec une capacité de rétention d'eau très élevée, alcalins (pH compris entre 7.5 et 8.12), non salés et faiblement pourvus en matière organique (Kadi, 2022).

### II.2 Etude morphologique sur terrain

L'étude porte sur la caractérisation des sols de la ferme pilote «Si El Hachemi» au niveau de la commune d'El Hachimia (wilaya de Bouira). Pour achever cet objectif des sondages et des profils pédologiques ont été réalisés sur une parcelle incitée inculte.

Avant de prélever les échantillons et de les analyser au laboratoire, une description morphologique des profils et sondages est réalisées. Les résultats des analyses de laboratoire sont interprétés et statistiquement traités par la suite.

En parallèle de cette étude, des fiches d'analyses déjà réalisées par la ferme pilote sont exploitées et commentées afin de mieux comprendre ces sols.

La description morphologique a porté sur deux (02) profils pédologiques et trois (03) sondages (fig. 17) (réalisés à l'aide de tarière) géoréférencés. Pour mener à bien cette description morphologique, nous avons adopté une fiche de description (annexe 1) réalisée auparavant dans le but de ne pas oublier un paramètre dans la description. Il est à noter que la description des sols se fait toujours à partir des horizons de surface jusqu'aux horizons de profondeur.

Cet échantillonnage nous a permis de prélever quinze (15) échantillons de sol qui sont analysés ultérieurement au niveau du laboratoire « Sols » de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terres (SNV-ST) de l'université de Bouira.



**Figure 17.** Carte d'implantation des profils pédologique et sondages au niveau de la parcelle étudiée (Google Earth, 2022).

### II.3 Etude analytique

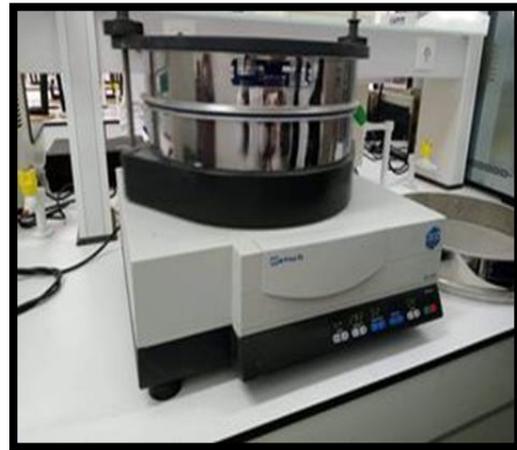
L'étude morphologique du sol est suivie d'une étude analytique des échantillons prélevés. Pour ce faire, les échantillons sont transmis aux laboratoires. La comparaison de l'ensemble des résultats, tant morphologiques qu'analytiques, permet d'exploiter globalement les données en vue de l'application.

Les prélèvements sont placés dans des sacs étiquetés bien fermés, puis ramené au laboratoire pour être analysés. Les échantillons de sol prélevés doivent être préparés à l'avance. La préparation des échantillons est nécessaire pour le rendre représentatif à l'analyse. Elle comprend les étapes suivantes :

- On sépare les gros agrégats, les pierres et cailloux et le reste des plantes.
- On utilise un rouleau pour briser les grosses mottes de terre.
- On met les échantillons prélevés sur du papier journal pendant une période de temps
- Après séchage (fig. 18), on sépare la terre fine par tamisage mécanique à 2mm comme la figure 19 l'illustre.



**Figure 18.** Séchage des échantillons prélevés.



**Figure 19.** Tamisage mécanique.

De cette façon, la terre fine est prête à être employée au laboratoire. Avant d'analyser le pH du sol, les teneurs en calcaire total, et la conductivité électrique, il est important de déterminer les teneurs en humidité résiduelle à deux (02) humidités différentes. Et en déduire par la suite les teneurs en gypse. Pour chaque analyse nous avons effectués deux répétitions.

### III.3.1 Détermination de l'humidité résiduelle

On utilise la méthode de séchage à l'étuve :

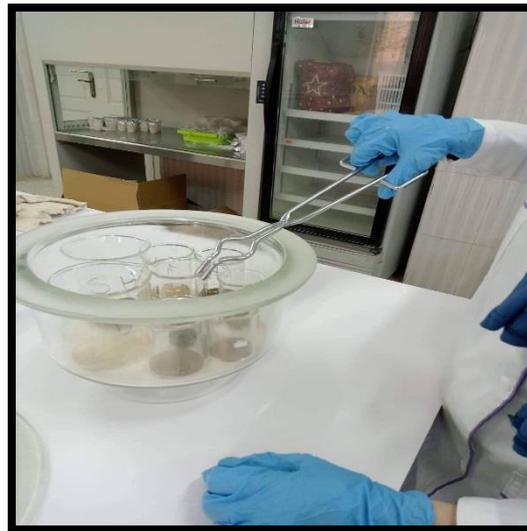
- On pèse 10g de la terre fine (fig. 20).
- On met le bécher à l'étuve à 68°C pendant 48h (fig. 21).
- On retire le bécher de l'étuve et refroidi dans dessiccateur, puis on le pèse.
- On le remet dans l'étuve à 105°C.
- On retire le bécher de l'étuve et on le laisse refroidi dans dessiccateur (fig. 22), puis on le pèse.



**Figure 20.** Pesée de 10g de terre fine.



**Figure 21.** L'étuve à 68°C.



**Figure 22.** Refroidissement de l'échantillon du sol dans dessiccateur.

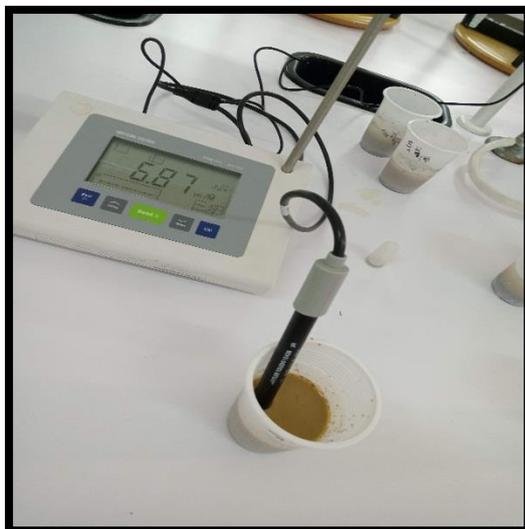
### III.3.2 Détermination du pH du sol

Le pH est un facteur important du sol. Il peut jouer sur la solubilisation des éléments nutritifs, sur leur absorption par les plantes, il conditionne l'évolution biologique du sol (le pH intervient sur l'activité des micro-organismes du sol).

Le pH est mesuré par la méthode potentiométrique (exploitation des électrodes d'un matériel donné ici, le pH-mètre) sur une suspension terre/liquide égale à 1/2.5 ou 2/5 (Daoud, 2011).

- On pèse dans un flacon d'agitation 20g de terre fine.

- On ajoute 50 ml d'eau distillée et on agite pendant 30 min.
- On mesure le pH avec pH-mètre étalonné, en plongeant l'électrode dans la suspension.
- On lit les valeurs quand le lecteur stabilisée (fig. 23).



**Figure 23.** Mesure de pH par pH-mètre.

### III.3.3 Détermination de la salinité du sol

La salinité du sol s'exprime avec le principe de conductance. On détermine ainsi la salinité du sol en mesurant la conductivité électrique (teneur des sels solubles dans le sol) par le biais du conductimètre d'une solution de sol préparée avec un rapport sol/eau de 1/5. Pour ce faire, les étapes suivantes sont à respecter :

- On pèse 50g de la terre fine, après en introduire dans un flacon bouché de 1000 ml.
- On ajoute 250ml d'eau déminéralisée et on agite avec l'agitateur pendant 2h (fig. 24) après en laisse reposer jusqu'à la sédimentation de la terre.
- On transvase le liquide surnageant dans un bécher de 250 ml, après en passe à la mesure du conductimétrie avec un conductivimètre étalonné (fig. 25).
- On rince les électrodes avec l'eau distillé, après en mesuré la solution.

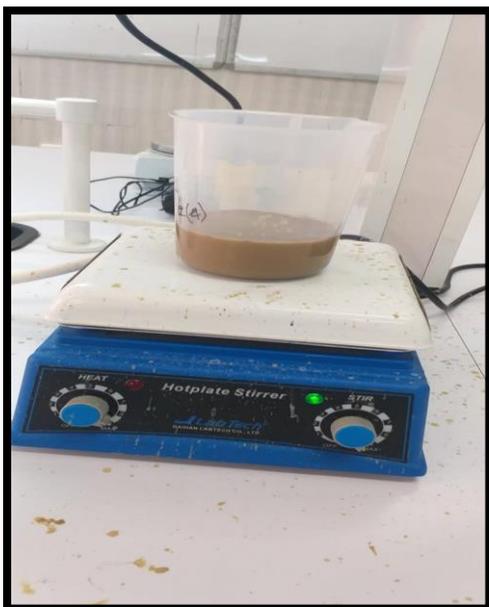


Figure 24. Agitation mécanique.



Figure 25. Mesure de la salinité par conductivitémètre.

### III.3.4 Calcaire total dans le sol

Dans notre étude on a utilisé une méthode volumétrique en utilisant le calcimètre de BERNARD (fig. 26), qui est basé sur la réaction caractéristique des calcaires en présence de l'acide chlorhydrique (HCl). Le principe est basé sur la réaction suivante :

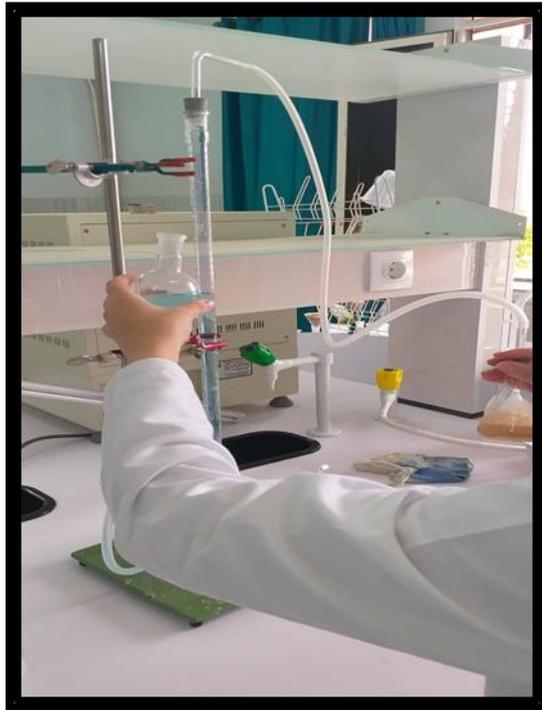


Il s'agit de comparer le volume de gaz carbonique dégagé après la réaction chimique d'un certain poids connu de terre à analyser avec un acide fort (HCl à 50%) à celui dégagé par la même réaction du même acide avec du carbonate de calcium pur et sec en quantité connue, à température et pression constantes (Daoud, 2011).

On a suivi les étapes suivantes :

- On étalonne le calcimètre avec une quantité de  $\text{CaCO}_3$ .
- On introduit 0.3 g de  $\text{CaCO}_3$  pur et sec au fond de l'erenmeyer.
- On met 5 ml d'HCl [6N] (50% d'HCl + 50% d'eau distillée) dans le petit tube de l'erenmeyer ou dans un petit tube à introduire dans l'erenmeyer en évitant de faire couler l'acide.
- On ferme convenablement l'erenmeyer en le raccordant au calcimètre.

- On règle la position de l'ampoule mobile jusqu'au le niveau du liquide est au niveau zéro de la colonne graduée. On maintient l'ampoule à ce niveau, après on ferme la pince et on incline l'erlenmeyer pour verser l'HCl sur le CaCO<sub>3</sub>.
- On agite pour favoriser la réaction. Le CO<sub>2</sub> dégagé comprime le liquide de la colonne.
- On abaisse l'ampoule mobile et on ramène au même niveau de la hauteur du liquide dans l'ampoule et dans la colonne, après on note le volume du CO<sub>2</sub> dégagé.



**Figure 26.** Calcimètre de Bernard.

Pour déterminer les taux de calcaire total, la formule suivante est utilisée :

$$\text{Calcaire totale en \%} = 30 V / V' P$$

P : Prise d'essai de l'échantillon.

V : Volume moyen de CO<sub>2</sub> dégagé par l'échantillon.

V' : Volume de CO<sub>2</sub> dégagé par 0.3g de CaCO<sub>3</sub> pur.

### **III.3.5 Détermination des teneurs en gypse**

Pour le dosage des teneurs en gypse, la méthode gravimétrique (Coutinet, 1965 cité par Ouamer Ali, 2009) devait être appliquée. Cette dernière est basée sur l'attaque du gypse par une solution de carbonate d'ammonium. Les sulfates qui en résultent sont précipités par une solution de chlorure de baryum sous forme de sulfate de baryum. Malheureusement, la deuxième étape de précipitation n'a pas pu être effectuée suite au refus de l'intégration des précipités de sulfate de baryum à l'intérieur du four à moufle par manque de hotte chimique de pailleuse. Pour cette raison, nous avons suivis une deuxième alternative pour déterminer les teneurs en gypse. Il s'agit de la méthode de Pouget (1968), qui est une méthode gravimétrique basée sur le séchage des échantillons de sol à différentes températures (68°C et 105°C) jusqu'à obtention de point constant. La différence entre les deux taux d'humidité représente le 1/5 du taux de gypse présent dans l'échantillon de sol. Cette méthode alternative a été testée par Rahmouni (2010) et les résultats obtenus ont montrés que la différence entre les teneurs en gypse obtenus par la méthode de séchage ou bien par la méthode au chlorure de baryum est sur le plan statistique non significatif.

Sur la base des données des humidités résiduelles, la teneur en gypse est déterminée selon la formule suivante :

$$\text{Taux de gypse \%} = [H_r(68^\circ\text{C}) - H_r(105^\circ\text{C})] * 5$$

### **III.4 Traitement statistiques**

Après avoir comparé les résultats des analyses différents paramètres étudiés avec les normes d'interprétations (annexe 2, 3, 4, 5, 6), ils ont subits une série de traitement statistiques réalisés avec le logiciel Excel et à un niveau de confiance de 95%. Il s'agit des traitements suivants : les statistiques descriptives et quelques corrélations entre les paramètres étudiés.

Tout d'abord les statistiques descriptives ont concernés l'étude de la moyenne, la médiane, l'écart-type et le coefficient de variation. Par la suite, il a été effectué les corrélations suivantes : calcaire/pH, calcaire/CE, calcaire/gypse, gypse/pH.

### **III.5 Etude d'un exemple de bulletin d'analyse de terre de la ferme pilote**

Dix bulletins d'analyse de terre émanant de la ferme pilote réalisés par le laboratoire agronomique « FERTIAL » (annexe 7) sont interprétés selon des normes d'interprétations. Il s'agit d'échantillon prélevé en 2010 sur une profondeur de 30 cm à partir de la surface du sol.

Les caractéristiques physico-chimiques des différentes parcelles étudiées sont la granulométrie, la conductivité électrique, le pH, le calcaire total, la matière organique, l'azote total, le phosphore assimilable, le potassium, le magnésium, le calcium et le sodium échangeable.

***Chapitre III***  
***Résultats et discussions***

### III.1 Caractérisation morpho-analytique du sol

L'étude pédologique nous a conduit à l'observation de deux profils de sols et trois sondages, répartis sur deux parcelles (fig. 27) de la ferme.

Afin de caractériser ces sols, nous présentons d'abord les caractéristiques morphologiques et ensuite la description détaillée pour chaque sondage et profile réalisés.



Figure 27. Vue générale de la parcelle étudiée.

#### III.1.1 Description morphologique général

##### III.1.1.1 Sondage S1

➤ **Données générales**

- Date et heure de description : 02/12/2021 à 10 h.
- Climat : Pluvieux très froid.
- Saison : Hiver.
- Coordonnées géographiques :
  - X : 3°48' 11.08" E.
  - Y : 36°12'54.56" N.
- Altitude : 794 m.
- Antécédent cultural : Blé tendre.
- Morphologie de terrain : Pente moyenne.
- Couleur de terrain : Brun clair (fig. 28).
- Couvert végétal : Nu.
- Etat d'humidité : Frais.
- Aspect de surface : Caillouteux.



Figure 28. Etat de surface avant creusement du S1.

➤ **Description morphologique du sondage S1**

Le tableau 07 montre les résultats de description morphologique du sondage S1.

**Tableau 07.** Les données propres au sol du sondage S1.

<b>Horizon</b>	<b>S1H1</b>	<b>S1H2</b>
<b>Profondeur (cm)</b>	0-20 cm	>20 cm
<b>Couleur</b>	2.5YR5/4	2.5YR4/6
<b>Texture</b>	Sablo –limono-argileuse	Sablo-limono –argileuse
<b>Réaction à l’HCl</b>	Vive effervescence	Forte effervescence
<b>L’enracinement</b>	Absence	Quelques traces
<b>Matière organique</b>	Absence	Absence
<b>Activité biologique</b>	Absence	Absence
<b>Taches</b>	Clares (calcaire) de petite taille et de forme arrondie	Clares (calcaire)
<b>Humidité</b>	Frais	Frais

Sur le plan morphologique, le sondage S1 nous a permis de distinguer entre deux (02) horizons S1H1 et S1H2. Ces derniers sont frais présentant une texture sablo –limono-argileuse, avec une vive effervescence à l’HCl (fig. 29) montrant la présence de calcaire dans le sol et parfois qui s’individualise en des taches claires de petite taille et de forme arrondie. La distinction entre ces deux horizons c’est effectuée par rapport à la couleur ou l’horizon H1 est plus foncé que l’horizon H2.



**Figure 29.** Réaction à l’HCl pour l’échantillon S1H1.

### III.1.1.2 Sondage S2

➤ **Données générales**

- Date et heure de description : 02/12/2021 à 10 h.
- Climat : Pluvieux très froid.
- Saison : Hiver.
- Coordonnées géographiques :  
X : 3°48'9.72" E.  
Y : 36°12'55.25" N.
- Altitude : 792 m.
- Antécédent cultural : Blé tendre.
- Morphologie de terrain : Pente moyenne.
- Couleur de terrain : Brun clair (fig. 30).
- Couvert végétal : Nu.
- Etat d'humidité : Frais.
- Aspect de surface : Caillouteux, résidus des racines.



**Figure 30.** Etat de surface avant de creusement de S2.

➤ **Description morphologique du sondage S2**

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats de description morphologique du sondage S2.

**Tableau 08.** Les données propres au sol du sondage S2.

Horizon	S2H1	S2H2
<b>Profondeur (cm)</b>	0-30 cm	>30 cm
<b>Couleur</b>	10YR4/3	10YR4/4
<b>Texture</b>	Sablo –limoneuse	Limono-argilo- sableuse
<b>Réaction à l'HCl</b>	Forte effervescence	Forte effervescence
<b>L'enracinement</b>	Présence de quelques racines de diamètre très fin	Absence
<b>Matière organique</b>	Absence	Absence
<b>Activité biologique</b>	Absence	Absence
<b>Taches</b>	Absence	Absence
<b>Humidité</b>	Frais	Frais

Pour le sondage S2, la distinction entre les deux (02) horizons est établie suite à la texture qui est plus sableuse en profondeur, et à la présence des quelques racines en premier horizon

S2H1 issues fort probablement des cultures précédentes. Mais à part ces deux (02) paramètres de séparation, le sol est de même couleur du haut en bas, et présentant une forte réaction à l'HCl (fig. 31) sans concrétisation (absence des taches).



**Figure 31.** Réaction à l'HCl pour l'échantillon S2H1.

### III.1.1.3 Sondage S3

➤ **Données générales**

- Date et heure de description : 02/12/2021 à 10 h.
- Climat : Pluvieux très froid.
- Saison : Hiver.
- Coordonnées géographiques :  
X : 3°48'4.79" E.  
Y : 36°12'54.00" N.
- Altitude : 793 m.
- Antécédent cultural : Blé tendre.
- Morphologie de terrain : Pente forte.
- Couleur de terrain : Brun clair (fig. 32).
- Couvert végétal : Nu.
- Etat d'humidité : Frais.



**Figure 32.** Etat de surface avant creusement du sondage S3.

- Aspect de surface : Très Caillouteux.

➤ **Description morphologique du sondage S3**

Le tableau 09 synthétise les résultats de description morphologique du sondage S3.

**Tableau 09.** Les données propres au sol du sondage S3.

<b>Horizon</b>	<b>S3H1</b>	<b>S3H2</b>
<b>Profondeur (cm)</b>	0-20 cm	>20 cm
<b>Couleur</b>	10YR4/6	10YR5/6
<b>Texture</b>	Sablo –limoneuse	Limono-argileuse
<b>Réaction à l'HCl</b>	Moyenne effervescence	Forte effervescence
<b>L'enracinement</b>	Présence de quelques racines de diamètre très fin	Absence
<b>Matière organique</b>	Absence	Absence
<b>Activité biologique</b>	Absence	Absence
<b>Taches</b>	De réduction en gris verdâtre	De réduction en gris verdâtre
<b>Humidité</b>	Frais	Frais

Les échantillons du sondage S3 sont similaires que les échantillons précédents vis-à-vis l'humidité, la matière organique et l'enracinement (fig. 33). Sinon, les sols sont de texture sablo-limoneuse en surface et limono-argileuse en sub-surface. Il est à noter la présence de quelques taches de couleur gris verdâtre montrant une ambiance physico-chimique particulière représentée par des réactions de réduction.

Après le creusement du deuxième horizon S3H2, un obstacle a été rencontré à une profondeur de 40 cm de la surface du sol sans pouvoir aller plus loin. Il s'agirait d'un encroûtement (d'une origine non déterminée) dur et que la tarière n'a pas pu creuser.

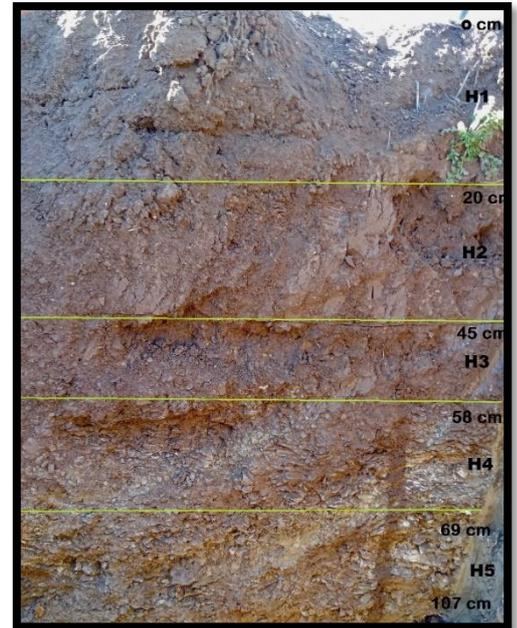


**Figure 33.** Enracinement de sondage S3.

### III.1.1.4 Profil P1

➤ **Données générales**

- Date et heure de description : 16/02/2022 à 9 h.
- Climat : Partiellement nuageux.
- Saison : Hiver.
- Coordonnées géographiques :  
X : 3°48'05.35"E.  
Y : 36°13'03.41"N.
- Altitude : 741 m.
- Antécédent cultural : Céréales.
- Morphologie de terrain : Pente faible.
- Couleur de terrain : Brun foncé (fig. 34).
- Couvert végétal : Mauvais herbes « brome » (fig. 35).
- Etat d'humidité : Frais.
- Aspect de surface : Caillouteux.



**Figure 34.** Profil P1.



**Figure 35.** Végétation de la surface pour le profil P1.



**Figure 36.** Opération de délimitation des horizons de profil P1.



**Figure 37.** Réaction à l'HCl pour le profil P1.

➤ **Description morphologique du profil P1**

Le tableau 10 synthétise les résultats de description morphologique du premier profil P1.

**Tableau 10.** Les données propres au sol du profil P1.

Horizons	P1H1	P1H2	P1H3	P1H4	P1H5
<b>Profondeur (cm)</b>	0-20 cm	20-45 cm	45-58 cm	58-69 cm	69-107 cm
<b>Humidité</b>	Frais	Frais	Sec	Sec	Sec
<b>Couleur</b>	7.5YR4/4	7.5YR4/4	7.5YR4/6	7.5YR5/4	7.5YR4/4
<b>Compacité</b>	Peu compact	Peu compact	Compact	Très compact	Très compact
<b>Transition</b>	Passage distinct	Passage distinct	Passage distinct	Passage brutal	Passage brutal
<b>Texture</b>	Limono-argilo-sableuse	Limono-argilo-sableuse	Sablo-limoneuse	Limono-argilo-sableuse	Sablo-limoneuse
<b>Réaction à l'HCl</b>	Moyenne effervescence	Moyenne effervescence	Forte effervescence	Vive effervescence	Vive effervescence
<b>L'enracinement</b>	Présence dense	Présence	Présence	Présence	Présence
<b>Matière organique</b>	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
<b>Activité biologique</b>	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
<b>Taches</b>	Absence	Absence	Claires	Absence	Absence
<b>Les éléments grossiers</b>	Absence	Absence	Présence	Absence	Absence

Le profil P1 est caractérisé par un enracinement dense essentiellement dans l'horizon de surface P1H1, une texture limono-argilo-sableuse au niveau des P1H1, P1H2 et P1H4. Une exception faite pour les horizons P1H3 et P1H5 qui sont sablo-limoneux

La différenciation entre les horizons est basée sur les paramètres suivant : couleur, compacité, transition, humidité et éléments grossiers. Ainsi, sur l'ensemble du profil qui est relativement foncé, l'horizon P1H5 présente la particularité d'être plus clair. De même, le sol qui est plus frais et peu compact en surface et en sub-surface devient plus sec et très compact en profondeur. Aussi, le sol réagit à l'HCl de la surface à sa profondeur et il est marqué par l'individualisation du carbonate de calcium sous forme de taches claires (formes et tailles) et de la présence des éléments grossiers.

Nous rajoutons que le profil P1 est dépourvu des traces de matière organique et d'activité biologique.

En définitive, les derniers horizons P1H3, P1H4 et P1H5 réagissent fortement à l'HCl (fig. 37), ou le P1H3 spécifie par une concrétisation sous forme des taches claires de calcaire aussi des éléments grossiers.

### III.1.1.5 Profil P2

#### ➤ Données générales

- Date et heure de description : 16/02/2022 à 10 h.
- Climat : Partiellement nuageux.
- Saison : Hiver.
- Coordonnées géographiques :  
X : 3°48'04.56"E.  
Y : 36°13'03.16"N.
- Altitude : 748 m.
- Antécédent cultural : Céréales.
- Morphologie de terrain : Pente faible (fig. 39).
- Couleur de terrain : Clair (fig. 38).
- Couvert végétal : Mauvaises herbes « brome ».
- Etat d'humidité : Sec.
- Aspect de surface : Caillouteux.

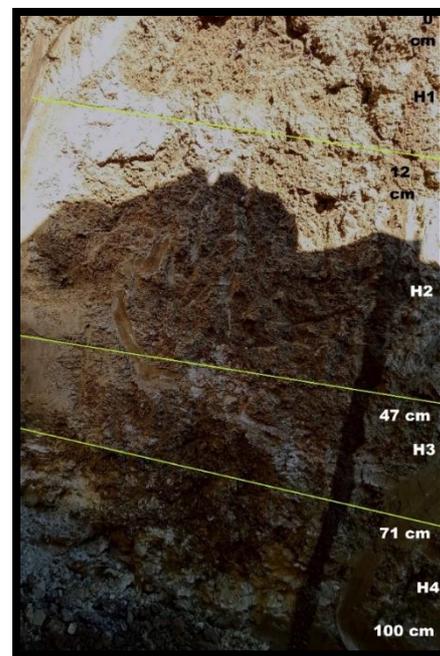


Figure 38. Profil P2.



**Figure 39.** Etat de la surface du profil P2.



**Figure 40.** Opération de délimitation des profondeurs des horizons de profil P2.



**Figure 41.** Réaction à l'HCl pour le profil P2.

➤ **Description morphologique du profil 2**

Le tableau 11 résume les résultats de description morphologique du profil P2.

**Tableau 11.** Les données propres au sol de profil P2.

<b>Horizons</b>	<b>P2H1</b>	<b>P2H2</b>	<b>P2H3</b>	<b>P2H4</b>
<b>Profondeur (cm)</b>	0-12 cm	12-47 cm	47-71 cm	71-100 cm
<b>Humidité</b>	Frais	Sec	Sec	Sec
<b>Couleur</b>	7.5YR5/6	7.5YR6/4	7.5YR6/6	5YR8/4
<b>Compacité</b>	Peu compact	Compact	Très compact	Très compact
<b>Transition</b>	Passage distinct	Passage distinct	Passage brutal	Passage distinct
<b>Texture</b>	Limono-argileuse	Limono-argileuse	Limono-argileuse	Limono-argileuse
<b>Réaction à l'HCl</b>	Vive effervescence	Vive effervescence	Vive effervescence	Vive effervescence
<b>L'enracinement</b>	Présence	Présence	Absence	Absence
<b>Matière organique</b>	Absence	Absence	Absence	Absence

<b>Activité biologique</b>	Absence	Absence	Absence	Absence
<b>Taches</b>	Absence	Clares	Clares	Clares
<b>Les éléments grossiers</b>	Absence	Absence	Absence	Présence

La description morphologique de profil P2, révèle que le sol est d'une texture limono-argileuse et frais, pour ce qui est d'horizon de surface et sec pour les autres horizons. Avec une vive effervescence à l'HCl (fig. 41), ce qui montre la présence de calcaire dans le sol présenté par des tâches claires au niveau des horizons de profondeur et de sub-surface P1H2, P1H3 et P1H4.

Le tableau 11 relève aussi des éléments grossiers au niveau de l'horizon de profondeur P1H4 qui sont de couleur très claire. Aussi, le sol présente une compacité croissante de la surface à la profondeur. Inversement, les racines sont observées en surface et en sub-surface. De manière semblable au premier profil, le deuxième est de même dépourvu de toutes traces de matière organique ou d'activité biologique.

## III.2 Description analytique

### III.2.1 Présentation des résultats

#### III.2.1.1 pH

Les résultats concernant les valeurs de pH sont représentés dans le tableau 12.

**Tableau 12.** Résultats analytiques relatives au pH de sol.

<b>Echantillon</b> <b>pH</b>	<b>Profil 1</b>	<b>Profil 2</b>	<b>Sondage 1</b>	<b>Sondage 2</b>	<b>Sondage 3</b>
<b>Horizon 1</b>	8.23	6.96	6.87	6.67	6.78
<b>Horizon 2</b>	7.99	6.9	6.88	6.79	6.79
<b>Horizon 3</b>	8.06	6.96	-	-	-
<b>Horizon 4</b>	8.37	7.09	-	-	-
<b>Horizon 5</b>	8.55	-	-	-	-

D'après le tableau ci-dessus, il s'avère que le profil P1 est plus alcalin comparativement à P2 et aux trois (03) sondages. Effectivement, les valeurs les plus élevées de pH sont enregistrées dans ce profil et surtout en profondeur (pH compris entre 7.99 à P1H2 et 8.55 à P1H5). Les autres échantillons de sol provenant des différents sondages ou du P2, sont neutres avec un pH de 6.67 pour S2H1 et 7.09 pour P2H4. Du fait, les sols analysés sont neutres à légèrement alcalins. Ces constatations sont confirmées par la représentation graphique en histogramme (fig. 42) qui montre clairement les valeurs supérieures de pH en P1 qu'en P2, S1, S2 et S3. Aussi, pour chaque sondage et horizon, il est remarqué une stabilité de pH quelle que soit la profondeur. En fait, les données analytiques de profile P1 (fig. 42) montre que le pH du sol est alcalin dans tout le profil. Les données analytiques sur le même tableau du profil P2 montre que le pH du sol est neutre dans tout le profil. Il n'y a pas une grande variabilité des valeurs de pH entre les quatre horizons du profil P2.

Les données analytiques des trois (03) sondages S1, S2 et S3 (fig. 42), montre que le pH du sol est neutre dans tous ses horizons. Et montre qu'il n'y a pas une grande variabilité en fonction de la profondeur.

Nous pouvons conclure que tous les sols étudiés sont neutres à l'exception du profil P1 qui est alcalin.

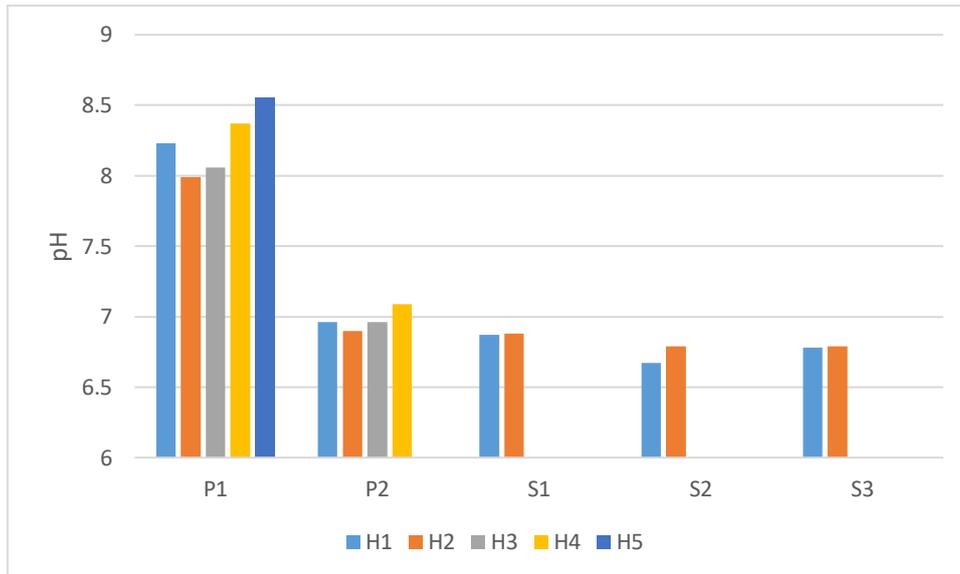


Figure 42. Représentation en histogramme des valeurs de pH.

### III.2.1.2 Conductivité électrique (CE)

Le tableau suivant représente les résultats de la CE pour les 15 échantillons de sol étudiés.

Tableau 13. Résultats analytiques relatives à la CE du sol.

Echantillon CE (dS/m)	Profil 1	Profil 2	Sondage 1	Sondage 2	Sondage 3
<b>Horizon 1</b>	0.231	0.185	0.360	0.228	0.204
<b>Horizon 2</b>	0.216	0.166	0.193	0.180	0.195
<b>Horizon 3</b>	0.177	0.150	-	-	-
<b>Horizon 4</b>	0.147	0.133	-	-	-

<b>Horizon 5</b>	0.129	-	-	-	-
------------------	-------	---	---	---	---

La conductivité électrique des quinze échantillons (tab. 13), enregistre des valeurs très faibles. La CE est comprise entre la valeur maximale de 0.360 dS/m en S1H1 et la valeur minimale de 0.133 dS/m enregistrée en P2H4 0.133 dS/m. Ainsi, les sols sont tous non salés (une CE toujours inférieure à 0.6 dS/m). Ceci supposerait que les sols étudiés ne reposent pas sur un support de nature saline. Il est remarqué aussi que tous les horizons de surface sont légèrement plus salés que les horizons de sub-surface et de profondeur. Chose qui est bien illustrée par la figure 43 qui donne la représentation graphique en forme d’histogramme des valeurs de CE. Effectivement, les profils salins sont tous marquée par une remarquable ascendance des teneurs en sels (exception faite pour le sondage 3 où les valeurs de CE sont relativement homogènes dans les 40 premiers cm du sol).

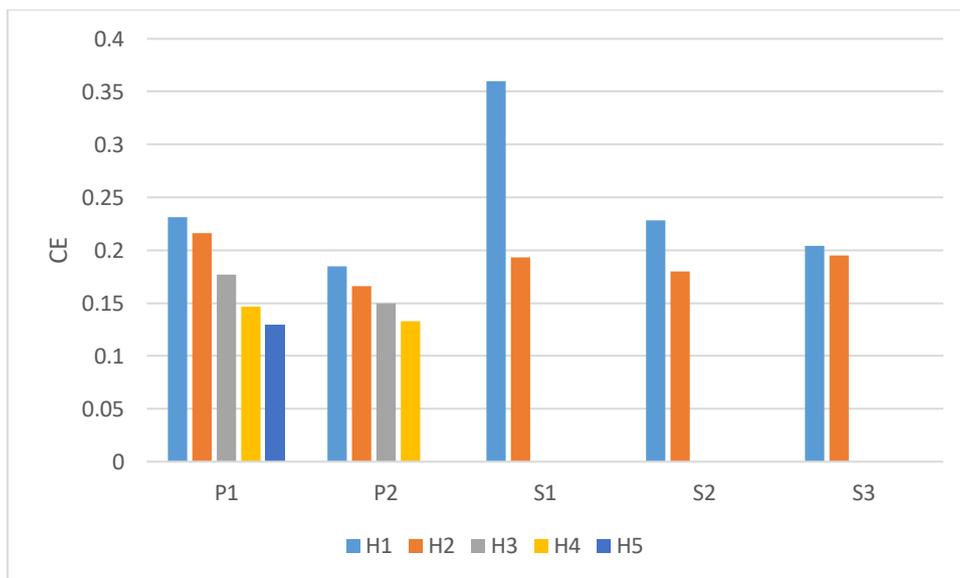


Figure 43. Représentation en histogramme des valeurs de CE en

### III.2.1.3 Calcaire total

Les résultats relatifs au calcaire total sont représentés dans le tableau 14 ainsi que la figure 44.

**Tableau 14.** Résultats analytiques relatives au calcaire total.

Taux de calcaire (%)	Profil 1	Profil 2	Sondage 1	Sondage 2	Sondage 3
<b>Horizon 1</b>	8.4	26.4	31.8	11.1	16.4
<b>Horizon 2</b>	11.7	29.1	31.3	8.84	18.4
<b>Horizon 3</b>	8.9	55.5	-	-	-
<b>Horizon 4</b>	12.9	75.5	-	-	-
<b>Horizon 5</b>	14.2	-	-	-	-

Les résultats analytiques du calcaire total (tab. 14) montrent que le profil P2 est le plus calcaire par rapport aux autres points de prélèvement. Le profil enregistre ses plus grandes valeurs en profondeur (75.5 % en P2H4), d'ailleurs c'est le seul parmi les profils et sondages effectués où l'on enregistre le plus grand écart en calcaire total entre la surface et la profondeur. Les bandes de l'histogramme relatives au profil P2 (fig.44) sont représentées d'une façon ascendante, au fur et à mesure qu'on descend en profondeur, le pourcentage de calcaire augmente. Les teneurs sont très fortes en profondeur et fortes en surface et sub-surface. Le reste des autres points de prélèvement (P2, S1, S2 et S3) restent plus ou moins homogènes en surface qu'en profondeur. Ici, les sols sont en majorité moyennement calcaires (teneurs comprises entre 10 et 25% de  $\text{CaCO}_3$ ), sinon, ils sont faiblement calcaires en P1H1 et P1H3.

Si on croise les résultats analytiques aux ceux obtenus sur terrain lors de la caractérisation morphologique (réactions positives à l'HCl pour tous les échantillons prélevés), nous pouvons conclure sur la nature calcaire qui caractérise les terrains étudiés.

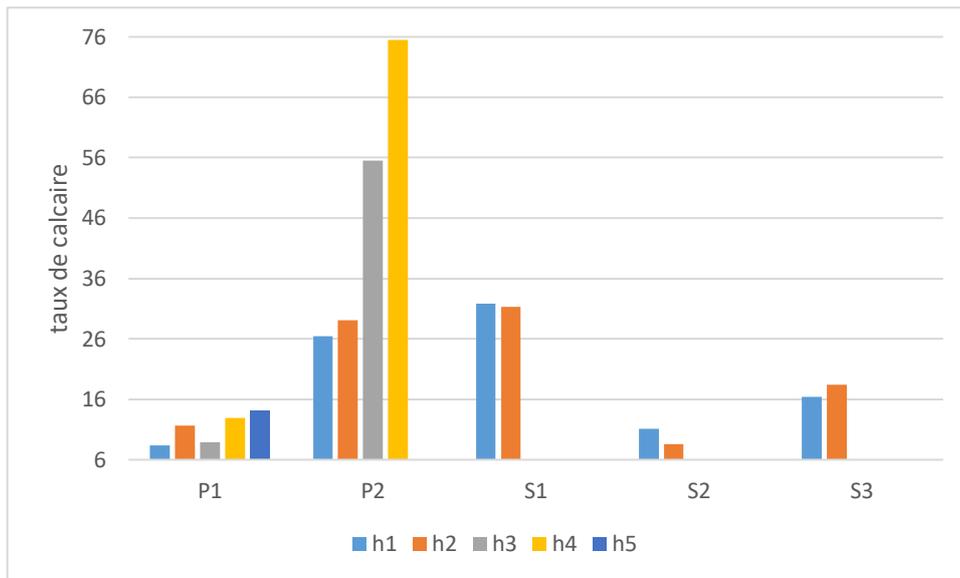


Figure 44. Représentation en histogramme des valeurs de calcaire total

#### III.2.1.4 Taux de gypse

Le tableau suivant montre les résultats de gypse obtenus pour l'ensemble des échantillons traités au laboratoire.

Tableau 15. Résultats analytiques relatives aux teneurs en gypse.

Taux de gypse (%)	Profil 1	Profil 2	Sondage 1	Sondage 2	Sondage 3
Horizon 1	3.4	8.45	6.9	4.9	4.35
Horizon 2	6.2	0	3.15	7.1	6
Horizon 3	3.45	0.55	-	-	-
Horizon 4	10.25	1.1	-	-	-
Horizon 5	4.4	-	-	-	-

Les résultats analytiques relatif aux teneurs en gypse montrent que les sols sont soit non gypseux (teneurs en gypse égale à 0 % en P2H2), faiblement gypseux (teneurs en gypse comprises entre 3 et 10 %) ou modérément gypseux (teneur légèrement supérieure à 10 % en P1H4).

L'allure de la représentation en histogramme (fig. 45) ne montre aucune tendance à l'accumulation du gypse que ça soit en surface ou en profondeur. L'origine du sel doit être confirmée par une étude relative aux différents intrants (fertilisants et amendements) qui sont utilisés par la ferme pilote afin d'enrichir le sol en sulfate et aussi, par des analyses complémentaires en termes de teneurs en gypse dans plusieurs endroits des parcelles de la ferme pilote. Il est aussi recommandé de suivre la méthode de référence (Coutinet, 1965) pour les analyses de gypse (pour avoir plus de précision) qui est basée sur l'attaque au carbonate d'ammonium et la récupération des sulfates sous formes de sulfates de baryum.

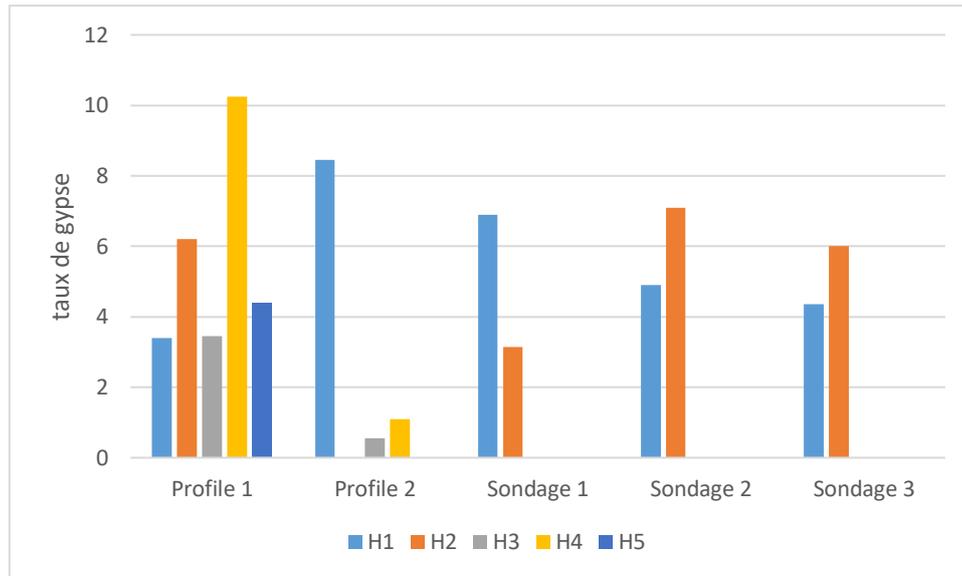


Figure 45. Représentation en histogramme des valeurs de taux de gypse.

### III.3 Traitement statistiques des données

Les résultats des différentes analyses du sol effectuées (CE, pH, taux de gypse, taux de calcaire total) ont subi une série de traitement statistique. Il s'agit des analyses statistiques standards (statistiques descriptives) qui permettent de déterminer la variabilité de chaque paramètre étudié.

#### III.3.1 Statistiques descriptives

Les statistiques descriptives permettent d'obtenir la moyenne, la médiane, l'écart type et le coefficient de variation des données à interpréter à un niveau de confiance de 95 %.

Le tableau présente les statistiques descriptives des variables pH, calcaire total, taux de gypse et CE.

**Tableau 16.** Statistiques descriptives des paramètres étudiés.

<b>Paramètres statistiques</b>	<b>pH</b>	<b>Calcaire total (%)</b>	<b>Gypse (%)</b>	<b>CE (dS/m)</b>
<b>Nombre d'échantillons</b>	15	15	15	15
<b>Moyenne</b>	7.32	24	4.68	0.19
<b>Médiane</b>	6.96	16.4	4.4	0.18
<b>Ecart type</b>	0.68	19.13	2.89	0.05
<b>Maximum</b>	8.55	75.5	10.25	0.36
<b>Minimum</b>	6.67	8.4	0	0.13
<b>Coefficient de variation (CV %)</b>	9.39	79.70	61.92	26.60

Les résultats statistiques (tab. 16) indiquent qu'en moyenne les sols étudiés sont légèrement alcalins. La valeur moyenne des pH étant égale à 7.32. Aussi, la moitié des échantillons ont un pH supérieur à 6.96. Les statistiques relatives aux pH montrent également, les valeurs de pH ne sont pas dispersées car le coefficient de variation (CV = 9%) est faible.

A propos des teneurs en calcaire total, les résultats du tableau montrent que les sols sont fortement calcaires (moyenne égale à 24 %) avec une variabilité des valeurs de calcaire total très élevée (CV = 73.3%) allant des teneurs de 8.4 % aux teneurs de 75.5 %. Notant que la moitié des échantillons sont modérément calcaires et dont les valeurs dépassent les 18.4%.

D'autre part, les teneurs en gypse des échantillons étudiés sont en moyenne faiblement gypseuses (moyenne égale à 4.68%). Les valeurs des teneurs en gypse oscillent entre 0 % et 10.25% et plus de la moitié des échantillons sont faiblement gypseux avec des teneurs qui dépassent les 4.4 %, mais elles présentent une variabilité très élevée (CV = 61.92 %).

Pour ce qui est du risque de salinité, les sols étudiés sont non salés (moyenne de CE étant égale à 0.19 dS/m). De plus, la moitié des échantillons possèdent des valeurs de CE supérieures à 0.185 dS/m. Les résultats présentent une variabilité modérée (CV% = 26.6 %).

### III.3.2 Profil moyen

Le profil moyen est une représentation sous forme d'histogramme dont l'axe des ordonnées (Y) est inversé afin de voir la tendance générale de l'accumulation des sels (calcaire, gypse et sels solubles) à l'intérieur du profil pédologique. Sa réalisation est faite en calculant la moyenne des teneurs en sels pour l'ensemble des horizons de surface (tous les H1 des profils et sondages). Par la suite, la moyenne des teneurs en sels pour l'ensemble des horizons de sub-surface (tous les H2 des profils et sondages). En dernier, les teneurs en sels des horizons restants (à partir des H3 des profils et sondages).

Une fois réalisé, les profils moyens sont de trois types : ascendants, descendants ou homogènes.

#### III.3.2.1 Profil moyen Calcaire

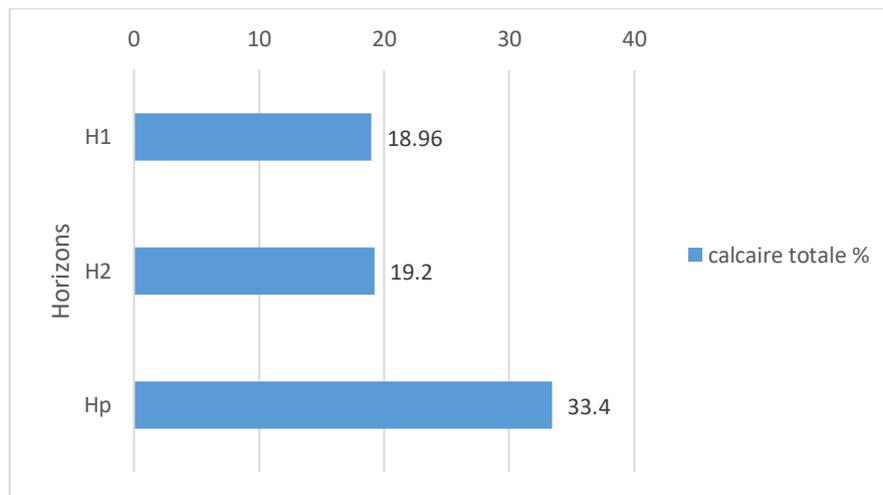


Figure 46. Profil calcaire moyen.

La représentation graphique montre que les horizons de profondeurs sont les plus calcaires (fortement calcaire) par rapport aux l'horizon du surface (H1) et sub-surface (H2).

Le profil moyen enregistre une augmentation de taux de calcaire de haut vers le bas. Le profil est de type ascendant. Le carbonate de calcium étant un sel très peu soluble, confirme l'hypothèse que les sols reposent sur un support d'origine calcaire.

### III.3.2.2 Profil moyen salin

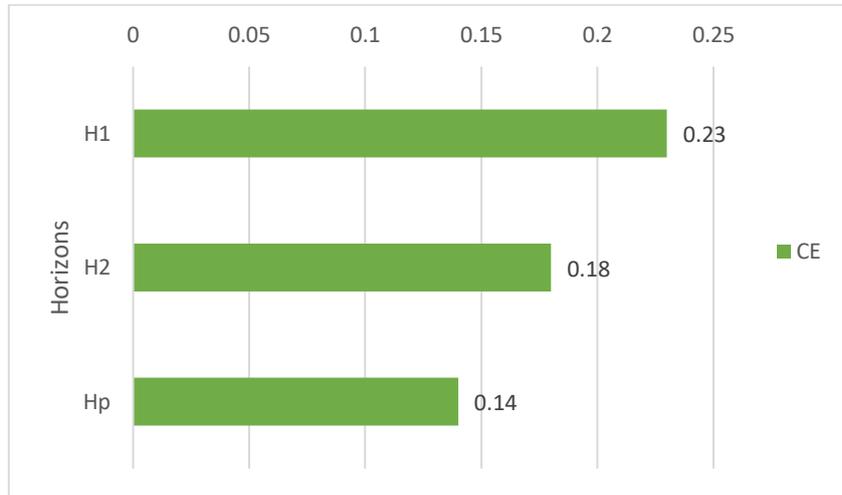


Figure 47. Profil salin moyen.

La représentation graphique du profil salin (fig. 47) montre que les horizons de surfaces sont les plus salins par rapport aux horizons de sub-surface (H2) et de profondeur (Hp). Le profil moyen salin est de type ascendant (une salinité qui augmente du bas du profil vers la surface du sol). En réalité, ce profil moyen n'est pas d'une grande utilité, car, les sols sont à la base non salés, ce n'est pas la peine donc de chercher l'origine des sels.

### III.3.2.3 Profil moyen gypseux

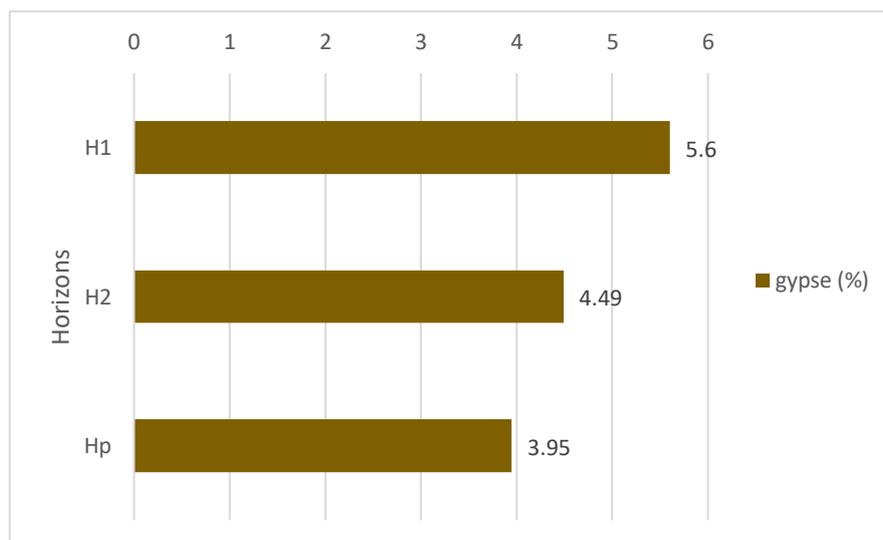


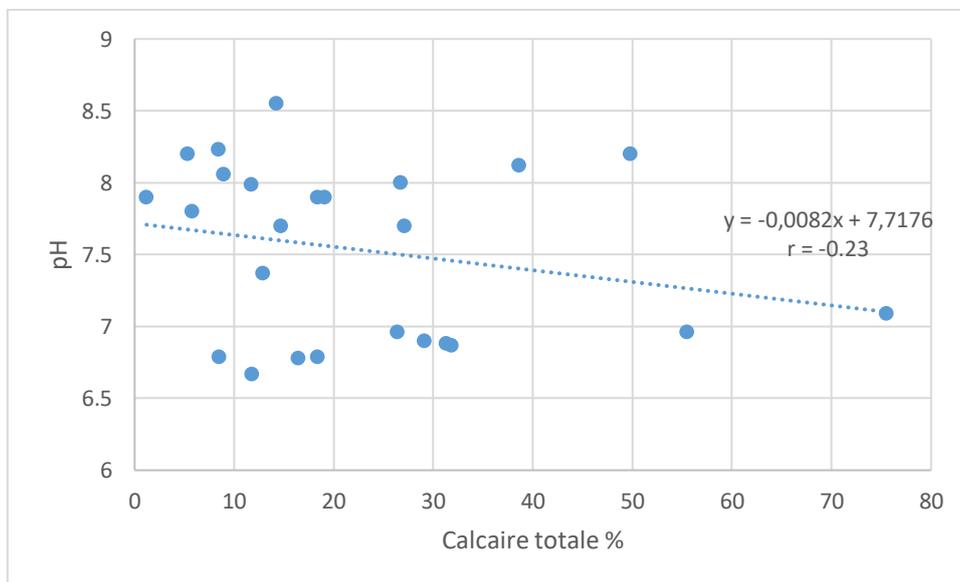
Figure 48. Profil gypseux moyen.

La représentation graphique montre que les horizons de profondeur sont les moins gypseux par rapport aux l'horizon de sub-surface (H2) et de surface (H1). Le profil gypseux est franchement ascendant. Tout le profil est faiblement gypseux avec des teneurs qui oscillent entre 4 et 5,5 %. Les sources en gypse sont probablement en relation directe avec les engrais sulfatés en association avec les éléments majeurs apportés lors de la fertilisation.

### III.3.3 Corrélations

Les caractéristiques physico-chimiques du sol sont reliées entre elles. Pour comprendre au mieux ces relations, nous somme conduit à établir un certain nombre de corrélations. Ces dernières consistent à établir un modèle mathématique (régression linéaire dans notre cas) reliant une variable aléatoire (à expliquer) à une autre variable (explicative) aléatoire on non. Ces corrélations sont réalisées sur un nombre de 15 échantillons pour les couples calcaire/gypse et gypse/pH et sur un nombre d'échantillons de 25 pour les couples calcaire/pH, et calcaire/CE après avoir introduit les données du bulletin des analyses du sol fourni par la ferme pilote.

#### III.3.3.1 Calcaire – pH



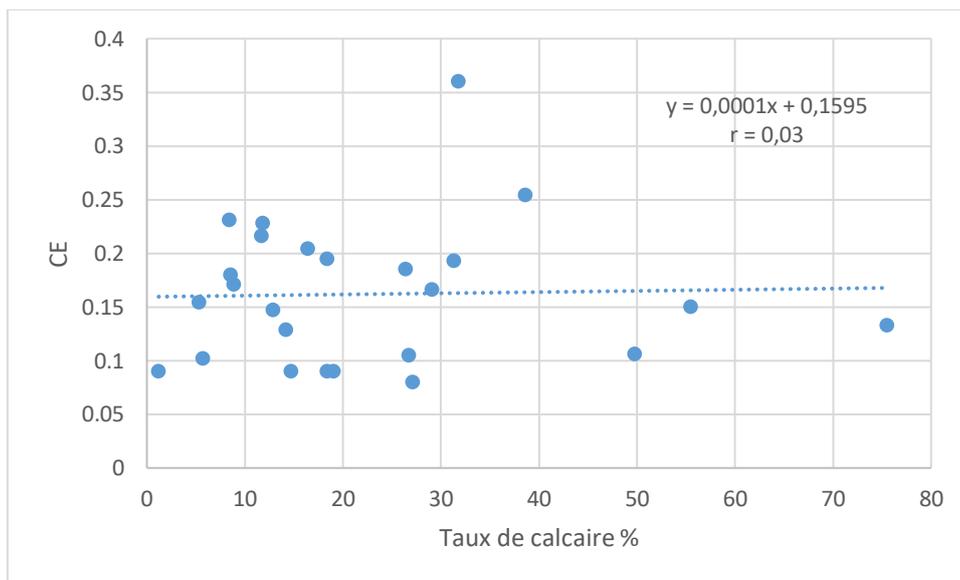
**Figure 49.** Relation linéaire entre les taux de calcaire et les valeurs de pH.

La relation entre le pH et les teneurs en calcaire total est représentée par la figure 49. Sur le plan statistique, les calculs réalisés sur 25 couples de données révèlent que la corrélation est relativement faible et négative. En effet, l'augmentation des teneurs en calcaire

s'accompagne par une diminution des valeurs de pH. La tendance linéaire est de type  $\text{pH} = -0.0082\text{calcaire} (\%) + 7.7176$  avec  $r = -0.23$ . L'analyse du nuage des points montre qu'il est dispersé par rapport à la régression linéaire.

Cette relation a été étudiée dans nombreux travaux qui ont mis en évidence l'influence de calcaire sur la variation des valeurs de pH. Par exemple, Djili (2000), a trouvé la droite régression linéaire suivante :  $\text{pH} = 0.006x + 7.6$  avec  $r = 0.23$  sur un nombre de couple  $N = 2988$ . D'autre part le même auteur a démontré que l'effet des carbonates de calcium sur le pH est compris entre 0% et 2.5% au-delà de cette valeur le calcaire n'a pas d'effet sur les valeurs de pH. Effectivement les valeurs de calcaire étant tout supérieures à 2,5% (exception faite pour l'échantillon F10 dont la valeur de calcaire est égale à 1.2%), confirment la faible relation qui existe entre ces deux (02) paramètres.

### III.3.3.2 Calcaire – CE

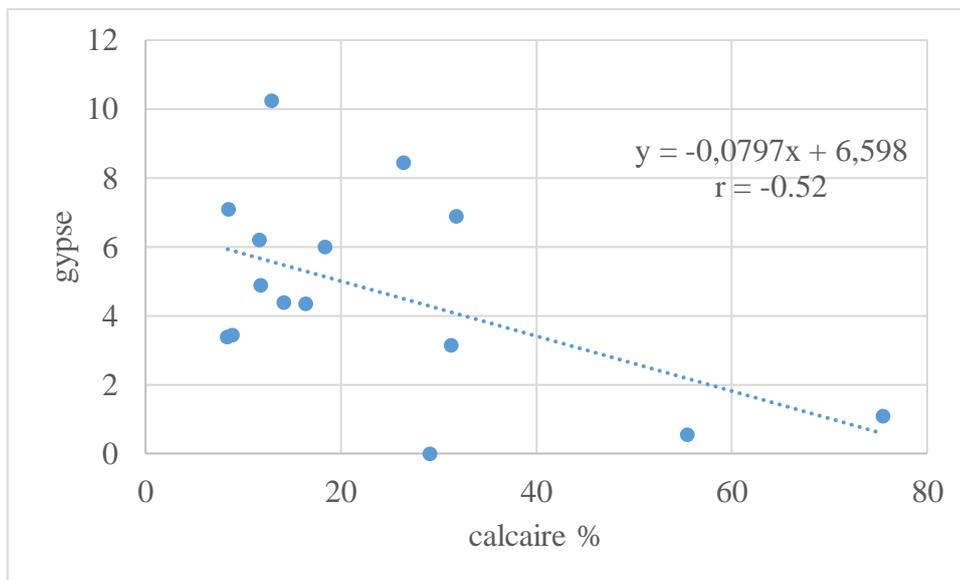


**Figure 50.** Relation linéaire entre les taux de calcaire et les valeurs de la CE.

La relation entre l'effet du calcaire sur la salinité du sol est montrée par la figure 50. Sur le plan statistique, c'est une relation relative, faible et positive. La régression linéaire est de type :  $\text{CE} = 0.0001 \text{ calcaire} (\%) + 0.1595$  avec  $r = 0.03$ . Ceci, suppose que l'augmentation des valeurs de calcaire engendre une faible augmentation de la salinité du sol. L'analyse du nuage des points montre que la majorité des faibles et des fortes valeurs de CE coïncident avec les valeurs de calcaire inférieur à 30%. Ce résultat a été trouvé par Berkal

(2006), de type :  $y = 0.0944x + 14.89$  avec  $r = 0.057$  et sur un nombre de couple d'échantillon  $N = 1773$ . Le même auteur a trouvé que l'augmentation de la CE provoque l'augmentation de calcaire total jusqu'à 30 %, au de-là de ce chiffre la relation devient négative ceci pourrait être expliqué par le fait que les teneurs en calcaire inférieur au 30% sont généralement à l'état diffus et les possibilités que carbonate de calcium passe en solution sont élevés, ce qui contribue à l'augmentation légèrement des valeurs de CE

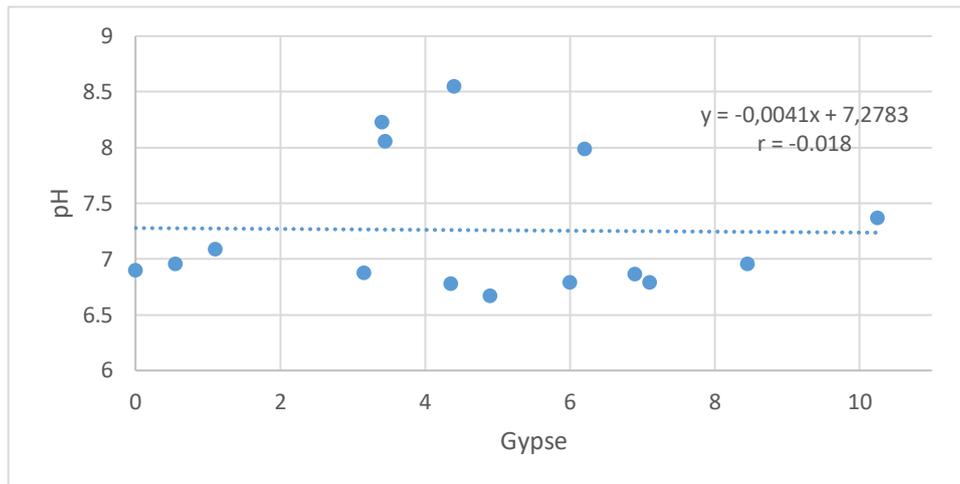
### III.3.3.3 Calcaire – Gypse



**Figure 51.** Relation linéaire entre les taux de calcaire et les valeurs de gypse.

La relation entre les teneurs en calcaire et celles de gypse a été étudiée par plusieurs auteurs. Nous citons à titre d'exemple (Djili, 2000 ; Berkal, 2006 ; Ouamar Ali, 2009 et Rahmouni, 2010). Tous les auteurs ont trouvé que la régression linéaire est négative. Ceci veut dire que l'augmentation de calcaire s'accompagne automatique par une diminution de gypse. Ceci bien représenté dans le cas de notre étude (fig. 51) où la régression linéaire est représentée par l'équation suivante :  $\text{gypse (\%)} = -0.0797 \text{ calcaire (\%)} + 6.598$  avec  $r = -0.52$  ( $N = 15$  couples d'échantillons). Ce résultat veut dire que la relation est statistiquement forte. L'analyse du nuage des points montre que la relation respecte le rapport 100/100. Aussi la majorité des teneurs en calcaire obtenus quel que soit la valeur de gypse sont inférieure à 30%.

### III.3.3.4 Gypse – pH



**Figure 52.** Relation linéaire entre les taux de gypse et les valeurs de pH.

La figure 52 illustre la relation qui existe entre les valeurs de pH et les teneurs de gypse. Du point de vue statistique, elle est relativement faible et négative. La régression linéaire est de type ( $\text{pH} = -0.0041 \text{ gypse (\%)} \times + 7.2783$ ) avec  $r = -0.018$ . La tendance moyenne montrée sur le graphe étant presque horizontale par rapport à l'axe des teneurs en gypse révèle qu'il y aurait peut de rapport entre ces deux paramètres. Effectivement, Djili (2000) montre que même si la relation entre les deux paramètres est statistiquement significative, il n'y a aucune tendance particulière à la variation des valeurs de pH puisque quelles que soit les teneurs en gypse, les valeurs de pH sont toujours supérieures à 7. Confirmant la faible relation qui existe entre ces deux (02) paramètres. Pour ce qui de notre étude, les valeurs de pH oscillent entre 6.5 et 8.5 et ce quelques soit les teneurs en gypse.

### III.4 Interprétation des fiches analytiques de la ferme pilote

Le tableau 17 montre les différentes analyses effectuées par le laboratoire agronomique « FERTIAL » en 2010 et sur les trente premiers centimètres de la surface du sol.

Le bulletin permet de fournir à la ferme pilote les principales caractéristiques du sol en terme de texture, pH et salinité, teneurs en calcaire total, matière organique, azote total et le phosphore assimilable.

### *Chapitre III : Résultats et discussions*

Aussi, il permet d'avoir quelques données concernant les éléments échangeables, à savoir le potassium échangeable, le magnésium échangeable, le calcium échangeable et le sodium échangeable.

A la fin de ce bulletin, des conseils de fumure sont donnés par le laboratoire en question pour une production de blé dur à raison de 50 q<sup>x</sup>/100 (objectif de rendement).

Les données ont été interprétées et comparées par rapport aux normes d'interprétation de Mathieu et Pieltain (annexe 2, 3, 4, 5, 6).

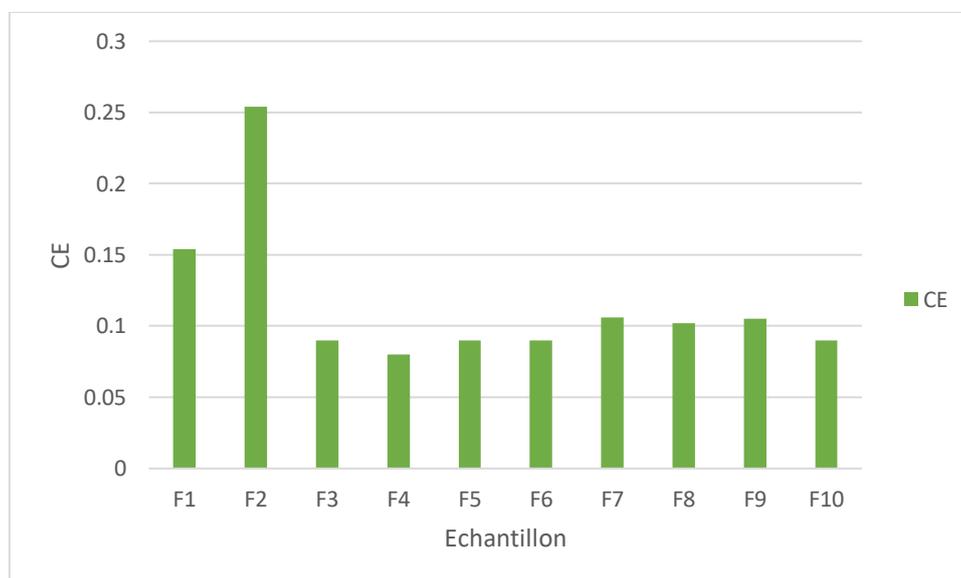
**Tableau 17.** Bulletins d'analyse de terre fournis pour la ferme pilote pour les 10 échantillons de surface étudiés.

Paramètres	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10
<b>Granulométrie</b>	Argileux	Limono-argileux	Argileux							
<b>CE (1/5 dS/m)</b>	0.154	0.254	0.09	0.08	0.09	0.09	0.106	0.102	0.105	0.09
<b>pH</b>	8.2	8.12	7.7	7.7	7.9	7.9	8.2	7.8	8	7.9
<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>	5.34	38.61	14.7	27.1	19.07	18.4	49.8	5.74	26.7	1.2
<b>Matière organique (%)</b>	2.2	2.2	2.2	2.2	2.4	2.2	2	2	2	3.1
<b>Azote total (%)</b>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>Phosphore assimilable (meq/100 g)</b>	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
<b>Potassium échangeable (meq/100 g)</b>	0.61	0.30	0.61	0.60	0.57	0.57	0.45	0.58	0.54	0.60
<b>Magnésium échangeable (meq/100 g)</b>	2.11	0.78	0.86	1.04	0.89	1.18	0.58	0.90	0.71	1.24
<b>Calcium échangeable (meq/100 g)</b>	35.45	34.83	35.12	35.13	34.70	34.66	34.21	35.04	34.80	35

### Chapitre III : Résultats et discussions

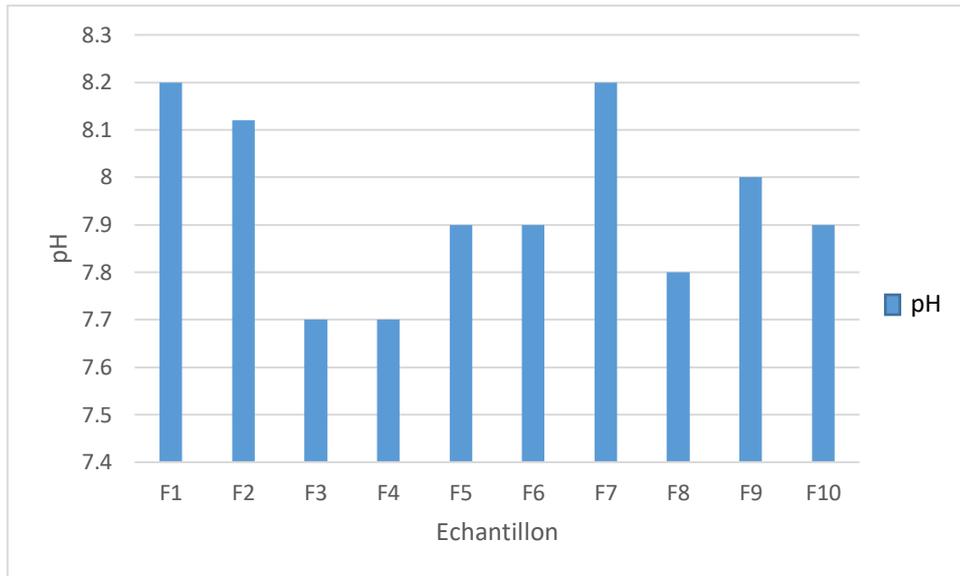
<b>Sodium échangeable (meq/100 g)</b>	0.51	0.31	0.3	0.26	0.28	0.29	0.24	0.29	0.23	0.36
---------------------------------------	------	------	-----	------	------	------	------	------	------	------

Il s'avère de toutes ces analyses que les sols sont non salés (la figure 48 montre la représentation en histogramme des valeurs de CE), lourds (texture argileuse) pour les neuf (09) parcelles étudiées à l'exception d'une seule F2, qui est limono argileuse (28% argile, 24% limons et 48% sables). Du fait, les sols sont d'un mauvais drainage interne avec une capacité de rétention en eau très élevée.



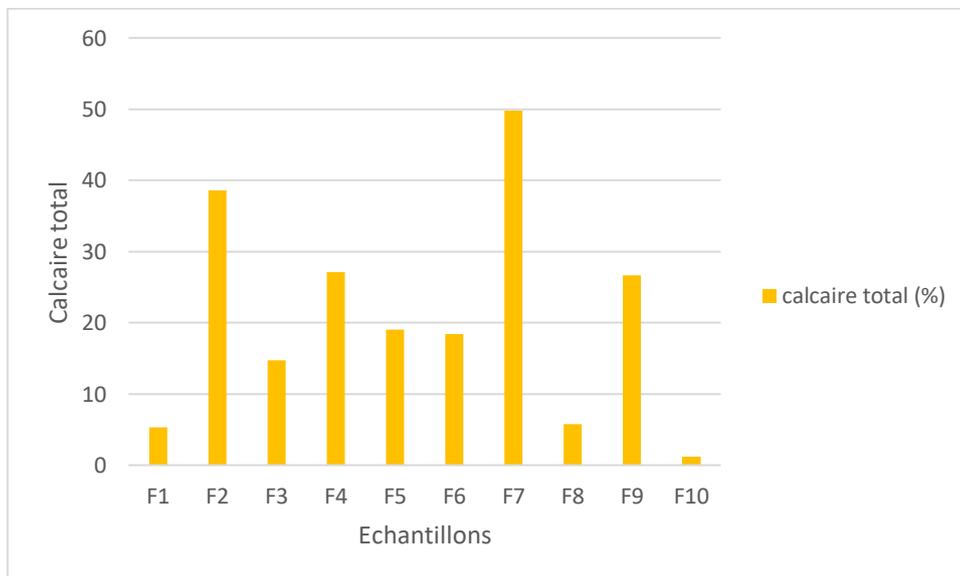
**Figure 53.** Représentation des valeurs de CE en histogramme.

Les valeurs de pH sont comprises entre 7.7 et 8.2 (fig. 53). Comparativement à celles obtenues dans notre étude, elles sont légèrement élevées. Le laboratoire considère que ces valeurs sont élevées pour la culture du blé où le pH doit être compris entre 5.8 et 7.5.



**Figure 54.** Représentation des valeurs de pH en histogramme.

Pour ce qui est des teneurs en calcaire total, elles sont comprises entre 1.2% pour la parcelle F10 et 49.8% pour la parcelle F7. Ces données montrent que ces sols sont peu calcaires pour la parcelle F10, modérément calcaires pour les parcelles (F1, F3, F5, F6, F8) et fortement calcaires pour les parcelles (F2, F4 et F7). Ces teneurs en  $\text{CaCO}_3$  total rentrent dans la gamme des résultats de calcaire obtenus dans notre étude.



**Figure 55.** Représentation en histogramme de calcaire total.

Les teneurs en matière organique sont comprises entre 2% pour les parcelles (F1, F2, F3, F4, F5, F6, F7, F8 et F9) et 3.1% pour la parcelle F10. Elles sont du fait moyennes à riches.

### *Chapitre III : Résultats et discussions*

Pour ce qui est des éléments majeurs de grande consommation des sols de la ferme, nous relevons les constatations suivantes :

- Les teneurs en phosphore assimilable étant comprises entre 7.5 et 16.5 ppm, les parcelles sont faiblement à moyennement pourvus en phosphore. Le laboratoire d'ailleurs conseille l'utilisation de l'engrais de fond TSP46% (Triple Super-Phosphate) dont l'action est lente lors de la mise en place de la culture. Ceci est pour enrichir le sol en cet élément pour les plantes.
- Le potassium est à des teneurs moyennes variant de 117.6 ppm en F1 à 241.7 ppm en F3. Le potassium étant un cation qui peut facilement être retenu sous forme échangeable sur le complexe adsorbant, il n'est pas donc recommandé de rajouter des engrais à base de potassium.
- Concernant les teneurs en azote total du sol, il est constaté que les valeurs sont moyennes. Elles se trouvent comprises entre 2 et 1.6 ppm. L'azote est considéré le pivot de la fumure, c'est un facteur limitant qui conditionne le rendement surtout des grandes cultures. La possibilité qu'il soit stocké dans le sol est vraiment très faible à cause de la forme la plus disponible pour la plante sous laquelle il se trouve (forme Nitrique  $\text{NO}_3^-$ ). Par conséquent, une fertilisation de couverture est conseillée par le laboratoire « FERTIAL » (le Sulfazot) à condition qu'elle soit fractionnée.

# *Conclusion*

Ce travail est une contribution à la connaissance des sols d'Algérie. Il porte sur la caractérisation des sols de la ferme pilote « Si El Hachemi », au niveau de la commune d'El Hachimia, dans la wilaya de Bouira.

Pour ce faire, des sondages au nombre de trois (03) et des profils pédologiques au nombre de deux (02) sont réalisés avec des instruments appropriés et ont abouti au prélèvement des quinze (15) échantillons de sols. En parallèle de cette étude, des bulletins d'analyses de sol réalisés par un laboratoire d'analyse des sols, sur dix (10) parcelles et uniquement en surface sont commentés et interprétés.

L'étude morphologique sur terrain et analytique, nous a permis de retenir les conclusions suivantes :

- La granulométrie des sols étudiée est très variable, mais à dominance limoneuse. Elle est entre les textures limono-argilo-sableuses pour les horizons P1H1, P1H2, P1H4, S2H2, S1H1 et S1H2, les textures limono-argileuses pour les horizons P2H1, P2H2, P2H3, P2H4 et S3H2 et les textures sablo-limoneuses pour les horizons P1H3, P1H5, S3H1 et S2H1.
- L'étude du bulletin fourni par la ferme pilote révèle qu'à l'exception d'une parcelle (F2) qui est limono-argileuse, tous les autres sols sont argileux à leur surface présentant une bonne capacité de rétention de l'eau avec un mauvais drainage interne.
- Les sols étudiés sont tous neutres à alcalins. Les valeurs de pH sont comprises entre 6.67 et 8.55. L'étude de la ferme en surface montre les mêmes résultats avec des valeurs légèrement plus élevées. Elles sont comprises entre 7.7 et 8.2.
- Les sols s'avèrent non salés et dans tout le profil (la CE est toujours inférieure à 0.6 dS/m). Le profil moyen indique une légère augmentation des sels en surface et qui serait due à l'enrichissement du sol annuel en fertilisants à bases de sulfates, phosphates et azote. Ces derniers, une fois mis en solution participent, même si peu à l'augmentation de la charge saline du sol.
- Pour ce qui est de la richesse de ces sols en carbonate de calcium, les profils et sondages réalisés réagissent tous à l'HCl à froid. Le calcaire est parfois présent sous forme diffuse et il arrive parfois à se concrétiser en amas sous forme d'éléments grossiers généralement arrondies et de petites tailles (cas des horizons P2H1, P2H2, P2H3, P2H4, P1H3, S1H1 et S1H2). Pour ce qui est des résultats statistiques, les teneurs en calcaire appartiennent à la classe des sols modérément calcaire (teneurs inférieurs à 25 % pour les horizons P1H1, P1H2, P1H3, P1H4, P1H5, S2H1, S2H2, S3H1 et S3H2). La classe des sols fortement

## Conclusion

calcaire (teneurs de calcaire comprises entre 25 % et 50% pour les horizons P2H1, P2H2, S1H1 et S1H2) et la classe des sols très fortement calcaire (teneurs comprises entre 50% et 80% de calcaire total pour les horizons P2H3, P2H4). Il est à préciser que les accumulations en calcaires sont beaucoup plus présentes en profondeurs qu'en surface et sub-surface. Nous enregistrons respectivement pour les horizons de surface (H1), de sub-surface (H2) et de profondeur (Hp) les teneurs moyennes en calcaire total suivantes : 18.96%, 19.2% et 33.4%.

- Les accumulations en sulfates de calcium bihydraté restent faibles. Les teneurs en gypse pour les horizons H1, H2 et Hp sont 5.6%, 4.49% et 3.95%.
- Le sol ne présente aucune trace d'activité biologique, avec quelques fines racines par endroit (cas des horizons S1H2, S2H1, S3H1, P1H1, P1H2, P1H3, P1H4, P1H5, P2H1 et P2H2) issues soit des cultures précédentes ou bien après installation de la culture adventice (Brome).
- Nous notons l'existence de quelques taches de réduction de couleur grise verdâtre dans les horizons S3H1 et S3H2 et qui sont signe d'une ambiance physico-chimique particulière et certainement momentanée dans le sol. Il s'agit d'une hydromorphie des sols suite à une irrigation ou à une précipitation surtout que ces sols sont à mauvais drainage interne.
- L'étude des différentes corrélations est en parfaite concordance avec toutes les études réalisées avant. Nous avons trouvé des relations inversement proportionnelles entre les teneurs en calcaire totale et les valeurs de pH, entre le calcaire total et les teneurs en gypse et entre les teneurs en gypse et les valeurs de pH. En revanche, la relation entre les valeurs de la CE et les teneurs en calcaire total est positive. Les moyennes des tendances linéaires sont de type :

- ✓  $\text{pH} = -0.0082 \text{calcaire (\%)} + 7.7176$  avec  $r = -0.23$ . (N = 25 couples d'échantillons).
- ✓  $\text{gypse (\%)} = -0.0797 \text{calcaire (\%)} + 6.598$  avec  $r = -0.52$  (N = 15 couples d'échantillons).
- ✓  $\text{pH} = -0.0041 \text{gypse (\%)} + 7.2783$  avec  $r = -0.018$ . (N = 15 couples d'échantillons).
- ✓  $\text{CE} = 0.0001 \text{calcaire (\%)} + 0.1595$  avec  $r = 0.03$ . (N = 25 couples d'échantillons).

En fin, cette étude qui a été réalisée à partir de cinq (05) points de prélèvement mériterait d'être approfondie afin de pouvoir classer les sols de la ferme dans les systèmes de

## *Conclusion*

classification des sols française et américaine. Ceci ne peut se faire qu'en élargissant le nombre des parcelles étudiés avec un plan d'échantillonnage plus représentatif, les études pédologiques devraient s'effectuées sur la base de profils pédologiques et non pas sur la base de sondages réalisés à la tarière. Aussi, il est très important de signaler que les analyses de sol réalisées dans le cadre de ce travail restent insuffisantes et méritent d'être complétées par d'autres physico-chimiques et biologiques, à l'instar des teneurs en Matière organique, la Capacité d'échange cationique et les bases échangeables, le bilan ionique de la solution du sol, la granulométrie, la perméabilité hydraulique...etc. Et ce n'est qu'à ce prix que nous pouvons établir une base de données nationale sur les sols et pour une meilleure contribution à la connaissance des sols d'Algérie.

## Références bibliographiques

### -A-

- Ait Zai, T., Houichi, Y. (2021). *Effet de l'apport de phosphore sur le potentiel fourrager d'une jachère pâturée dans la wilaya de Bouira*. Mémoire d'ingénieur en sciences animales : Ecole Nationale Supérieure Agronomique (Algérie). 57 p.

### -B-

- Baize, D., Jabiol, B. (2011). *Guide pour la description des sols*. Quae. 1<sup>ère</sup> Ed. 430 p. (savoir-faire). ISBN13 978-2-7592-1034-3.
- Baize, D. (2016). *Petit lexique de pédologie*. Quae. 1<sup>ère</sup> Ed. 288 p.
- Beauchamp, J. (2006). *Pédologie, chapitre : types de sol*. Université Jules Verne de Picardie.
- Berkal, I. (2006). *Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie, de la base des données à la valorisation des paramètres pédologiques*. Mémoire de Magistère en sciences agronomiques : Institut national agronomique. El Harrach.
- Belbachir, I., Lakehal, S. (2017). *Caractérisation de quelques types de sols entourant la zone industrielle de l'Oued El Berdi (wilaya de Bouira)*. Mémoire de Master en sciences biologiques : Université de Bouira. 59 p.
- Benseghir, A. (2006). *Contribution à l'étude de l'état nutritionnel par la méthode du diagnostic foliaire de trois variétés d'abricotier (Prunus armeniaca L.) en zone aride (commune de Doucen - w. Biskra)*. Mémoire d'ingénieur en agronomie : Université de Biskra.
- Bonneau, M. (1963). *L'importance des propriétés physiques du sol dans la production forestière*. Revue forestière française. AgroParisTech. p.19-31.

### -C-

- Cherief, K., Debbah C. (2020). *Caractérisation des sols des zones arides de l'Algérie. Cas de zone de M'cif (W-M'sila)*. Mémoire de Master en sciences agronomiques : Université de M'sila. 113 p.
- Comité d'experts sur la prospection pédologique. (2002). *Le Système canadien de classification des sols*. 3<sup>ème</sup> Ed. Agriculture Canada. 187 p. ISBN 0-660-17404-9.

### -D-

- Dabin, B., Ségla, P. (1970). *Le sol, sa définition, ses constituants*. In : Ségla Pierre, Dabin Bernard, Maignien Roger, Combeau André, Bachelier Georges, Schmid Maurice,

Bosser Jean, Guinard M., Verdier P. Pédologie et développement. Paris : ORSTOM ; BDPA, p. 29-42. (Techniques Rurales en Afrique ; 10).

- Daoud, Y. (2011). *Méthodes d'analyses des sols*. E.N.S.A. El Harrach.
- Djili, K. (2000). *Contribution à la connaissance des sols du Nord en Algérie*. Thèse doctorat : Institut national agronomique. El Harrach. 243 p.
- Djili, K. (2003). *Morphologie, classification et cartographie des sols*. 20 p.
- Durand, J-H. (1995). *Les sols des régions arides d'Algérie*. 384 p.
- Duchaufour, P., Faivre, P., Poulénard, J. & Gury, M. (2001). *Introduction à la science du sol : Sol, végétation, environnement*. 6<sup>ème</sup> Ed. Paris : Dunod. 323 p.
- Duchaufour, P., Faivre, P., Poulénard, J. & Gury, M. (2018). *Sol, végétation, environnement*. 7<sup>ème</sup> Ed : Dunod. ISBN 2100776568.

#### -F-

- Favre, S. (2021). *Comment creuser une fosse pédologique dans les vignes en place ?* Viticulture. (Consulté en avril 2022).  
<https://www.mon-viti.com/articles/viticulture/comment-creuser-une-fosse-pedologique-dans-les-vignes-en-place> .

#### -G-

- Girard, M-C., Schvartz, C. & Jabiol, B. (2011). *Etude des sols, description, cartographie, utilisation*. Dunod. 432 p. ISBN13 978-2-10-054021.
- Gobat, J-M., Aragno, M. & Matthey, W. (2010). *Le sol vivant : bases de pédologie, biologie de sol*. 3<sup>ème</sup> Ed. Presses polytechniques et universitaires Romandes .821 p. (Science et ingénierie de l'environnement).ISBN 978-2-88074-718-3.
- Google maps. (2022). (consulté en 11/05/2022).  
<https://www.google.com/maps/place/El+Hachimia/@36.2229198,3.7193943,11z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x128c23d224b59821:0x518e1c4d2660b70!8m2!3d36.2194454!4d3.8157329?hl=fr>.

#### -I-

- I.N.C.T. (2000). *Comgé : support informatique de représentation des limites géographiques de l'Algérie : « Segmentation en wilayat ou en commune »* Ed.- Droit Commercial : Instit.Natio.Carto.Téléédé., Alger - Algérie.
- 

#### -K-

- Kadi, C. (2022). *La ferme pilote « Si El Hachemi » Bouira*. Rapport de stage : E.N.S.A. El Harrach. 20 p.

- Kateb. (2010). *La Daira d'El-Hachimia en quelques chiffres*. In : Tagemagazine. Disponible sur : <https://tagemagazine.net/article-el-hachimia-en-quelques-chiffres-46061109.html> (consulté le 10/05/2022).

#### -L-

- Bulletins d'analyse de terre. Laboratoire agronomique « FERTIAL ». (2010). 10 p.
- Lahouazi, A., Madani, H. (2017). *Contribution à l'étude de l'entomofaune de l'olivier dans la région de Haizer (Bouira)*. Mémoire de master en sciences agronomiques : Université de Bouira (Algérie). 70 p.
- Lemaire, J., Briat, J-F. (2020). *Nourrir les plantes en polluant moins ?* In : encyclopédie de l'environnement. ISSN 2555-0950. Disponible sur : <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/nourrir-plant-polluant-moins/> (consulté le 10.03.2022).

#### -M-

- Maignien, R. (1969). *Manuel de prospection pédologique*. ORSTOM. Paris.132 p.
- Mathieu, C., Pieltain, F. (2003). *Analyse chimique des sols méthodes choisies*. Edition : Tec et Doc. Lavoisier. Paris. 408 p.
- Mathieu, C. (2020). *Le sol, l'épiderme vivant de notre planète*. In : planet vie. Editeur : Pascal Combemorel.
- Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec. (2009). *Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 5 – Échantillonnage des sols*. Québec. Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec.66 p. ISBN 978-2-550-57649-5.
- *Mon jardin en permaculture*. (Consulté en mars 2022). <http://www.monjardinpermaculture.fr/pages/le-ph-du-sol>.
- Monnier, G. *SOLS - Propriétés physiques et mécaniques*. In : Encyclopædia Universalis. Disponible sur : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/sols-proprietes-physiques-et-mecaniques/> (consulté le 09.02.2022).
- Munroe, J. (2006). *Manuel sur la fertilité du sol Publication*. 3<sup>ème</sup> Ed. IPNI.
- *Munsell soil color charts*. 1994. Editeur : Baltimore, MD. 29 p. Disponible sur : <https://www.southsuburbanairport.com/Environmental/pdf2/Part%204%20-%20References/Reference%2016%20Munsell%20Color%20Charts/MunsellColorChart.pdf> (consulté le 05.03.2022).

#### -N-

- Nkundikije Desseaux, V., Halitim, A., Galben, T., Ygnatov, M. (1976). *Essai de caractérisation de la matière organique dans quelques sols du Nord de l'Algérie*. Volume 6. Numéro 2. 33-60 p.

**-O-**

- Ouamer Ali, K. (2009). *Contribution à l'étude des sols gypseux d'Algérie*. Thèses de Magistère en sciences agronomiques : E.N.S.A. El Harrach. 119 p.

**-P-**

- Pansu, M., Gautheyrou, J. & Loyer, J-V. (1998). *L'analyse du sol, échantillonnage, instrumentation et contrôle*. Paris : Masson. ISBN 2-225-83130-0.
- Pansu, M., Gautheyrou, J. (2003). *L'analyse Du Sol Minéralogique : Organique et Minérale*. (Paris): Springer.993 p. ISBN 2287597743 9782287597749.
- Pellet, M., Laville-Timsit, L. (1993). *Echantillonnage de sols pour caractérisation d'une pollution : guide méthodologique*. 79 p. Disponible sur : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RR-37865-FR.pdf> (consulté le 02.05.2022).
- Pepin, G. (1997). *L'échantillonnage des sols et des eaux*. Séminaire "Sols Pollués". Paris. France. 10 p. Disponible sur : <https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-00972100/document> (consulté le 04.04.2022).

**-R-**

- Rahmouni, A., Belhadj, A. (2014). *Projet « réalisation d'une carte des potentialités agricoles au 1/20000 dans la commune de Sidi Rached (wilaya de Tipaza) »*. I.N.S.I.D.
- Roebroek, H. (2009). *Le prélèvement de terre : Quels acquis méthodologiques*. 27 p. Disponible sur : <https://comifer.asso.fr/images/publications/livres/8%20-%20roebroek.pdf> (consulté le 15.04.2022).
- Roudaut, J-P., Gaspard, M. & Boyer, G. (2011). *Guide des produits organiques utilisables en Languedoc-Roussillon - Tome 1*. Editeur : Lattes cedex (Mas de Saporta A, CS 30 012, 34 875, France) : chambre régional d'agriculture du Languedoc-Roussillon, 2011. 128 p.
- Ruellan, A. (2010). *Des sols et des hommes, un lien menacé*. Marseille : IRD Éditions. 105 p. ISBN 978-2-7099-1690-5.

**-S-**

- Sahnoune, R., (2014). *Analyse et Caractérisation physico-chimique des Sols d'Entreposage de la station de Pétrole*. Mémoire de Master : Université de Bejaia. 86 p.

- Séré, G. (2007). *Fonctionnement et évolution pédogénétiques de Technosols issus d'un procédé de construction de sol*. Sciences de la Terre. Institut National Polytechnique de Lorraine. 229 p.

**-V-**

- van der Lecq, L. (2007). *Introduction des appareillages et services*. 16 p. Disponible sur : <https://www.eijkelkamp.com/files/media/Brochures/p040fintroductiondesappareillageetservices.pdf> (consulté le 05.05.2022).
- Védie, H. (2008). *Fertilité chimique du sol : savoir interpréter les analyses pour gérer les apports d'éléments majeurs (Phosphore, Potasse, Magnésie) en maraichage biologique*. 4 p.

**-Z-**

- Ziane, M., Mezrag, D. (2014). *Étude et analyse de l'état initial du site de l'autoroute est-ouest section bouira-boumerdes*. ISSN 2028-9324 Vol. No 7. 985-1003 p. Disponible sur <http://www.ijias.issr-journals.org/abstract.php?article=IJIAS-14-196-10> (consulté le 12/05/2022).

# ANNEXES

## Annexe 1. Fiche de description des profils sur terrain

<b>Numéro de profil :</b>	<b>Les coordonnées X : Y : Z :</b>	<b>Date et heure :</b>	<b>Nom de descripteur :</b>
<b>Géomorphologie de la zone :</b>	<b>Météorologie :</b>	<b>Couverture végétal :</b>	<b>Géologie :</b>
<b>La pente :</b>	<b>Le climat :</b>	<b>L'environnement humain :</b>	<b>La roche mère :</b>
<b>Les caractéristiques</b>	<b>Horizon 1 en cm :</b>	<b>Horizon 2 en cm :</b>	<b>Horizon 3 en cm :</b>
<b>L'humidité</b>			
<b>La couleur</b>			
<b>Les éléments carbonatés</b>			
<b>La texture</b>			
<b>La structure</b>			
<b>La matière organique</b>			
<b>La compacité</b>			
<b>La porosité</b>			
<b>L'enracinement</b>			
<b>L'activité biologique</b>			
<b>Les éléments grossiers</b>			
<b>Les taches</b>			
<b>Réaction à l'HCl</b>			
<b>Les fentes et fissures</b>			

**Annexe 2.** Normes d'interprétation du coefficient de variation de Nolin et Caillier (Agrosol, 1992 cité par Belbachir et Lakehal, 2017).

<b>CV (%)</b>	<b>Classes de variabilité</b>
< 15	Faible
15-35	Modérée
35-50	Elevée
50-100	Très élevée
> 100	Extrêmement élevée

**Annexe 3.** Normes d'interprétation de la conductivité électrique (Mathieu et Pieltain, 2003).

<b>CE<sub>1/5</sub> (dS/m)</b>	<b>Classes de salinité</b>
0-0.6	Non salée
0.6-1	Légèrement salée
1-2	Salée
2-4	Très salée
>4	Extrêmement salée

**Annexe 4.** Normes d'interprétation du calcaire total (Mathieu et Pieltain, 2003).

<b>CaCO<sub>3</sub> %</b>	<b>Classes de calcaire</b>
<1	Non calcaire
1-5	Peu calcaire
5-25	Modérément calcaire
25-50	Fortement calcaire
50-80	Très fortement calcaire
>80	Excessivement calcaire

**Annexe 5.** Normes d'interprétation de gypse de Barzanji 1973 (cité par Mathieu et Pieltain, 2003).

<b>CaSO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O (%)</b>	<b>Qualificatif du sol</b>
<0.3	Non gypseux
0.3-10	Faiblement gypseux
10-15	Modérément gypseux
15-25	Gypseux
25-50	Très gypseux
>50	Excessivement gypseux

**Annexe 6.** Normes d'interprétation de la réaction du sol (Mathieu et Pieltain, 2003).

<b>Valeurs de pH</b>	<b>Caractère de la réaction du sol</b>
<b>3.5-5</b>	Très acide
<b>5-6.5</b>	Acide
<b>6.5-7.5</b>	Neutre
<b>7.5-8.7</b>	Basique
<b>&gt;8.7</b>	Très basique

**Annexe 7. Bulletin d'analyse de terre de la ferme pilote par laboratoire de « FERTIAL ».**



**LABORATOIRE  
AGRONOMIQUE**

**BULLETIN D'ANALYSE DE TERRE**

**Fertial SPA Route des Salines**  
BP : 3088-23000 Annaba  
Tel / Fax : 038 53 94 05

<b>EXPLOITATION</b> FPilote Si El Hachmi Commune : El hachimia Wilaya : Bouira	<b>PARCELLE</b> Désignation : El majen 01 Culture projetée: Blé dur Rendt Objectif : 40 qx/ha Conduite : sec /if	<b>ECHANTILLON</b> N° : 002588 Prélevé le : 20/06/2010 Prof prélèvement : 0-30 cm
---	--	--

**CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DE LA PARCELLE**

<b>Granulométrie</b>	%	
Argile	48	
Limons	20	
Sables	32	
Sol : Argileux		

Paramètres chimiques			T.FAIBLE	FAIBLE	NORMAL	ELEVE	T.ELEVE
Conductivité (1/5 mS/cm)	0,154	non salé	-----				
pH eau (1/2.5)	8,2	alcalin	-----				
	%	p.p.m					
Calcaire total	5,34	53.400	-----				
Matière organique	2,2	22.000	-----				
Azote total	0,1	1.100	-----				
	mé/100gr	p.p.m					
Phosphore assimilable (Olsen)	0,04	14,4	-----				
Potassium échangeable	0,61	239,1	-----				
Magnésium échangeable	2,11	256,3	-----				
Calcium échangeable	35,45	7.107,7	-----				
Sodium échangeable	0,51	117,3	-----				

**Bulletin édité le : 15-08-10**

Il s'agit d'un sol très lourd, non salé ; avec un drainage interne mauvais et une capacité de rétention de l'eau et des engrais très élevé. Le pH actuel du sol 8,2 et considéré élevé ; pour la culture de blé le pH le plus adéquat est compris entre 5,8 et 7,5.

Le taux de calcaire est faible. La teneur de la matière organique du sol est faible.  
 Il est recommandé d'enfouir les restes de la culture antérieure avant incorporation de 50kg/ha d'urée 46% ou de l'équivalent d'un autre engrais azoté.

Conseil de fumure :  
 Pour une production en blé dur à raison de 40qx/ha :

- Engrais de fond : 2,33 ql/ha de 15-15-15s et 0,6ql/ha de TSP46% ; 20kg/ha de MgO
- Engrais de couverture : 2,8ql/ha de Sulfazot (à fractionner).

## **Résumé**

Cette étude a pour objectif la caractérisation des sols de la ferme pilote de « Si El Hachemi ». Dans un premier temps, la caractérisation a porté sur l'étude morphologique, puis sur une étude analytique.

L'étude détaillée de deux (02) profils pédologiques et trois (03) sondages sur un terrain en faible pente a permis de retenir que sur le plan morphologique, les sols sont en général frais, réagissent vivement à l'HCl, argileux avec une bonne rétention en eau et un mauvais drainage, sans traces d'activité biologique ou de matière organique. Sur le plan analytique, les sols sont non salés, ( $CE < 0.6$  dS/m), neutres à alcalins, les pH sont compris entre 6.67 et 8.55, non gypseux (teneur en gypse comprise entre 0 et 10.25 %), avec des accumulations légères en surface. Les sols sont soit modérément calcaires, fortement ou même très fortement calcaires ( $8.4\% < \text{carbonate de calcium} < 75.5\%$ ) avec un enrichissement enregistré en profondeur.

En parallèle de l'étude de caractérisation, des corrélations sont effectuées entre plusieurs paramètres de sol. Les relations sont inversement proportionnelles entre les teneurs en calcaires totale et les valeurs de pH, entre le calcaire total et les teneurs en gypse et entre les teneurs en gypse et les valeurs de pH. En revanche, la relation entre les valeurs de la CE et les teneurs en calcaire total est positive.

**Mots clés :** Profil pédologique, sondage, ferme pilote « Si El Hachemi » pH, CE, gypse, calcaire total, corrélation, description morphologique, description analytique.

## **Abstract**

This study aims to characterize the soils of the pilot farm of "Si El Hachemi". Initially, the characterization focused on the morphological study, then on an analytical study.

The detailed study of two (02) pedological profiles and three (03) soundings on a low slope allowed to retain that on the morphological level, the soils are in general fresh, react strongly to HCl, clayey with a good water retention and a bad drainage, without traces of biological activity or organic matter. Analytically, the soils are non-saline, ( $EC < 0.6$  dS/m), neutral to alkaline, pH between 6.67 and 8.55, non-gypseous (gypsum content between 0 and 10.25%), with light surface accumulations. The soils are either moderately calcareous, strongly or

even very strongly calcareous (8.4 % < calcium carbonate < 75.5 %) with enrichment recorded at depth.

In parallel to the characterization study, correlations are made between several soil parameters. The relationships are inversely proportional between total limestone contents and pH values, between total limestone and gypsum contents and between gypsum contents and pH values. In contrast, the relationship between EC values and total limestone contents is positive.

**Keywords** : Soil profile, borehole, pilot farm "Si El Hachemi", pH, EC, gypsum, total limestone, correlation, morphological description, analytical description.

### التلخيص

الهدف من هذه الدراسة هو وصف وتحديد خصائص تربة المزرعة التجريبية "سي الهاشمي". في المرحلة الأولى، تناولت دراسة بنيوية مورفولوجية، تليها دراسة تحليلية.

الدراسة شملت (02) مقطعين عرضيين للتربة وثلاث (03) عينات من قطعة ارض ذات منحدر ضعيف التي أظهرت على المستوى البنيوي، ان التربة رطبة، تتفاعل بقوة مع حمض كلور الماء HCl، ذات قوام صلصالي مع احتفاظ جيد للماء وصرف سيء، دون اثار لأي نشاط بيولوجي او مادة عضوية. على المستوى التحليلي، الأراضي ليست مالحة (CE < 0.6 dS/m)، معتدل الى قلوي، درجة الحموضة تتراوح بين 6.67 الى 8.55، ذو طبيعة غير جبسية (محتوى الجبس يتراوح بين 0 و 10.25%)، مع وجود تراكم خفيف على سطح التربة. الأراضي اما متوسطة او جيرية جدا (8.4% > كربونات الكالسيوم > 75.5%) ويتواجد بقوة في أعماق التربة.

بالتوازي مع هذه الدراسة الوصفية، أجريت دراسة حول الروابط القائمة بين عدة مقاييس للتربة. العلاقات متناسبة عكسيا بين الجير والحموضة، بين الجير والجبس، وبين الجبس أيضا والحموضة. على عكس العلاقة الإيجابية بين الملوحة والجير.

**الكلمات المفتاحية:** مقطع عرضي للتربة، عينة من التربة، المزرعة التجريبية "سي الهاشمي"، معدل الحموضة، موصلية كهربائية، علاقة الترابط، وصف بنيوي مورفولوجي، وصف تحليلي.