

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المسيلة جامعة محمد بوضياف –  
Université Mohamed Boudiaf - M'Sila

FACULTE SCIENCES  
DEPARTEMENT DES SCIENCES  
AGRONOMIQUES  
N° : 09/DSA/VCDPGR/2023



DOMAINE : SCIENCES DE LA NATURE  
ET DE LA VIE  
FILIERE : SCIENCES AGRONOMIQUES  
OPTION : SCIENCE DU SOL

Mémoire présenté pour l'obtention  
du diplôme de Master Académique

par: **SEGHIOUR Souhila** et **OUBAH Bouthaina**

### Intitulé

Caractérisation physico-chimique de  
quelques sols de la zone  
de Mezzir (Wilaya de M'Sila)

Soutenu devant le jury composé de:

|                       |      |                                 |                |
|-----------------------|------|---------------------------------|----------------|
| M me MEZRAG Fadila    | Prof | Université Med BOUDIAF- M'SILA  | Président      |
| Melle TIR Chafia      | MAA  | Université Med BOUDIAF - M'SILA | Promotrice     |
| Melle MADANI Djamilia | MAA  | Université Med BOUDIAF- M'SILA  | Co- Promotrice |
| M. TELLACHE Slimane   | MAA  | Université Med BOUDIAF- M'SILA  | Examineur      |

**Année universitaire : 2022/2023**

# Remerciement

*Tout d'abord, Nous remercions le bon dieu qui nous a donné le courage et la patience pour terminer ce modeste travail.*

*Au terme de ce travail et à travers ces quelques lignes, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.*

*Nous tenons à remercier tous particulièrement notre promotrice M<sup>lle</sup> TIR.Ch qui a bien voulu diriger ce travail, en nous faisant profiter de son expérience et surtout de ses connaissances, ses conseils et remarques qui nous ont été très bénéfiques.*

*Nous remercions notre Co-promotrice M<sup>lle</sup> Madani.Dj de son efficace contribution et sa poursuite minutieuse et à qui on demeure profondément très reconnaissants.*

*Nos remerciements vont à, Mr Tallache. S, de nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail ainsi qu'à informations et ces conseils qu'il nous a jamais lésiné.*

*Nous remercions également Mme MEZRAG. F, pour l'honneur qu'elle nous a fait d'accepter de présider notre jury ainsi que pour ces aides scientifiques et morales.*

*A Mr Zedam.A pour ces aides scientifiques ainsi que de sa disponibilité entant que responsable de post-graduation.*

*Nous n'oublierons jamais le soutien, l'aide et l'accueil du personnel de laboratoire du département des sciences agronomiques et surtout Mr HadjAroussi.Y et Alouani.R.*

*Sans oublier Mr Debeche.E, enseignant au département des sciences agronomiques de M'Sila pour ces aides lors de la réalisation du travail sur terrain.*

*Merci du fond de nos cœurs à nos enseignants du département des sciences agronomiques, pour leurs efforts tout au long de notre formation universitaire.*

# Dédicaces

## Je dédie ce modeste travail

*A ceux qui ont tout sacrifié pour moi depuis mon enfance et  
qui ont tout fait pour ma formation, chers parents vous avez  
toute la gratitude. A mes frères,  
A toute ma famille et mes amis*

SEGHIOUR

*Tout d'abord merci à Dieu Tout –Puissant qui nous a aidés et a  
renforcé notre détermination à mener à bien cette mémoire Et à l'âme  
de ma chère mère, que Dieu ait pitié d'elle Puis à la deuxième mère,  
ma grand-mère, et à mon grand-père et ma tante maternelle Sara,  
surtout pour leurs efforts et leur travail acharné quand j'étais ici Et à  
toute ma famille, ils sont mon plus grand encouragement et soutien  
Alors à qui était une dose d'espoir pour moi, mon ami Kheddaoui  
Ghania, et Seghiour*

OUBAH BOUTHAINA

# **Table de Matière**

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>Remerciement</b>          | <b>i</b>   |
| <b>Dédicaces</b>             | <b>ii</b>  |
| <b>Liste des figures</b>     | <b>vi</b>  |
| <b>Liste des tableaux</b>    | <b>vii</b> |
| <b>Liste des photos</b>      | <b>x</b>   |
| <b>Liste abréviations</b>    | <b>xi</b>  |
| <b>Introduction générale</b> | <b>1</b>   |

## **Chapitre I: Recherche bibliographique**

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I-1- Définition des sols</b>                               | <b>3</b>  |
| <b>I-2- Principaux constituants du sol</b>                    | <b>3</b>  |
| I-2-1- Phases du sol                                          | 3         |
| I-2-2- Constituants minéraux                                  | 6         |
| I-2-3- Constituants organiques                                | 7         |
| I-2-3-1- Évolution et décomposition de la matière organique   | 7         |
| I-2-3-2- Rôles de matière organique                           | 8         |
| I-2-4- Constituants organo-minéraux (complexe argilo-humique) | 8         |
| I-2-4-1- Complexe adsorbant                                   | 8         |
| <b>I-3- Caractéristiques et propriétés du sol</b>             | <b>9</b>  |
| <b>I-3-1- Propriétés physiques du sol</b>                     | <b>9</b>  |
| I-3-1-1- Texture du sol                                       | 9         |
| I-3-1-2- Structure et stabilité structural du sol             | 12        |
| I-3-1-3- Porosité du sol                                      | 16        |
| <b>I-3-2- Propriétés hydriques du sol</b>                     | <b>19</b> |
| I-3-2-1- Perméabilité                                         | 19        |
| I-3-2-2- Forces pF                                            | 20        |
| <b>I-3-3- Propriétés chimiques du sol</b>                     | <b>21</b> |
| I-3-3-1- pH du sol                                            | 21        |
| I-3-3-2- Capacité d'échange cationique (CEC)                  | 22        |
| I-3-3-3- Conductivité électrique (CE) et la salinité des sols | 23        |
| I-3-3-4- Calcaire du sol (actif et total)                     | 24        |
| <b>I-3-4- Propriétés biologiques du sol</b>                   | <b>24</b> |
| I-3-4-1- Carbone organique du sol                             | 24        |
| I-3-4-2- Azote dans le sol                                    | 25        |
| I-3-4-3- Rapport C/N                                          | 25        |
| I-3-4-4- Matière organique dans le sol                        | 25        |
| I-3-4-5- Faune du sol                                         | 25        |
| <b>I-4- Amélioration et fertilisation des sols</b>            | <b>27</b> |
| <b>I-4-1- Amélioration en milieux aride</b>                   | <b>27</b> |
| I-4-1-1- Sol salés                                            | 27        |
| I-4-1-2- Définition des Sol calcaire                          | 28        |
| <b>I-4-2- Notion de fertilisation d'ans sol</b>               | <b>29</b> |
| I-4-2-1- Fumure et Fertilisation                              | 29        |
| <b>I-4-3- Lois d'action des éléments fertilisants</b>         | <b>29</b> |
| I-4-3-1- Loi des restitutions                                 | 29        |
| I-4-3-2- Interactions et loi des facteurs limitants           | 29        |
| I-4-3-3- Loi des rendements moins que proportionnels          | 30        |

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| I-4-4- Engrais .....                                                     | 30 |
| I-4-4-1- Engrais utilisés dans les régions arides et semi – aride .....  | 30 |
| I-4-4-2- Rôle du compost et des engrais dans la fertilité des sols ..... | 31 |

## Chapitre II: Présentation du milieu physique de la zone d'étude

|                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>II-1-Introduction.....</b>                                      | <b>32</b> |
| <b>II-2-Situation géographique de la zone d'étude .....</b>        | <b>32</b> |
| <b>II-3-Milieu physique de la zone d'étude .....</b>               | <b>34</b> |
| II-3-1-Géologie .....                                              | 34        |
| II-3-2-Pédologie.....                                              | 36        |
| II-3-3- Hydrogéologie.....                                         | 39        |
| <b>II-3-4-Caractérisation climatique de la zone d'étude.....</b>   | <b>40</b> |
| II-3-4-1-Origine (sources) des données climatiques.....            | 40        |
| II-3-4-2- Température .....                                        | 41        |
| II-3-4-3- Pluviométrie.....                                        | 42        |
| II-3-4-4- Humidité relative .....                                  | 43        |
| II-3-4-5- Vent.....                                                | 43        |
| II-3-4-6- L'évapotranspiration.....                                | 44        |
| II-3-4-7- Indices climatique.....                                  | 46        |
| II-3-4-8- Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger ..... | 48        |
| II-3-4-9- Topographie.....                                         | 49        |
| II-3-4-10-Ressource Hydriques et irrigation.....                   | 50        |
| <b>II-3-5- L'agriculture .....</b>                                 | <b>51</b> |
| II-3-5-1- Investisseurs agricoles.....                             | 51        |
| II-3-5-2- Production Végétale .....                                | 51        |
| <b>II-3-6-Production Animale .....</b>                             | <b>53</b> |
| <b>II-3-7-Matériels de travail du sol.....</b>                     | <b>54</b> |

## Chapitre III: Méthodologie de travail

|                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>III-1-Introduction.....</b>                                                            | <b>55</b> |
| <b>III-2- Choix de la zone d'étude et des lieux d'échantillonnages.....</b>               | <b>55</b> |
| <b>III-2-1- Description des horizons des profils et prélèvement des échantillons.....</b> | <b>56</b> |
| III-2-1-1- Description des horizons des profils P1 et P2 (travail de terrain).....        | 56        |
| III-2-1-2- Prélèvement des échantillons de sol à analyser .....                           | 56        |
| <b>III-3- Méthodes d'analyse des sols en laboratoire.....</b>                             | <b>57</b> |
| <b>III-3-1-Préparation des échantillons de sol pour les études en laboratoire.....</b>    | <b>57</b> |
| <b>III-3-2- Analyses physiques.....</b>                                                   | <b>58</b> |
| III-3-2-1- Humidité résiduelle du sol.....                                                | 58        |
| III-3-2-2- Porosité.....                                                                  | 58        |
| III-3-2-3- Analyse granulométrique du sol.....                                            | 60        |
| <b>III-3-3-Analyse chimique.....</b>                                                      | <b>61</b> |
| III-3-3-1- pH du sol.....                                                                 | 61        |
| III-3-3-2- Conductivité électrique.....                                                   | 61        |
| III-3-3-3- Calcaire total.....                                                            | 62        |
| III-3-3-4- Calcaire actif.....                                                            | 63        |
| III-3-3-5- Gypse.....                                                                     | 64        |
| III-3-3-6- Sels solubles.....                                                             | 65        |

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>III-3-4-Analyses biologiques.....</b>           | <b>68</b> |
| III-3-4-1- Détermination du carbone organique..... | 68        |
| III-3-4-2- Détermination l'azote total .....       | 69        |

## Chapitre IV :Résultat et discussion

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>IV-1- Introduction.....</b>                                                | <b>72</b> |
| <b>IV-2- Description des profils de la zone de Mezrir (W de M'sila) .....</b> | <b>72</b> |
| IV-2-1-Profil 1.....                                                          | 72        |
| IV-2-2-Profil 2 .....                                                         | 74        |
| <b>IV-3-Caractérisation analytique du premier profil (P1).....</b>            | <b>75</b> |
| IV-3-1-Humidité .....                                                         | 75        |
| IV-3-2-Porosité.....                                                          | 75        |
| IV-3-3 -Calcaire total .....                                                  | 77        |
| IV-3-4-Calcaire actif.....                                                    | 77        |
| IV-3-5-Résultats de l'analyse granulométrique des sols du premier profil..... | 78        |
| IV-3-6- Réaction du sol (pH eau, pH Kcl).....                                 | 79        |
| IV-3-7- Conductivité électronique.....                                        | 80        |
| IV-3-8- Gypse.....                                                            | 81        |
| IV-3-9- Matière organique .....                                               | 82        |
| IV-3-10-Azote total .....                                                     | 83        |
| IV-3-11-Rapport C/N.....                                                      | 84        |
| IV-3-12-Quelques sels solubles .....                                          | 84        |
| <b>IV-4- Caractérisations analytique des horizons du profil P2.....</b>       | <b>86</b> |
| IV-4-1-Humidité.....                                                          | 86        |
| IV-4-2-Porosité .....                                                         | 86        |
| IV-4-3-Calcaire total.....                                                    | 87        |
| IV-4-4-Calcaire actif .....                                                   | 88        |
| IV-4-5-Analyse granulométrique et texture du profil P2.....                   | 88        |
| IV-4-6-Réaction du sol (pH <sub>eau</sub> , pH <sub>Kcl</sub> ) .....         | 89        |
| IV-4-7-Conductivité éclectique.....                                           | 90        |
| IV-4-8-Sels solubles au niveau du deuxième profil.....                        | 90        |
| IV-4-9-Gypse .....                                                            | 91        |
| IV-4-10-Matière Organique.....                                                | 91        |
| IV-4-11-L'azote total.....                                                    | 92        |
| IV-4-12-Rapport C/N .....                                                     | 93        |
| <b>Conclusion générale.....</b>                                               | <b>94</b> |
| <b>Référence Bibliographiques</b>                                             |           |
| <b>Annexes</b>                                                                |           |
| <b>Résumés</b>                                                                |           |

## Liste des figures

### Chapitre I

| Figure             | Titre                                                                 | N°P |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figure I-1</b>  | Types d'eau dans sol                                                  | 5   |
| <b>Figure I-2</b>  | Distribution des phases du sol                                        | 5   |
| <b>Figure I-3</b>  | Représentation schématique de la constitution d'un volume de sol      | 6   |
| <b>Figure I-4</b>  | Cycle d'évolution de la matière organique du sol                      | 8   |
| <b>Figure I-5</b>  | Le complexe argilo-humique, plaque tournante du fonctionnement du sol | 9   |
| <b>Figure I-6</b>  | Triangle textural du GEPPA                                            | 10  |
| <b>Figure I-7</b>  | Triangle des textures minérales                                       | 11  |
| <b>Figure I-8</b>  | Triangle des textures organiques                                      | 12  |
| <b>Figure I-9</b>  | Les types des Structures                                              | 15  |
| <b>Figure I-10</b> | Représentation en volume des constituants du sol                      | 17  |
| <b>Figure I-11</b> | Exemples quelques types des pores en fonction leurs origines          | 18  |
| <b>Figure I-12</b> | Vitesse d'infiltration                                                | 19  |
| <b>Figure I-13</b> | Forces s'exerçant sur l'eau du sol                                    | 20  |
| <b>Figure I-14</b> | Normes d'interprétation du pH-eau du sol                              | 21  |

### Chapitre II

| Figure               | Titre                                                                                                      | N°P |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figure II-1</b>   | Situation géographique de la zone d'étude                                                                  | 33  |
| <b>Figure II-2</b>   | Situation géographique de la commune de M'Sila et Mezrir                                                   | 33  |
| <b>Figure II-3</b>   | Carte géologique de M'Sila avec positionnement la zone d'étude                                             | 36  |
| <b>Figure II-4</b>   | Carte pédologique de M'Sila avec positionnement de la zone d'étude                                         | 38  |
| <b>Figure II-5</b>   | Hydrologie du Bassin d'El Hodna                                                                            | 40  |
| <b>Figure II-6</b>   | les moyennes mensuelles des températures en (C)° de la commune de M'Sila (1988-2018)                       | 41  |
| <b>Figure II-7</b>   | Les variations des précipitations moyennes mensuelles en (mm)de la commune de M'Sila (1988-2018)           | 42  |
| <b>Figure II-8</b>   | Les variations de l'humidité moyennes mensuelles exprimé en (%) de la région de M'sila période (1988-2018) | 43  |
| <b>Figure II-9</b>   | les vitesses moyennes mensuelles des vents m/s pour la commune de M'Sila                                   | 44  |
| <b>Figure II-10</b>  | Evapotranspiration mensuelle moyenne (en mm) de la région d'étude (1988-2018)                              | 46  |
| <b>Figure II-11</b>  | Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen pour la commune de M'Sila                                  | 48  |
| <b>Figure II- 12</b> | Climagramme d'Emberger avec une représentation de l'emplacement du climat de la région d'étude             | 49  |

### Chapitre III

| Figure               | Titre                                            | N°P |
|----------------------|--------------------------------------------------|-----|
| <b>Figure III-1</b>  | Situation géographique de la zone d'étude Mezrir | 55  |
| <b>Figure III-4</b>  | Préparation de l'échantillon analyses (Tamisage) | 58  |
| <b>Figure III-6</b>  | Cylindre enforcé dans le sol                     | 60  |
| <b>Figure III-18</b> | Appareil de Kjeldahl                             | 71  |

## Chapitre IV

| Figure              | Titre                                                                                     | N°P       |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Figure IV-1</b>  | Photo originale du premier profil                                                         | <b>73</b> |
| <b>Figure IV-2</b>  | Photo originale du deuxième profil                                                        | <b>74</b> |
| <b>Figure IV-3</b>  | Résultats de l'humidité des horizons du premier profil (Mezrir)                           | <b>75</b> |
| <b>Figure IV-4</b>  | Résultats de la porosité des horizons du premier profil                                   | <b>76</b> |
| <b>Figure IV-5</b>  | Représentation des résultats du pH <sub>eau</sub> et pH <sub>KCl</sub> du premier profil  | <b>77</b> |
| <b>Figure IV-6</b>  | Variation de la conductivité électrique (CE) dans les horizons du premier profil          | <b>78</b> |
| <b>Figure IV-7</b>  | Représentation des teneurs en calcaire total des horizons du premier profil               | <b>80</b> |
| <b>Figure IV-8</b>  | Taux du calcaire actif au niveau des horizons du premier profil                           | <b>80</b> |
| <b>Figure IV-9</b>  | Taux de matière organique au premier profil                                               | <b>81</b> |
| <b>Figure IV-10</b> | Résultat des analyses du gypse pour le premier profil                                     | <b>82</b> |
| <b>Figure IV-11</b> | Résultat obtenus des bicarbonates dans le premier profil                                  | <b>83</b> |
| <b>Figure IV-12</b> | Valeurs des chlorures (Cl <sup>-</sup> ) dans le premier profil                           | <b>85</b> |
| <b>Figure IV-13</b> | Taux de l'azote total en premier profil                                                   | <b>85</b> |
| <b>Figure IV-14</b> | Résultats de l'humidité des horizons du profil P2                                         | <b>86</b> |
| <b>Figure IV-15</b> | Résultats de la porosité des horizons du profil P2                                        | <b>87</b> |
| <b>Figure IV-16</b> | Représentation des résultats du pH <sub>eau</sub> et pH <sub>KCl</sub> de deuxième profil | <b>87</b> |
| <b>Figure IV-17</b> | Représentation des teneurs en calcaire total des horizons du deuxième profil              | <b>88</b> |
| <b>Figure IV-18</b> | Représentation des teneurs en calcaire actif des horizons du deuxième profil              | <b>89</b> |
| <b>Figure IV-19</b> | Résultat des analyses du gypse pour le deuxième profil                                    | <b>90</b> |
| <b>Figure IV-20</b> | Résultats de Matière Organique au deuxième profil de la zone (Mezrir, commune de M'Sila)  | <b>91</b> |
| <b>Figure IV-21</b> | Résultat de valeur d'azote du deuxième profil                                             | <b>92</b> |
| <b>Figure IV-22</b> | Taux de L'activité biologique dans la deuxième profile                                    | <b>92</b> |
| <b>Figure IV-23</b> | Variation des fractions granulométrique du deuxième profil                                | <b>93</b> |

# Liste des Tableaux

## Chapitre I

| Tableau            | Titre                                                                                                                                   | N°P       |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tableau I-1</b> | Minéraux des sols                                                                                                                       | <b>7</b>  |
| <b>Tableau I-2</b> | Dénomination texturales complémentaires                                                                                                 | <b>10</b> |
| <b>Tableau I-3</b> | Classification détaillée des textures des sols                                                                                          | <b>11</b> |
| <b>Tableau I-4</b> | Classification des structure                                                                                                            | <b>15</b> |
| <b>Tableau I-5</b> | Quelques valeurs du potentiel matriciel, exprimées par la force de rétention $F$ et le pF                                               | <b>21</b> |
| <b>Tableau I-6</b> | CEC des principaux minéraux argileux déterminés à pH = 7                                                                                | <b>22</b> |
| <b>Tableau I-7</b> | Principales intervention des organismes vivants dans la dynamique des élément nutritifs et dans la formation de la structure des sols . | <b>26</b> |

## Chapitre II

| Tableau              | Titre                                                                                                      | N°P       |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tableau II-1</b>  | Caractéristique de la station météorologique de M'Sila                                                     | <b>40</b> |
| <b>Tableau II-2</b>  | Les moyennes mensuelles des températures en (C)°de la commune de M'Sila (1988-2018)                        | <b>41</b> |
| <b>Tableau II-3</b>  | Les variations des précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la commune de M'Sila (1988-2018)          | <b>42</b> |
| <b>Tableau II-4</b>  | Les variations de l'humidité moyennes mensuelles exprimé en (%) de la région de M'Sila période (1988-2015) | <b>43</b> |
| <b>Tableau II-5</b>  | Vitesses moyennes du vent m/s de la commune de M'Sila                                                      | <b>44</b> |
| <b>Tableau II-6</b>  | Evapotranspiration mensuelle moyenne (en mm) de la région d'étude (1988-2018)                              | <b>45</b> |
| <b>Tableau II-7</b>  | Calcul de l'indice de MARTONNE de la zone d'étude                                                          | <b>47</b> |
| <b>Tableau II-8</b>  | Classification de station selon De Martonne                                                                | <b>47</b> |
| <b>Tableau II-9</b>  | L'étage bioclimatique de la région de M'Sila                                                               | <b>48</b> |
| <b>Tableau II-10</b> | Les ressources en eau , le nombre de puits et de points d'eau dans la commune de M'Sila                    | <b>50</b> |
| <b>Tableau II-11</b> | Espaces irrigués                                                                                           | <b>50</b> |
| <b>Tableau II-12</b> | Investisseurs agricoles dans la commune de M'Sila                                                          | <b>51</b> |
| <b>Tableau II-13</b> | Production Végétale de la commune de M'Sila                                                                | <b>51</b> |
| <b>Tableau II-14</b> | Les céréales dans la commune de M'Sila (2021)                                                              | <b>52</b> |
| <b>Tableau II-15</b> | Superficie en hectares d'arbres fruitiers dans la commune de M'Sila                                        | <b>52</b> |
| <b>Tableau II-16</b> | Les superficies allouées à la culture des légumes en hectares dans la commune de M'Sila                    | <b>52</b> |
| <b>Tableau II-17</b> | Le nombre de serres destinées aux cultures protégée dans la commune de M'Sila                              | <b>53</b> |
| <b>Tableau II-18</b> | Superficies affectées à la culture fourragère dans la commune de M'Sila                                    | <b>53</b> |
| <b>Tableau II-19</b> | Statistiques du recensement animalier dans la commune de M'Sila                                            | <b>53</b> |
| <b>Tableau II-20</b> | La répartition de matériels de travaux de sol de la commune de M'Sila                                      | <b>54</b> |

## Chapitre IV

| Tableau      | Titre                                                                                                                     | N°P |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau IV-1 | Résultats des densités apparente et densités réelle et aussi de la porosité de chacun des cinq horizons du premier profil | 76  |
| Tableau IV-2 | Pourcentages des fractions granulométriques des horizons du premier profil                                                | 78  |
| Tableau IV-3 | Représentation des résultats de la conductivité électrique (CE) des horizons du premier profil                            | 80  |
| Tableau IV-4 | Résultat de rapport C/N                                                                                                   | 84  |
| Tableau IV-5 | Résultats des sulfates du premier profil                                                                                  | 86  |
| Tableau IV-6 | Résultats des densités apparente et densités réelle et aussi de la porosité de chacun des cinq horizons du premier profil | 86  |
| Tableau IV-7 | Les résultats d'analyse granulométrique dans le deuxième profil                                                           | 88  |
| Tableau IV-8 | Représentation des résultats de la conductivité électrique (CE) du deuxième profil                                        | 90  |
| Tableau IV-9 | Les résultats des sels solubles                                                                                           | 91  |

## Liste des photos

### Chapitre III

| Photo        | Titre                                                                                                       | N°P |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Photo III-2  | Profil du sol p1 Le 16/03/2023 ( <i>Seghiour et Oubah</i> )                                                 | 57  |
| Photo III-3  | Profil du sol P2 Le 16/03/2023 ( <i>Seghiour et Oubah</i> )                                                 | 57  |
| Photo III-5  | Pycnomètre utilisé pour la détermination de la densité réelle de nos échantillons ( <i>photo original</i> ) | 59  |
| Photo III-7  | pH –mètre utilisé par la détermination de pH de nous échantillons analysés ( <i>photo original</i> )        | 61  |
| Photo III-8  | Conductivité-mètre utilisé pour la détermination du la CE de nos échantillons ( <i>photo original</i> )     | 62  |
| Photo III-9  | Calcimètre de Bernard (utilisé pour analyse du calcaire total) ( <i>photo original</i> )                    | 63  |
| Photo III-10 | Titrations lors de mesure du calcaire actif des sols analysé ( <i>photo original</i> )                      | 64  |
| Photo III-11 | Titration de $CL^-$ par $AgNO_3$ ( <i>photo original</i> )                                                  | 66  |
| Photo III-12 | Titration de Carbonate et bicarbonate ( <i>photo original</i> )                                             | 67  |
| Photo III-13 | Capsule de sulfate ( <i>photo original</i> )                                                                | 68  |
| photo III-14 | Une des étapes de détermination du taux du MO dans nos sols analysés ( <i>photo original</i> )              | 69  |
| Photo III-15 | les matras contenant la couleur grise ( <i>photo original</i> )                                             | 70  |
| Photo III-16 | L'apparition de la couleur bleue dans matras après ajout d'eau distillée ( <i>photo original</i> )          | 71  |
| Photo III-17 | L'apparition de la couleur violette après titrage avec de l'acide sulfurique ( <i>photo original</i> )      | 71  |

## Liste des abréviations

|                                         |                                                      |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>A</b>                                | Argile.                                              |
| <b>Ag NO<sub>3</sub></b>                | Nitrate d'argent.                                    |
| <b>BaCl<sub>2</sub></b>                 | Chlorure de barium.                                  |
| <b>Ca<sup>+2</sup></b>                  | Calcium.                                             |
| <b>CaCO<sub>3</sub></b>                 | Calcaire.                                            |
| <b>CE</b>                               | conductivité électrique.                             |
| <b>CEC</b>                              | Capacité d'échanges cationiques.                     |
| <b>C/N</b>                              | rapport carbone organique sur l'azote organique.     |
| <b>C</b>                                | Carbone.                                             |
| <b>Cl<sup>-</sup></b>                   | Chlorure.                                            |
| <b>CO<sub>2</sub></b>                   | Dioxyde de carbone.                                  |
| <b>CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O</b> | sulfate de calcium hydrate.                          |
| <b>da</b>                               | densité apparent.                                    |
| <b>dr</b>                               | densité réelle.                                      |
| <b>D.S.A</b>                            | Direction des Services Agricole.                     |
| <b>E</b>                                | Est.                                                 |
| <b>ETP</b>                              | Évapotranspiration potentiel.                        |
| <b>FAO</b>                              | Food Agricultural Organisation.                      |
| <b>Fig</b>                              | Figure.                                              |
| <b>H</b>                                | Horizon.                                             |
| <b>H (%)</b>                            | Taux d'humidité.                                     |
| <b>H<sub>2</sub> SO<sub>4</sub></b>     | Acide sulfirique.                                    |
| <b>HCO<sub>3</sub></b>                  | Bicarbonate.                                         |
| <b>H<sup>+</sup></b>                    | Hydrogène.                                           |
| <b>HBO</b>                              | Acide borique.                                       |
| <b>H cl</b>                             | Acide hydrochlorique.                                |
| <b>GEPPA</b>                            | Groupe D'étude des Problèmes de Pédologie Appliquée. |
| <b>g/cm<sup>3</sup></b>                 | gramme sur centimètre cube.                          |
| <b>K<sup>+</sup></b>                    | Potassium.                                           |
| <b>K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>      | Sulfate de potassium.                                |
| <b>L</b>                                | Limon.                                               |
| <b>Lt</b>                               | Limon total.                                         |
| <b>IB</b>                               | Indice de battance.                                  |
| <b>Lf</b>                               | Limon fin.                                           |
| <b>Lg</b>                               | Limon grossier.                                      |
| <b>mS/cm</b>                            | milli-siemence par centimètre.                       |
| <b>MO</b>                               | Matière Organique.                                   |
| <b>M(K°)</b>                            | Température de mois le plus chaude en Kelvin.        |
| <b>m(K°)</b>                            | Température de mois le plus froid en Kelvin.         |
| <b>m/s</b>                              | mètre par seconde.                                   |

|                                    |                                                       |
|------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>M (I)</b>                       | Minéraux primaires.                                   |
| <b>M (II)</b>                      | Minéraux secondaires.                                 |
| <b>Mg<sup>+2</sup></b>             | Magnesium.                                            |
| <b>N</b>                           | Azote.                                                |
| <b>N<sub>2</sub></b>               | l'azote atmosphérique.                                |
| <b>N a<sup>+</sup></b>             | Sodium.                                               |
| <b>NH<sup>+4</sup></b>             | Ammonium.                                             |
| <b>NO<sup>-3</sup></b>             | Nitrate.                                              |
| <b>N</b>                           | Nord.                                                 |
| <b>P(mm)</b>                       | Précipitation (mm).                                   |
| <b>P (%)</b>                       | Pourcentage de porosité.                              |
| <b>pH</b>                          | Potentiel hydrique.                                   |
| <b>pH eau</b>                      | Acidité actuelle (réelle).                            |
| <b>pH kcl</b>                      | Acidité potentielle.                                  |
| <b>Ps</b>                          | Poids de terre sèche de l'échantillon.                |
| <b>P1 et P2</b>                    | Profil ( P1: premier Profil et P2: deuxième Profil ). |
| <b>P</b>                           | Phosphor.                                             |
| <b>PO<sub>3</sub><sup>-4</sup></b> | Ortho phosphate.                                      |
| <b>Q2</b>                          | le quotient pluviométrique d'Emberger.                |
| <b>S</b>                           | Sable.                                                |
| <b>Sf</b>                          | Sable fin.                                            |
| <b>Sg</b>                          | Sable grossier.                                       |
| <b>SMM</b>                         | Station météorologique de M'Sila.                     |
| <b>Si</b>                          | Silice.                                               |
| <b>SO<sub>4</sub><sup>-2</sup></b> | Sulfate.                                              |
| <b>T</b>                           | Capacité d'échange cationique.                        |
| <b>T(C°)</b>                       | Température.                                          |
| <b>T.Max</b>                       | Température maximale.                                 |
| <b>T.Min</b>                       | Température minimale.                                 |
| <b>Tab</b>                         | Tableau.                                              |
| <b>µm</b>                          | micro mètre.                                          |
| <b>V (K/H)</b>                     | Vent.                                                 |
| <b>Vs</b>                          | Volume occupé par la matière solide.                  |
| <b>Vt</b>                          | Volume totale.                                        |
| <b>Vv</b>                          | Volume de vide.                                       |
| <b>%</b>                           | Pourcentage.                                          |

---

# ***Introduction Générale***

---

## Introduction générale

En Algérie l'agriculture est l'un des secteurs économiques les plus importants, elle se base sur plusieurs critères dont le sol est le plus important entre eux.

Le sol est un élément fondamental de l'écosystème terrestre et joue un rôle crucial dans la production agricole, la conservation de la biodiversité et la régulation des cycles biogéochimiques.

Cependant, la qualité du sol peut être altérée par divers facteurs, tels que l'érosion, la pollution, la salinisation et la dégradation physique. Pour cette raison, il est essentiel de réaliser des analyses physiques, chimiques et biologiques du sol afin de la caractériser et de déterminer les pratiques de gestion les plus appropriées pour maintenir ou améliorer sa qualité et fertilité.

Dans les régions arides (dont 95% du territoire Algérien fait partie) et même semi-arides, les sols d'une manière générale posent d'énormes problèmes de mise en valeurs (**Aubert, 1960; Halitim, 1988**).

Pour la région de M'Sila, l'agriculture était et reste toujours d'importance cruciale et a comme production principale les céréales, les légumineuses et les olives. Cependant, cette région est confrontée à des défis tels que la sécheresse (contrainte climatique) et la dégradation des sols et de sa fertilité qui diminues de plus en plus. D'où la nécessité de recherches approfondies sur les sols de cette zone.

Cette région (M'Sila) se caractérise par plusieurs contraintes de point de vue production végétale dont les plus importants à citer sont:

- \*Un climat aride, caractérisé par des températures élevés et des précipitations faibles ; ce qui conduit à l'aggravation du problème de sécheresse, érosion et dégradation des sols ;
- \*Des ressources en eau limitées et en général de qualité moyenne à médiocre ;
- \*Une composante géologique et édaphiques marquées par l'abondance et voir même l'accumulation des sels, du calcaire et du gypse.

Le présent travail a comme objectif de déterminer les caractéristiques physico-chimiques des sols de la zone de Mezrir (wilaya de M'Sila), de mieux comprendre les facteurs édaphiques qui influencent grossièrement sa fertilité et d'essayer de discuter ces potentialités agronomiques.

Notre travail est structuré en une série de chapitres.

- **Le premier chapitre** : est consacré à la présentation des concepts de base et des définitions du sol et présentation de ces propriétés physiques, chimiques et biologiques.
- **Le deuxième** : résume les composantes de l'environnement physique (situation géographique, hydrologie, géologie et climat) de la région d'étude.
- **Le troisième chapitre** : présente la méthodologie de travail et vise à déterminer les méthodes de prélèvement des échantillons de sol ainsi que celle utilisées au laboratoire (Méthode d'échantillonnage et méthode d'analyse en laboratoire)
- **Chapitre quatre** : Résultat et discussion (les résultats des analyses physiques, chimiques et biologiques dans les horizons des deux dossiers étudiés, avec explication et interprétation des résultats obtenus Enfin, une conclusion dans laquelle nous proposons des solutions aux problèmes les plus sérieux ou Obstacles rencontrés par le sol étudié dans la région de Mezrir

---

# ***CHAPITRE I : Recherche bibliographique***

---

### I-1-Définition des sols:

Pour différentes perceptions du sol, le mot (sol) est un mot banal que chacun utilise très fréquemment et sans être nécessairement conscient de sa signification. Il faut dire qu'elle peut être très différente selon les préoccupations, les cultures, les connaissances, les époques.

Plusieurs visions peuvent être dégagées des divers travaux publiés. La manière la plus triviale de percevoir le sol est de le considérer comme un support mécanique, celui des pas, le substrat où l'on marche, mais aussi celui des bâtiments, des machines et des engins motorisés. C'est une attitude très pragmatique et probablement aussi très spontanée (Calvet, 2003).

Un autre point de vue, est aussi très utilitaire, en relation avec la constante préoccupation des hommes de se procurer des aliments pour assurer leur nourriture et des fibres pour se protéger.

Le sol (support des perceptions très anciennes qui remontent aux origines de l'agriculture et qui est étroitement liée à l'évolution des plantes) est une des civilisations. Le sol est vu essentiellement comme un milieu de culture et c'est la définition donnée par plusieurs auteurs au début du 20<sup>ème</sup> siècle tels que cette avis peut être rapprochée de celle de chimistes comme Justus von Liebig pour qui le sol est assimilable à un milieu contenant les éléments nutritifs des plantes (Calvet, 2003).

Les roches et les sols qui les surmontent sont bien différents dans leur aspect et leur composition. Les minéraux primaires, contenus initialement dans les roches à l'état frais vont subir un certain nombre de transformations géochimiques et biochimiques qui aboutissent à la formation de minéraux nouveaux formés dans le sol, dits minéraux secondaires (argiles, oxydes, hydroxydes...), qui constituent l'essentiel de la fraction fine (appelée communément « terre fine»). L'ensemble de ces transformations constituent l'altération des roches et des minéraux. Les minéraux secondaires, résultant de l'altération des minéraux primaires, constituent le complexe d'altération, dont l'étude est essentielle à la compréhension de la pédogenèse et des propriétés des sols. Dans beaucoup de sols, la fraction minérale représente l'ensemble le plus important en volume. Elle contribue donc à jouer un rôle important pour en définir les caractères et les modes de fonctionnement même si d'autres compartiments ont un rôle tout aussi important au niveau fonctionnel (Duchaufour et al, 2018).

### I-2-Principaux constituants du sol:

#### I-2-1- Les phases du sol

Le sol en place est un milieu hétérogène et comporte trois phases :

**\*Une phase solide** composée par le matériau terreux mélange de matières minérales et de matières organiques (Prévost, 2006).

Elle est constituée par des minéraux et des matières organiques en proportions variables. On pourrait considérer que les organismes vivants du sol font partie de la phase solide puisqu'ils ne sont ni gazeux ni

liquides. Nous ne le ferons pas en raison de leur importance dans le fonctionnement du sol de sorte que nous associerons la phase solide à des constituants non vivants, c'est-à-dire à l'ensemble constitué par les minéraux et les matières organiques mortes. La nature des minéraux du sol est déterminée à la fois par les roches sur lesquelles ils se sont formés et par les processus de pédogenèse (**Calvet, 2003**).

**\*Une phase liquide** représentée par l'eau plus ou moins chargée de substances dissoutes (**Prévost, 2006**).

La phase liquide du sol n'est pas de l'eau pure mais est une solution dont la composition est complexe et très variable. On la désigne souvent par l'expression "solution du sol" qui contient de très nombreuses substances dissoutes organiques et inorganiques, ionisées et non ionisées (**Calvet, 2003**).

Dans le sol, on trouve l'eau sous forme de :

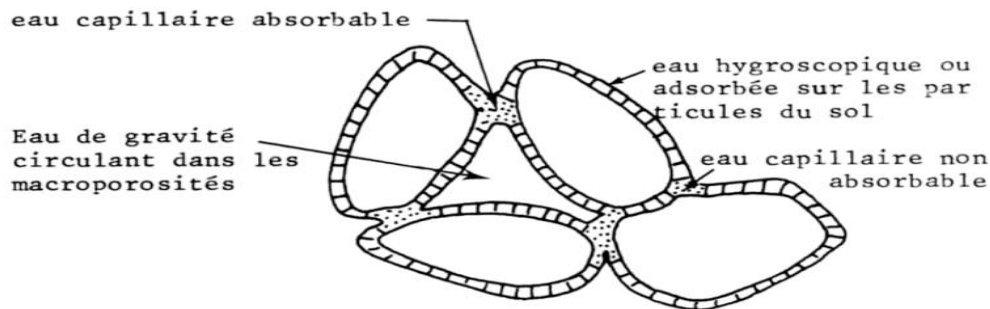
**Eau hygroscopique** ou eau **d'adsorption** appartient plus au monde minéral qu'elle ne participe au cycle de l'eau à court et moyen terme puisqu'elle est fixée aux parois par une tension atteignant seize atmosphères ( $pF = 4,2$ ) donc inaccessible aux végétaux. Elle ne gèle pas à une densité  $d = 1,7$  (**Roger, 1996**) ;

**L'eau d'adhésion** ou **eau pelliculaire** retenue par les forces d'adhésion ne peut être extraite que par les plantes ayant une tension osmotique supérieure à dix atmosphères ( $pF > 4$ ), ne peut se déplacer par gravité, ne gèle qu'à  $-78^{\circ}C$ . elle représente 40 à 45 % de l'eau retenue par les argiles.

**L'eau de rétention capillaire** ne se déplace pas sous l'action de la pesanteur puisque la force de tension capillaire l'emporte sur la gravité, mais sous l'action des forces de tension superficielle. elle ne peut donc que s'évaporer ou être par les plantes, absorbée par la tension osmotique plus forte que la tension capillaire (**Roger, 1996**) ;

**L'eau de percolation** ou eau de détention ou **eau gravifique** ou eau vadose des vieux livres, remplit les pores non capillaires pendant les phases de saturation, et est ensuite vidangée par la pesanteur d'où le nom d'eau gravifique. Son mouvement est surtout vertical et permet l'alimentation (recharge) de la nappe phréatique. Dans un sol sur substratum imperméable et en pente, elle est vidangée par ressuyage oblique, parallèle à la pente (**Roger, 1996**) ;

.cette eau circule entre les grains sans être trop fortement retenue il faut peu d'énergie (à la plante) pour prélever cette eau Dans les sols fins, l'évaporation est importante, le film d'eau sur les particules est fortement retenu Les végétaux ont plus de difficulté pour l'extraire d'où la nécessité d'adaptations des systèmes racinaires et autres (**Fig I-1**) (**Lamy, 1995**).



**Figure I-1: Types d'eau dans sol (Lamy, 1995).**

### **\*Une phase gazeuse**

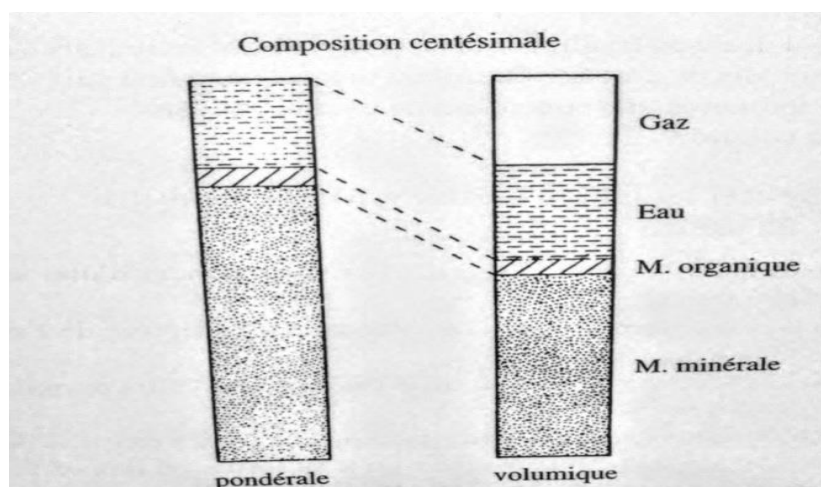
La phase gazeuse du sol est encore appelée l'atmosphère du sol. Sa composition est souvent voisine de celle de l'air mais elle peut être très variable dans l'espace et dans le temps. Elle dépend principalement de deux facteurs, la proximité de l'atmosphère, c'est-à-dire la profondeur dans le sol et l'activité biologique. L'air du sol contient en général les mêmes substances que l'air atmosphérique mais sa composition peut être très différente en raison, en particulier, de l'activité biologique (**Calvet, 2003**).

L'aération du sol désigne l'ensemble des manifestations où les gaz du sol ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ , etc.) interviennent soit à l'état gazeux dans les pores libres du sol, soit à l'état dissous dans la solution du sol. L'état structural et l'état hydrique conditionnent l'aération du sol (**Vilain, 1997**).

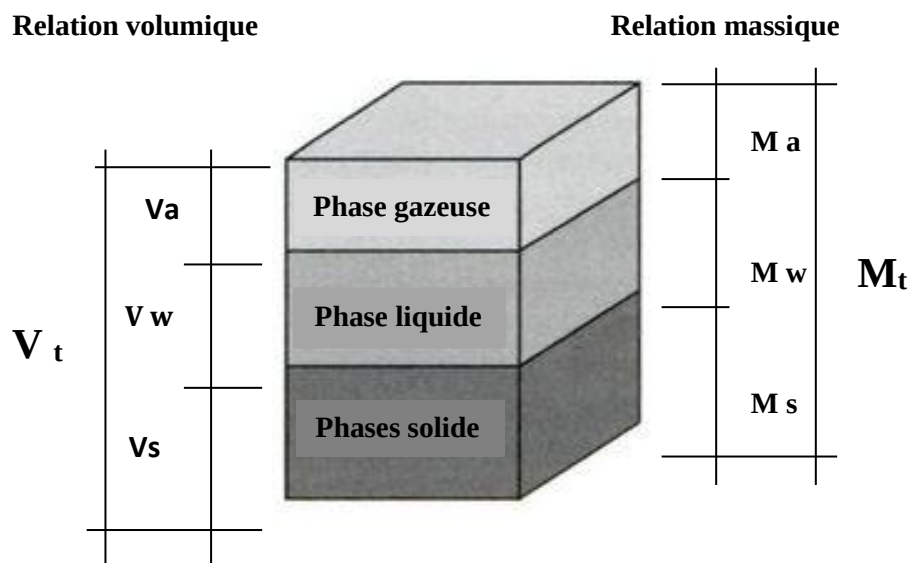
L'oxygène et le gaz carbonique sont aussi présents à état dissous dans la solution du sol. L'oxygène est assez peu soluble dans l'eau (6 ml à 20 ° C) alors que le gaz carbonique l'est davantage. La solubilité de l'oxygène diminue avec l'augmentation de la température, celle du gaz carbonique augmente. La composition de l'air solubilisé est la suivante :

Azote 64 %, oxygène 34 % et gaz carbonique 2 %. La diffusion des gaz est très lente dans solution du sol, la vitesse de diffusion de l'oxygène est environ

10 000 inférieure à sa valeur dans l'air (**Vilain, 1997**).



**Figure I-2: Distribution des phases du sol (Vilain, 1997).**



$V_t$  = volume total apparent

$M_t$  = masse totale

$V_s$  = volume de la phase solide

$M_s$  = masse de la phase solide

$V_w$  = volume de la phase liquide

$M_w$  = masse de la phase liquide

$V_a$  = volume de la phase gazeuse

$M_a$  = masse de la phase gazeuse

**Figure I-3:** Représentation schématisée de la constitution d'un volume de sol (William et al, 1991).

Les paramètres fondamentaux sur lesquels repose la description générale d'un sol relèvent des relations de masse et de volume caractérisant sa constitution.

Ces relations sont illustrées par la (Fig I-3) les indices **s**, **w** et **a** se référant respectivement aux phases solides, liquide et gazeuse (Soutter et Musy, 1991).

### I-2-2-Les constituant minéraux :

Les sols présentent la particularité de renfermer des **minéraux primaires** (quartz, feldspaths, micas ...) plus ou moins altérés et des minéraux ou phases minérales et organo-minérales secondaires. Ces **minéraux secondaires** provenant de l'altération, sont la résultante de phénomènes de transformation des minéraux primaires ou de néoformation de minéraux ( par exemple : oxydes , argiles ) Ces phases minérales secondaires qui constituent ce que l'on désigne aussi par **complexe d'altération** comprennent des minéraux argileux , des oxyhydroxydes de fer , d'aluminium , de manganèse rarement purs et bien souvent associés à des matières organiques de type humiques , elles mêmes en cours de transformation. Remarque (Tab I-1) (Girard et al, 2005).

Tableau I-1: Minéraux des sols

| Minéraux primaires pouvant subir une altération plus ou moins grande |                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Quartz</b>                                                        | SiO <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                                                                                       | Abondant dans les sables et les limons                                                                                 |
| <b>Feldspath</b>                                                     | (Na ,k)AlO <sub>2</sub> (SiO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> / CaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (SiO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>                                                                                                                                           | Abondant dans les Sols peu lessivés                                                                                    |
| <b>Mica</b>                                                          | K <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>3</sub> Al <sub>4</sub> (OH) <sub>4</sub> K <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>3</sub><br>(Mg ,Fe) <sub>6</sub> (OH) <sub>4</sub> | Source de potassium dans la plupart des zones tempérées                                                                |
| <b>Amphibole</b>                                                     | (Ca ,Na ,k) <sub>2-3</sub> (Mg ,Fe ,Al) <sub>5</sub> (OH) <sub>2</sub> [(Si ,Al) <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ] <sub>2</sub>                                                                                                                                           | Facilement altérée et transformée en argiles et oxides.                                                                |
| <b>Pyroxène</b>                                                      | (Ca ,Mg ,Fe ,Ti ,AL)(Si ,Al)O <sub>3</sub>                                                                                                                                                                                                                             | Facilement altéré.                                                                                                     |
| <b>Olivine</b>                                                       | (Mg , Fe ) <sub>2</sub> SiO <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                                                               | Facilement altérée.                                                                                                    |
| Minéraux secondaires                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                        |
| <b>Kaolinite</b>                                                     | Si <sub>4</sub> Al <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>                                                                                                                                                                                                      | Abondantes dans la fraction « argiles granulométriques ». Ces minéraux sont l'une des sources de cations échangeables. |
| <b>Smectite</b>                                                      | M <sub>x</sub> (Si Al) <sub>8</sub> (Al , Fe , Mg) <sub>4</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>4</sub>                                                                                                                                                                      |                                                                                                                        |
| <b>Vermiculite</b>                                                   | M=cations compensateurs                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                        |
| <b>Chlorite</b>                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                        |
| <b>Allophane</b>                                                     | Si <sub>3</sub> Al <sub>4</sub> O <sub>12</sub> .nH <sub>2</sub> O                                                                                                                                                                                                     | Abondants dans les sols formés sur des matériaux volcaniques.                                                          |
| <b>Imogolite</b>                                                     | Si <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> O <sub>10</sub> .5H <sub>2</sub> O                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                        |
| <b>Gibbsite</b>                                                      | Al(OH) <sub>3</sub>                                                                                                                                                                                                                                                    | Abondante dans les sols lessivés.                                                                                      |
| <b>Goethite</b>                                                      | FeO(OH)                                                                                                                                                                                                                                                                | Oxyhydroxyde de fer le plus abondant                                                                                   |
| <b>Hématite</b>                                                      | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                                                                                                                                                                                                                         | Abondante dans les sols des régions chaudes                                                                            |
| <b>Ferrihydrite</b>                                                  | Fe <sub>10</sub> O <sub>15</sub> .9H <sub>2</sub> O                                                                                                                                                                                                                    | Abondante dans les horizons organiques.                                                                                |
| <b>Birnessite</b>                                                    | (Na , Ca)Mn <sub>7</sub> O <sub>14</sub> .2,8H <sub>2</sub> O                                                                                                                                                                                                          | Oxyde de manganèse le plus abondant.                                                                                   |
| <b>Calcit</b>                                                        | CaCO <sub>3</sub>                                                                                                                                                                                                                                                      | Carbonate le plus abondant                                                                                             |
| <b>Gypse</b>                                                         | CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O                                                                                                                                                                                                                                   | Abondant dans les régions arides.                                                                                      |

Source (Calvet, 2013)

### I-2-3-Les constituant organique :

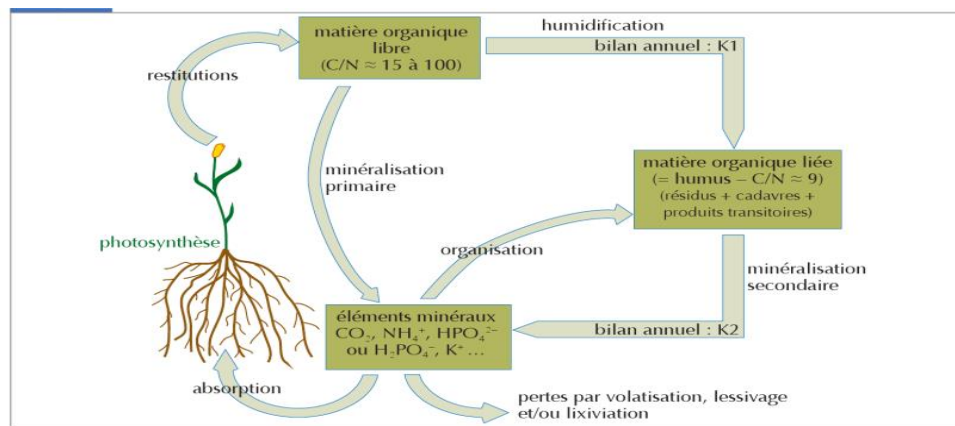
La matière organique est le fruit de l'activité biologique tant animale que végétale du sol. Elle englobe ainsi toute substance organique vivante ou morte fraîche ou décomposée simple ou complexe à l'exclusion toutefois des animaux vivants dans le sol et des racines vivantes (Soutter et Musy, 1991).

#### I-2-3-1- Évolution et Décomposition de la matière organique:

Cette évolution se fait en fonction de matériel (matière) on départ matière organique fraîche ou humus. Elle est guidée par deux paramètres :

**L'humification** est l'ensemble des processus qui aboutissent, à partir des produits de décomposition de la matière organique fraîche, à la formation de molécules organiques stables : les acides humiques et fulviques . (Michelot, 2010).

**Minéralisation** qu'une partie de la matière organique fraîche libère dans le sol, par décomposition, des éléments minéraux solubles dont la plante peut se nourrir. Une autre partie de cette matière organique fraîche évolue pour donner naissance à l'humus Remarque (Fig I-4) (Michelot, 2010).



**Figure I-4 : Cycle d'évolution de la matière organique du sol (Collectif D'auteurs, 2017).**

### I-2-3-2- Rôle de Matière Organique:

La matière organique a de nombreux rôles dans le sol:

#### a. Effet physique :

Amélioration de la porosité et de la rétention en eau ainsi que de la stabilité structurale.

#### b. Effet biologique :

Affecte la stimulation et augmentation de l'activité des micro- organismes du sol ; effet (difficile à démontrer) de stimulation de la végétation ; on peut l'expliquer par un meilleur fonctionnement de la rhizosphère, c'est à dire de la couche microbienne qui favorise les échanges au niveau des racines (Guet, 2003).

#### c. Effet fertilisant Ou nutritionnel pour les plantes :

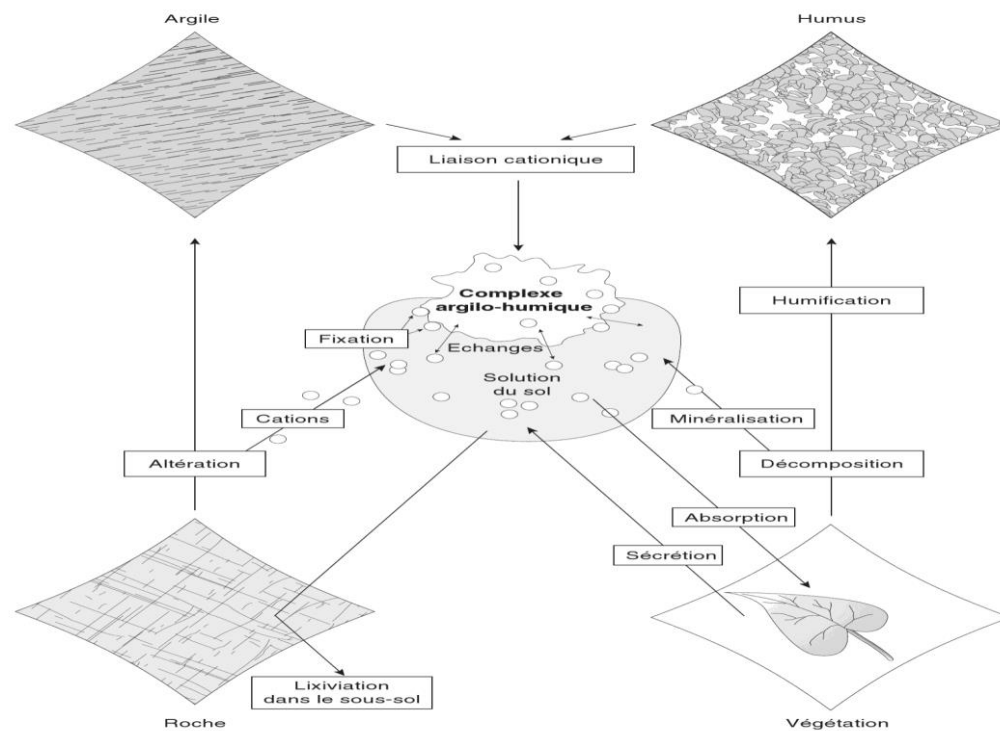
La matière organique du sol, notamment l'humus, est une source et une réserve d'élément nutritifs pour les plants. Sous l'action des micro-organismes, l'humus se minéralise libérant des éléments minéraux indispensables à l'alimentation des plantes (Langlois et Amand, 2004).

### I-2-4-Les constituant Organo-minéraux (complexe argilo-humique) :

Le complexe adsorbant des sols est l'ensemble des constituants susceptibles d'être à l'origine de l'adsorption des ions. Il est donc constitué par : les minéraux argileux et les sesquioxides métalliques les substances humiques (Calvet, 2003).

#### I-2-4-1- Le Complexe absorbant

La matière organique du sol se lie à l'argile avec laquelle elle forme des complexes très stables. Divers types de liaisons chimiques ou physico-chimiques assurent la cohésion de ces complexes. Des hydroxydes polymérisés de fer, d'aluminium ou de manganèse qui sont, eux, chargés positivement, peuvent encore renforcer la stabilité de l'ensemble en jouant le rôle de ponts entre particules de charges négatives (Davet, 1996, Dréman, 2006).



**Figure I-5 :** Le complexe argilo-humique, plaque tournante du fonctionnement du sol  
(Gobat et al, 2003).

### I-3-Caractéristiques et propriétés du sol :

#### I-3-1-Propriétés physiques du sol :

##### I-3-1-1-Texture du sol :

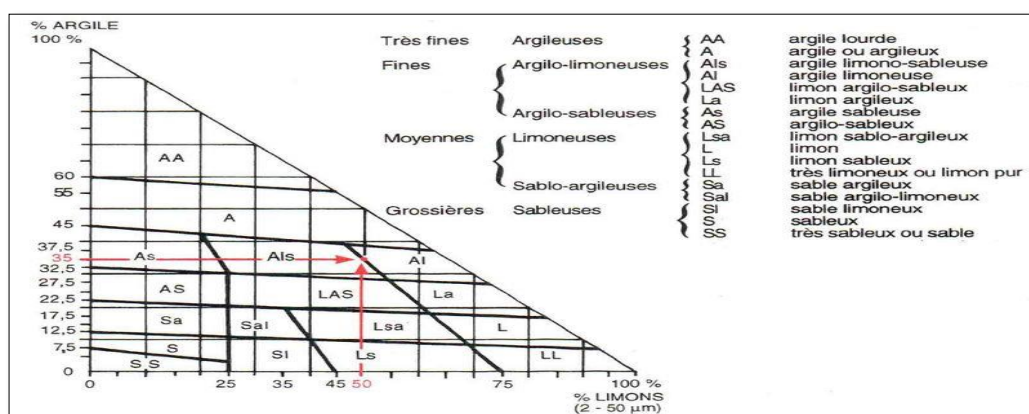
La texture du sol se définit par ses proportions relatives en sable, limon et argile. Selon leur texture, les sols sont décrits comme sableux, sablo-limoneux, limoneux, limono-argileux, argileux, etc. On les nomme aussi sols " légers " (par exemple sols sableux et sablo-limoneux), " moyens " (par exemple sols limoneux) ou " lourds " (par exemple sols limono - argileux et argileux) sur la base de la possibilité de travailler le sol (FAO, 2003).

La texture du sol est une propriété du sol qui est cruciale pour l'application de l'eau d'irrigation et sa disponibilité pour les cultures (Ahmed et al, 2022).

Elle est généralement représentée sur un triangle de texture comme le montre la (Fig 1-6) et affecte la quantité d'éléments nutritifs dans un sol (Bowen et Pallister, 2000).

Hénin la définit comme: « l'ensemble des propriétés qui résultent de la taille des constituants » (Vilain, 1997).

**Selon Hénin** « l'ensemble des propriétés qui résultent de la taille des constituants » En fait, cette notion permet d'apprécier les propriétés d'un sol à partir de la proportion des différentes fractions granulométriques. On la définit à l'aide du triangle textural (Fig I-6)



**Figure I-6 : Triangle textural du GEPPA (Claude et al, 2011).**

Le triangle textural ne prend en compte que les fractions granulométriques cependant, certains éléments comme le calcaire et la matière organique peuvent influencer fortement les propriétés du sol lorsque leur taux devient élevé.

**Selon Hénin**, il peut être proposé les dénominations complémentaires suivantes (**Tab I-2**)

**Tableau I-2: Dénomination texturales complémentaires**

| Teneur en calcaire (%)            | < 5 | 5 -20                | 20-50                | >50      |
|-----------------------------------|-----|----------------------|----------------------|----------|
| Dénomination                      |     | Suffixe " calcaire " | Préfixe " calcaire " | calcaire |
| Teneur en matières organiques (%) | < 4 | 4-10                 | 10-20                | >20      |
| Dénomination                      |     | Suffixe " humifère " | Préfixe " humo "     | Humus    |

**Source (Prévost, 2006)**

#### **a. Texture minérale :**

Elle S'exprime par un terme ,simple (ex . sableuse , argileuse) ou composé (ex . limono-sableuse argilo-limoneuse ),repéré dans un triangle des texture minérales .au sien duquel des catégories sont délimitées la ( **Fig I-7**) présente le triangle standard USDA (**Gobat et al , 2003**).

#### **• Détermination et types (Classification des textures) :**

##### **Texture à dominante sableuse (Sandy)**

Sable, sable limoneux correspondent a des sols bien aères, de faible cohérence non ou très faiblement structurés, facile a travailler, pauvres en réserves d'eau et s'asséchant très rapidement, pauvres en éléments nutritifs, possédant une faible capacité d'échange cationique

##### **Texture dans lesquelles les limons sont majoritaires**

Limons fins et très fins (silty) correspondent a des sols dont l'excès de limon et l'insuffisance d'argile peuvent provoquer la formation d'une structure massive, pouvant devenir compacte, accompagnée de

mauvaises propriétés physiques. Cette tendance peut être corrigée partiellement par une teneur suffisante en humus et en calcium.

### Texture argileuse (*clayey*)

Sol chimiquement riche, mais a mauvaises propriétés physiques milieu imperméable et mal aère, formant obstacle a la pénétration des racines travail du sol difficile, en raisonne de la forte plasticité (état humide), ou de la compacité (état sec). Une bonne structure favorisée par l'humification corrige en grande partie ces propriétés défavorables, de même que des pratiques agricoles adaptées.

### Texture équilibrée, (ou franche, *loamy*)

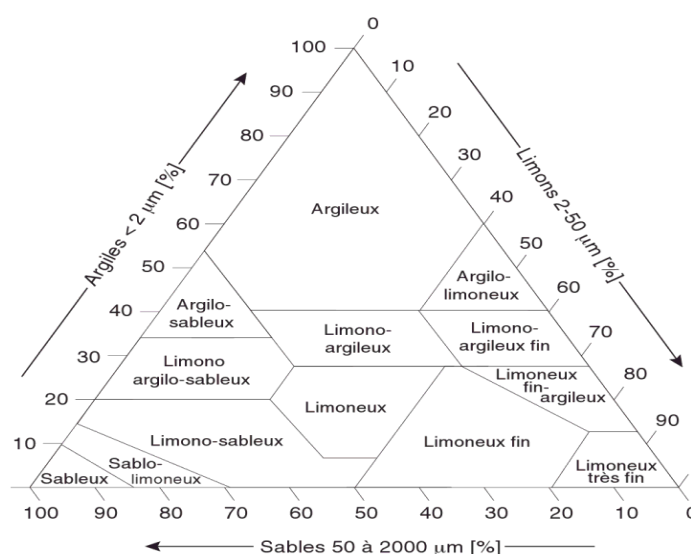
Limon, voire limon argileux correspond a l'optimum, dans la mesure où elle présente la plupart des qualités des trois types précédents, sans en avoir les défauts ; exemple de granulométrie très favorable a la culture : 25 % d'argile, 30 a 35 % de limons, 40 a 45 % de sables (**Tab I-3**)

(Duchaufour et *al*, 2018).

**Tableau I-3:** Classification détaillée des textures des sols

| Textures sableuses        |                      | Textures limoneuses      |                  |
|---------------------------|----------------------|--------------------------|------------------|
| <b>S</b>                  | Sable                | <b>LL</b>                | Limon léger      |
| <b>SL</b>                 | Sable limoneux       | <b>LM</b>                | Limon sableux    |
| <b>SA</b>                 | Sable argileux       | <b>LA</b>                | Limon argileux   |
| Textures limono-sableuses |                      | Textures argilo-sableuse |                  |
| <b>LLS</b>                | Limon léger sableux  | <b>AS</b>                | Argile sableuse  |
| <b>LS</b>                 | Limon sableux        | Textures argileuses      |                  |
| <b>LMS</b>                | Limon moyen sableux  | <b>A</b>                 | Argile           |
| <b>LSA</b>                | Limon sablo-argileux | <b>AL</b>                | Argile limoneuse |
| <b>LAS</b>                | Limon argilo-sableux | Textures Très argileuses |                  |
|                           |                      | <b>ALO</b>               | Argile lourde    |

Source (Calvet, 2003)



**Figure I-7:** Triangle des textures minérales (Gobat et *al*, 2010).



Figure I-8 : Triangle des textures organiques (Gobat et al, 2010).

### b-Texture Organique :

La texture organique est aussi déterminée dans un triangle qui permet l'attribution de l'échantillon aux domaines fibrique, mésique ou saprique bases de la classification des tourbes (Fig I-8) En plus d'indications granulométriques , elle fournit - c'est là une différence par rapport à la texture minérale des informations sur la microstructure du matériel .

Texture organique : propriété de certains matériaux holorganiques comme les tourbes ou les composts qui reflète les proportions de matériel organique fibreux ou non fibreux (ex. celles des microagrégats issus de la digestion des enchytrées) (Gobat et al, 2003).

- **Rôles de texture du sol :**

Minérale ou organique, la texture conditionne directement la structure du sol, et donc la porosité et le régime hydrique. En particulier, la proportion d'argile influence la formation du complexe argilo - propriété stable, ne variant qu'en fonction de l'évolution à long terme du sol, pour laquelle elle est une bonne indicatrice (Gobat et al, 2003).

#### I-3-1-2-Structure et stabilité structural du sol :

La structure est un état du sol variant à court terme par exemple selon les saisons .Elle dépend directement de la texture (l'inverse n'est pas vrai) mais aussi de l'état des colloïdes du taux d'humidité ou de matière organique et, dans une large mesure, de l'activité de la faune (Gobat et al, 2003).

La structure est le résultat de l'organisation, du mode d'assemblage, à un moment donné, des constituants solide d'un horizon, considérés à un certain niveau d'observation : les agrégats, les micro-

agrégats, les particules et élémentaire .Elle est définie par la disposition spatiale, la nature et l'intensité des liens entre ces éléments, tels qu'ils existent principalement au sein des agrégats présents dans les divers horizons de la couverture pédagogique. Elle caractérise, en négatif, l'organisation des pores à l'intérieur de l'horizon et donc des lieux où s'effectuent les principaux transferts de flux au sein de la couverture pédologique (**Girard et al, 2011**).

La description de la structure sur le terrain est basée sur la forme, la taille, la netteté et la solidité des éléments structuraux visibles lors de l'observation d'un profil de sol (**Calvet, 2013**).

Elle représente le mode d'assemblage des particules entre elles. Le sol en place apparaît comme un ensemble d'éléments construits que l'on appelle selon la taille des agrégats des agglomérats ou des mottes.

L'agrégat est l'unité structurale et est formé d'un squelette de grains de sable et de limons reliés entre eux par le complexe argilo-humique La structure du sol se forme ainsi grâce à la floculation des colloïdes qui se fixent à la surface des éléments grossiers et les reliant (**Prévost, 2006**).

#### **a-Description des éléments structuraux :**

- **Assemblages élémentaires :**

L'analyse micro morphologique des sols, par l'observation microscopique de lames minces, permet de décrire les entités suivantes :

- Le squelette; constitué de particules observables isolément ;
- Le plasma ; masse dans laquelle les éléments ne sont pas discernables ;
- La porosité ; les chenaux des vers de terre, les divers types de pores inter et intra agrégats ;
- Les traits pédologiques (ou inclusions), tels que les divers revêtements, les concrétions calcaires et ferrugineuses, les boulettes fécales, les débris de matière organique (**Girard et al, 2011**).

- **Agrégats :**

La description macroscopique des agrégats porte principalement sur leur forme et leur taille mais on peut la compléter par des notions de couleur d'aspect des faces d'agrégats , de cohésion et de compacité ou de relations avec les marques visibles de l'activité biologique L'organisation structurale d'un sol est une construction emboîtée : un agrégat est donc constitué à partir d'autres, plus petits. Si des agrégats plus petits que ceux qui apparaissent plus clairement, on parlera de déterminer le degré de structuration

- Une structure très nette si les agrégats sont distincts, bien formés, aisément visibles, et qu'il n'y a pratiquement pas d'éléments désagrégés ;
- Une structure modérément nette, si les agrégats sont distincts, aisément visibles, mais qu'il y a des éléments désagrégés ;
- Une structure peu nette, si les agrégats sont peu distincts , mal formés (**Girard et al, 2011**).

**b-Type de structure :**

- **La structure particulière :**

Elle correspond à une absence de liens entre les grains minéraux du squelette qui n'ont pas de cohésion entre eux ; il n'y a pas d'agrégats. C'est le cas de *l'horizon E* de **Podzols** ou d'un sable dunaire

- **La structure massive :**

Elle se caractérise par l'absence d'agrégats : les éléments sont liés par des ciments .On a affaire à une masse continue, cohérente, que l'on peut déliter artificiellement en mottes .Cette structure est peu ou pas poreuse

- **Structure fragmentaire :**

Caractérisée par l'arrangement des particules élémentaires en agrégats de formes et de dimensions variables.

- **La structure grenue :**

Elle comprend un ensemble d'agrégats plus ou moins sphériques, dont les faces sont arrondies, sans arêtes. Les agrégats, peu liés entre eux, sont non ou peu poreux et leur organisation entre grains laisse une grande place à des pores inter - agrégats. Cette structure est fréquente dans **les horizons A** biomes structurés. L'activité de la faune du sol y joue un rôle essentiel.

- **La structure grumeleuse :**

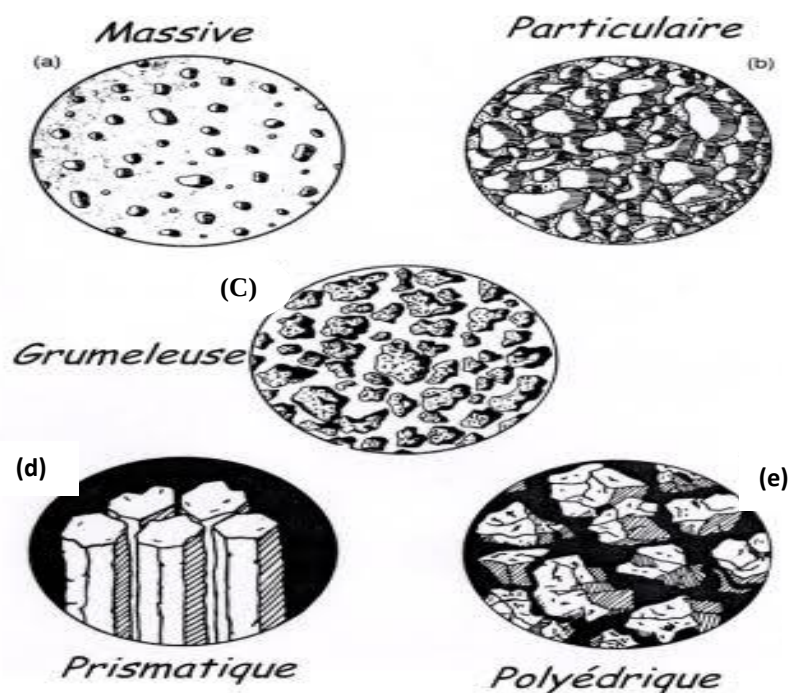
Elle correspond à un ensemble complexe de faces arrondies, convexes et concaves, comme si plusieurs grains s'étaient agglomérés, donnant un aspect mamelonné. Les agrégats sont poreux. La porosité inter-agrégats est encore plus grande que pour la structure grenue.

- **La structure polyédrique :**

Elle montre des agrégats avec de nombreuses faces planes et des angles aigus qui s'ajustent les uns aux autres, C'est une structure très fréquente, liée à des matériaux à dominante argileuse..

- **La structure prismatique :**

Elle est composée d'agrégats dont les faces planes sont majoritairement verticales se mesurent le plus souvent en centimètres et décimètres. Les arêtes sont anguleuses. Les faces s'ajustent (**Fig I-9**) (**Girard et al, 2011**).



**Figure I-9:** Quelques exemples de structure du:

- (a) Structure massive ;
- (b) Structure particulaire ;
- (c) Structure grumeleuse ;
- (d) Structure prismatique ;
- (e) Structure polyédrique ;

**Figure I-9:** Les types des structures (Gobat et al, 2003).

**Tableau I-4 :** Classification des structures

|                                     | 1 Forme et arrangement des agrégats et des mottes |                                                             |                      |                                                                        |                                                     |                                    |                              |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|
|                                     | Forme en lamelles                                 | Forme prismatique la dimension verticale est la plus grande |                      | Forme polyédrique et sphéroïdale 3 dimensions approximativement égales |                                                     |                                    |                              |
|                                     |                                                   |                                                             |                      | Faces planes<br>vertices anguleux                                      | Faces arrondies et<br>aplaties<br>vertices arrondis | Agrégats ou mottes très peu poreux | Agrégats ou mottes poreux    |
| 2 Taille des agrégats ou des mottes | Structure Lamellaire                              | Structure prismatique                                       | Structure colonnaire | Structure massive                                                      | Structure Massive émoussée                          | Structure Granulaire non poreuse   | Structure Granulaire Poreuse |
| 1-Structure très fine               | < 1mm                                             | < 1mm                                                       | < 10mm               | < 5mm                                                                  | < 5mm                                               | < 1mm                              | 1mm                          |
| 2-Structure fine                    | 1-2mm                                             | 10-20mm                                                     | 10-20mm              | 5-10mm                                                                 | 5-10mm                                              | 1-2mm                              | 1-2mm                        |
| 3-Structure moyenne                 | 2-5mm                                             | 20-50mm                                                     | 20-50mm              | 10-20mm                                                                | 10-20mm                                             | 2-5mm                              | 2-5mm                        |
| 4-Structure grossière               | 5-10mm                                            | 50-100mm                                                    | 50-100mm             | 20-50mm                                                                | 20-50mm                                             | 5-10mm                             |                              |
| 5-Structure très grossière          | > 10mm                                            | >100mm                                                      | >100mm               | > 50mm                                                                 | >50mm                                               | >10mm                              |                              |

Source (Calvet, 2003)

### c- Stabilité Structurale :

La diversité des liens permettant l'agrégation des particules élémentaires des sols explique la diversité des méthodes de mesure de la solidité des agrégats, ou stabilité Structurale (**Girard et al, 2011**).

La stabilité structurale précise la solidité de cet état, sa résistance aux agents de dégradation. En effet l'état d'un sol évolue sous l'action de différents agents de dégradation tels que les précipitations, le gel les interventions du viticulteur (**Reynier, 2011**).

La détérioration de l'édifice structurale se manifeste au champ par divers phénomènes qu'on cite les plus importants entre eux : la battance (effet splash, éclaboussures)

La battance correspond à la destruction de la structure du sol sous l'effet de la pluie, avec la dispersion des particules les plus fines puis la formation, lorsque le sol s'assèche, d'une croûte superficielle qui s'oppose aux échanges gazeux et à l'infiltration ce phénomène peut être calculé quantitativement pour calculer l'indice de battance ( $I_b$ ) on exprime la teneurs en argile, limon fin, limon grossier et matière organique ( $MO$ ) par millier de terre fine sèche, tamisée à 2 mm

Si  $pH_{eau} > 7.0$   $I_b = [1.5 (\text{Limon fin}) + 0.75(\text{limon grossier}) / (\text{Argile}) + 10(MO)] \times 0.2 (pH_{eau} - 7)$

Si  $pH \leq 7.0$   $I_b = [1.5 (\text{Limon fin}) + 0.75(\text{limon grossier}) / (\text{Argile}) + 10(MO)]$

#### Interprétation :

|                      |                   |                         |
|----------------------|-------------------|-------------------------|
| $I_b \leq 1.4$       | sol non battant   |                         |
| $1.4 < I_b \leq 1.6$ | sol peu battant   |                         |
| $1.6 < I_b \leq 1.8$ | sol assez battant |                         |
| $1.8 < I_b \leq 2.0$ | sol battant       |                         |
| $2.0 < I_b$          | sol très battant  | (Schvartz et al, 2005). |

### I-3-1-3- La porosité des sols :

#### a-Définition de la porosité des sols :

La porosité totale est l'ensemble du volume des vides dans un sol en place. On peut souvent l'évaluer à partir de la densité en calculant le rapport :

$$P(\%) = [1 - (d_a / d_r)] \times 100$$

La porosité totale d'un horizon correspond - à peu près - à son humidité en volume dite « à saturation », quand tous les vides ou pores sont remplis d'eau. la porosité totale varie en gros de près de 50 % (dans les horizons de surface) à 25-30 % (dans les horizons de profondeur, dont les vides ont été réduits par un tassement naturel). La porosité totale est une propriété importante pour le fonctionnement du sol (circulation et rétention d'eau) et la bonne croissance des plantes (croissance et aération des racines) (**Chrnet, 2018**).

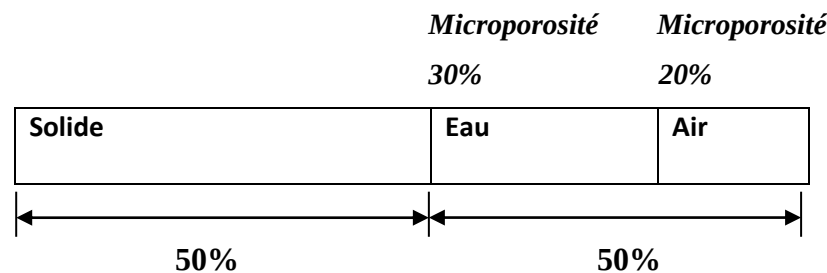
-La porosité du sol se mesure à partir des densités du sol :

-**La densité réelle ( $d_r$ )** représente la masse volumique des éléments solides du sol (de l'ordre de 2.6)

-**La densité apparente ( $d_a$ )** correspond à la masse volumique du sol en place ; elle est variable selon la nature et l'état structural du sol : elle peut varier de 0.8 à 2 (mais sa valeur moyenne est de 1,3) .

La porosité ( en % ) est égale à  $P = (d_r - d_a)/d_r * 100$

Sa valeur moyenne étant de dr 50 % (soit 30 % de microporosité et 20 % de microporosité)



**Figure I-10** : Représentation en volume des constituants du sol (Prévost, 2006).

La porosité dépend de la structure du sol mais également de sa texture (une texture fine favorise la microporosité) et du travail du sol ( la porosité est plus faible en profondeur) (Prévost , 2006).

#### **b-La densité :**

La densité exprime la masse de matière solide par volume mesuré sur un échantillon de sol prélevé sur le terrain. Celle du sol pris globalement dans son état naturel sur le terrain (avec ses vides) s'appelle densité apparente La densité réelle ( $d_r$ ) représente la masse de matière solide par rapport à son propre volume densité apparente, et dans les sols siliceux se rapproche de 2,6 qui est la densité des minéraux les plus résistants à l'altération et qui sont concentrés dans ces sols : les silicates (quartz, certains. feldspaths) (Chrnet , 2018).

Le mot porosité peut recouvrir deux concepts. L'une fait référence à la qualité, c'est-à-dire la qualité du milieu contenant les pores, et l'autre est la taille des pores occupés dans un milieu donné et le volume total de ce milieu. La quantité complémentaire de la porosité totale,  $P_t$ , est la masse volumique apparente ( $V_a$ ) En prenant un échantillon d'un matériau terreux, on suppose que  $V_a$  ( $m^3$ ) est le volume total de cet échantillon et  $V$  ( $m^3$ ) le volume occupé par l'espace poreux. A partir de là, la porosité totale est déterminée par le rapport (Calvet, 2013).

$$P_t = V_v / V_a$$

#### **c- Subdivision et types de porosité Selon l'origine de formation :**

D'après leur morphologie et leur origine, on distingue trois types de porosités : les porosités texturales, les porosités structurales les porosités biologiques.

- **Porosité texturales :**

La porosité texturale porosité d'assemblage élémentaire, accessible en mesurant la porosité de fragments d'agrégats de plus en plus petits jusqu'à une valeur de porosité limite au sein d'un horizon non homogénéisé par le travail du sol (**Baize, 2000**).

- **Porosités structurales :**

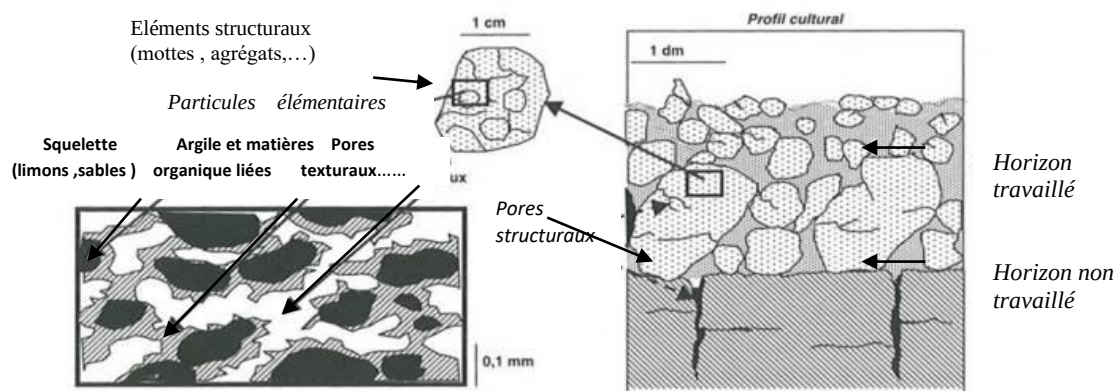
Sont de trois types :

\*Les porosités tubulaires et de cartés elles sont d'origine biologique, animale ou végétale;

\*Les porosités fissurales : elles résultent des variations de volume des argiles; ces porosités sont celles qui délimitent les agrégats anguleux et les agrégats feuilletés ; on les trouve aussi à l'intérieur des agrégats ;

\*Les porosités d'entassement des agrégats arrondis : ce sont les vides qui séparent les agrégats arrondis les uns des autres (**Cirad, 2006**).

- **Porosité biologique :** Biopores générés par l'activité biologique



**Figure I-11:** Exemples quelques types des pores en fonction leurs origines (**Girard et al, 2005**).

**d-Subdivision et types de porosité selon leurs tailles et les rôles qu'ils remplissent dans les fonctions assurées par le système sol :**

- **Macroporosité :** (vides  $> 50 \mu\text{m}$ , pouvant être remplis par l'eau de gravité rapidement drainée et souvent colonisés par les racines moyennes).
- **Mésoporosité :** ou porosité capillaire, constituée des vides de  $0,2$  à  $50 \mu\text{m}$  retenant l'eau utilisable par les plantes, microporosité, dont les vides inférieurs à  $0,2 \mu\text{m}$  retiennent l'eau inutilisable.

La méso-porosité dépend beaucoup de la texture

- **Macroporosité :** surtout de la structure. limite cessibles (**Gobat et al, 2003**).

## e -La structure et la porosité

La structure et la porosité du sol exercent une influence sur les apports en eau et en air aux racines, sur la disponibilité en nutriments, sur la pénétration et le développement des racines et sur la microfaune du sol.

Une bonne structure induit un bon espace poreux. La porosité totale est aussi liée intimement à la structure du sol et elle augmente au fur et à mesure que se forment les agrégats. Toute pratique agricole qui altère la structure du sol altère aussi sa porosité.

les agrégats qui entourent la semence et les jeunes plants à la surface du sol doivent être de petite taille afin d'y générer un régime hydrique adéquat et de favoriser le meilleur contact entre le sol, la semence et les racines. Ils ne doivent cependant pas devenir si petits qu'ils favorisent la formation de croûtes de surface et de chapes compactées (FAO, 2000).

### I-3-2-Propriétés hydriques :

#### I-3-2-1-Perméabilité (Vitesse d'infiltration):

On caractérise la capacité du sol à l'infiltration par la mesure de perméabilité selon la loi de Darcy en fait, il n'est pas simple de mesurer la perméabilité, et il faudrait plutôt parler de vitesse d'infiltration.

La perméabilité K s'exprime généralement en Darcy, ce qui correspond à la dimension d'une surface ( $m^2$ ) ( $1 \text{ Darcy} = 0,98.10^{-12} m^2$ ). La conductivité hydraulique s'exprime en mètre par seconde (m / s) (Vignoles et Cauchi, 2011).

Des relations assez complexes ont été établies entre la conductivité hydraulique K et la porosité structurale ; elles prennent en compte l'influence de la forme et de la tortuosité des pores. Lorsque le milieu poreux est constitué de particules stables, des sables grossiers par exemple, le passage de l'eau n'entraîne pas de modification de structure. Par contre, dans un sol formé d'agrégats, l'eau risque de provoquer leur désagrégation et d'entraîner un colmatage partiel. La perméabilité dépend alors non seulement de la porosité et de la configuration des pores mais aussi de la stabilité des agrégats, la mesure de la conductivité hydraulique dénommée alors vitesse de filtration est utilisée pour apprécier la stabilité structurale (Vilain, 1997).

$$Q = K \cdot s \cdot H / h$$

Légende :

$Q$  = débit

$S$  = section de la colonne de sol

$H$  = hauteur de la colonne d'eau

$K$  = coefficient de perméabilité

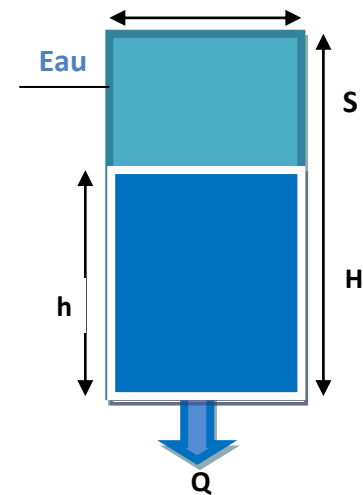


Figure I-12: Vitesse d'infiltration (Vignoles et Cauchi, 2011).

### I-3-2-2-Forces pF, eau du sol et organismes

#### \*Forces s'exerçant sur l'eau du sol

Trois forces agissent sur l'eau du sol, délimitant les catégories ci - dessus : la force de gravitation découlant de l'attraction terrestre  $P$ , la force de rétention par les solides  $F$ , enfin la force de succion des plantes  $S$  (Fig I-13). Ces forces, parfois assimilées à des pressions, sont exprimées en **méga-pascals (MPa)** , en bars , en atmosphères , en centimètres d'eau ou de mercure (Gobat et al, 2003).

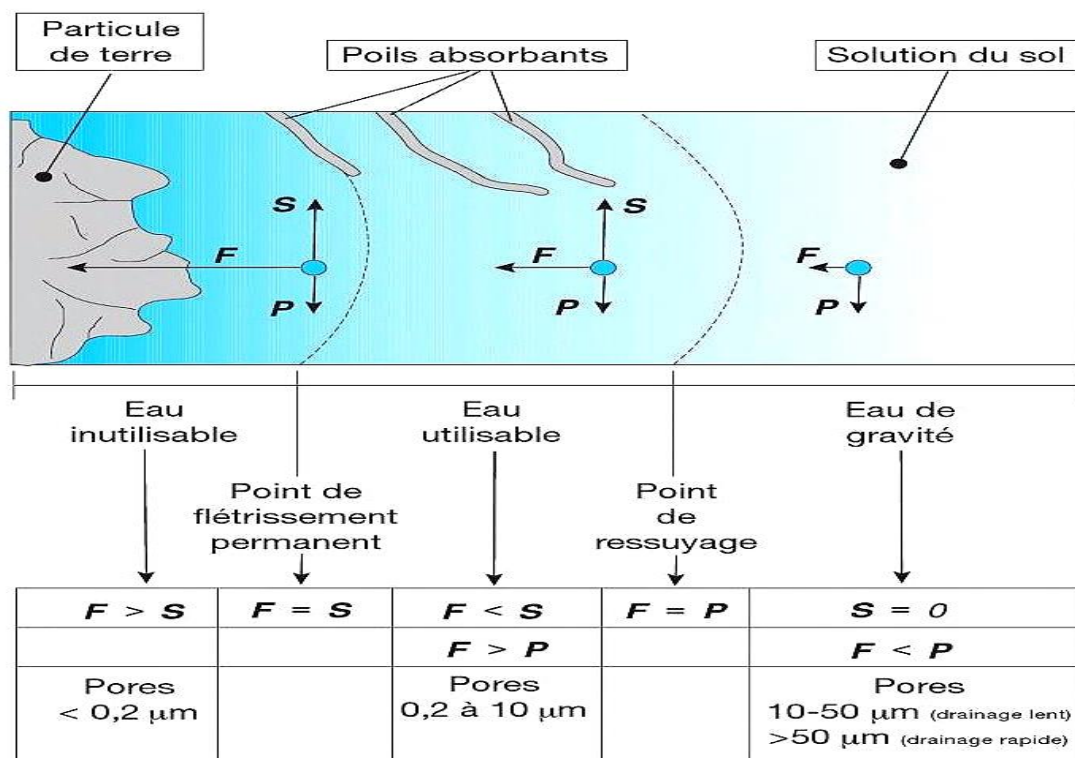


Figure I-13 : Forces s'exerçant sur l'eau du sol (Gobat et al , 2003).

### a-Définition du pF :

L'augmentation exponentielle de  $F$  rend plus commode sa transformation en logarithme et l'utilisation du symbole  $pF$ , à l'image du  $pH$  :  $pF = \log_{10} | F \text{ (bars)} |$

Le pF correspond au **potentiel matriciel** ou **potentiel capillaire** défini comme l'énergie résultant de la pression de l'eau due aux effets de liaison autour des particules solides et aux effets de capillarité dans les pores. Le potentiel matriciel ne différencie pas la part de l'eau adsorbée de celle de l'eau capillaire ; Il reflète l'affinité globale de l'eau pour l'ensemble de la matrice solide du sol, en pratique le pF est de moins en moins utilisé ; on lui préfère les mètres d'eau ou, mieux encore, les **k Pa** ou les **M Pa**. Le (Tab I-5) donne quelques valeurs importantes du pF (Gobat et al, 2003).

**Tableau I-5:** Quelques valeurs du potentiel matriciel, exprimées par la force de rétention  $F$  et le pF

| Etat de l'eau ou limite        | Force F (MPa) | Force F (bars) | Force F (g/cm <sup>2</sup> ) | pF  |
|--------------------------------|---------------|----------------|------------------------------|-----|
| Saturation maximale            | -0.001        | -0.01          | -10                          | 1.0 |
| Capacité au champ              | -0.006        | -0.06          | -63                          | 1.8 |
| Point de ressuyage             | -0.05         | -0.5           | -500                         | 2.7 |
| Rupture du lien capillaire     | -0.25         | -2.5           | -2500                        | 3.4 |
| Pt de flétrissement temporaire | -1            | -10            | -10 000                      | 4.0 |
| Pt de flétrissement permanent  | -1.6          | -16            | -16 000                      | 4.2 |
| Terre séchée à l'aire          | -100          | -1000          | -1 000 000                   | 6.0 |

Source (Gobat et al, 2003)

### I-3-3-Propriétés chimiques du sol :

#### I-3-3-1-pH du sol :

L'acidité du sol est définie par la concentration en ions  $H^+$  :

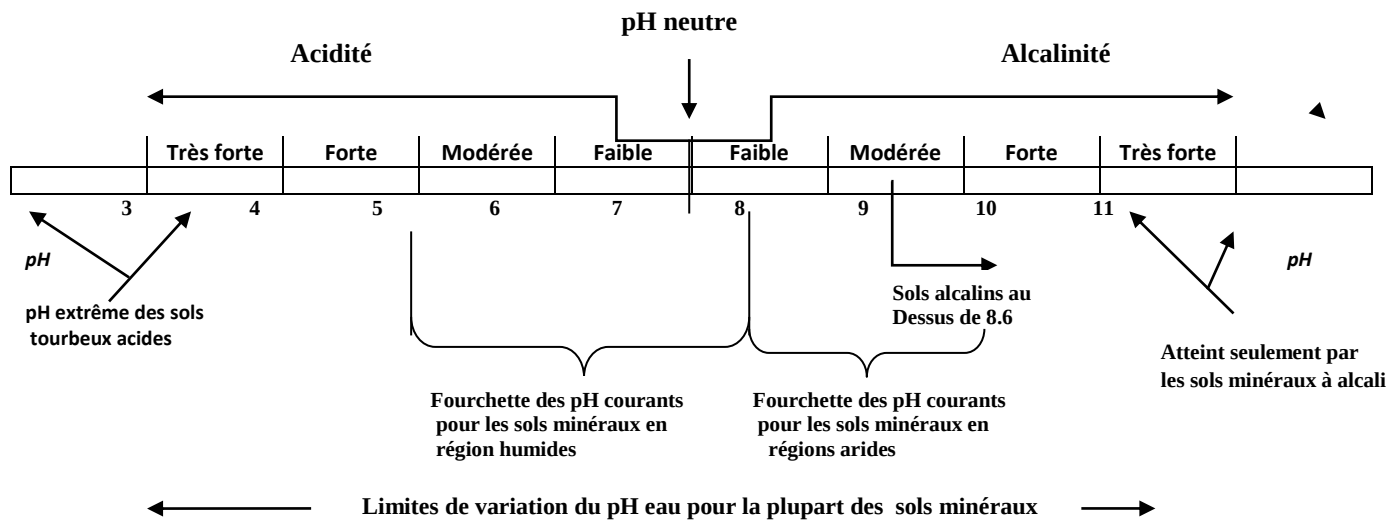
l'acidité effective, qui correspond à la concentration en ions  $H^+$  libres, existant dans la solution du sol, à L'acidité triturable qui est représentée par les ions  $H^+$  échangeable ( beaucoup plus abondants) fixés par les colloïdes et qui constitue une réserve actuellement non disponible. Les sols ont une réaction neutre, acide ou basique leur degré d'acidité ou de basicité ( alcalinité) est exprimé par le pH. La mesure du pH constitue ainsi le test le plus sensible des modifications survenant dans l'évolution d'un sol.

-Le pH du sol dépend également du complexe argilo-humique.

-Des ions  $H^+$  sont fixés sur le complexe. Ces ions  $H^+$  fixés sont en équilibre avec les ions  $H^+$  libres de la solution du sol (Fig I-14).

**$pH = \log_{10} [H^+]$  (Mathieu et Pieltain, 2003) ;**

Au niveau des propriétés du sol, un pH acide ( **$pH < 7$** ) entraîne un mauvais fonctionnement du pouvoir absorbant, en partie par le manque de calcium et par une mauvaise floculation des colloïdes. de plus le pH influence l'assimilabilité des éléments (Prévost, 2006).



**Figure I -14:** Normes d'interprétation du pH-eau du sol (Mathieu et Pielain, 2003).

### I-3-3-2-Capacité d'échange cationique (CEC) :

La capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol est la quantité totale de cations (ions<sup>+</sup>) que ce sol peut adsorber sur son complexe et échanger avec la solution environnante dans des conditions de pH bien définies.

Pour un sol la capacité d'échange cationique est due aux substances colloïdes (au sens large du terme) portant des charges négatives tels que les minéraux argileux, la matière organique et la silice colloïdale. Elle est en relation dans les minéraux argileux comme dans la matière organique et la silice, avec la surface spécifique et les charges permanentes et variable. Autrement dit, la mesure de la CEC présente la somme des déficits de charge négative superficielle devant être compensés pour obtenir l'électro neutralité des particules solides constituant le milieu à un moment donné. À noter qu'il existe aussi une capacité d'échange anionique, peu souvent mentionnée (Calvet, 2003).

La total des charges négatives du sol disponibles (essentiellement dues au complexe argilo-humique) est également appelé le complexe adsorbant.

T= Tous d'échange cationique CEC

S= Somme des basse échangeables

V=  $(S/T \times 100)$  Taux de saturation du sol (Mathieu et Pielain, 2003).

La CEC dépend de la nature du cation que l'on utilise pour opérer le déplacement des cations présents sur le complexe adsorbant

Elle dépend aussi de la charge électrique portée par la phase solide, donc du pH, de la force ionique de la phase liquide et de la présence d'ions spécifiquement adsorbés (formant des complexes internes).

Elle peut dépendre aussi de la présence de cations complexés par des substances humiques et qui pourraient être partiellement libérés

la CEC déterminée avec un cation standard (**Tab I-6**) à un pH standard; classiquement on utilise le cation  $\text{NH}_4^+$ , avec une solution normale d'acétate d'ammonium à  $\text{pH} = 7$  C'est souvent cette valeur qui est proposée par les laboratoires d'analyse des sols (**Calvet, 2003**).

**Tableau I-6 : CEC des principaux minéraux argileux déterminées à  $\text{pH} = 7$**

| Minéral argileux                    | CEC mol $\text{Kg}^{-1}$ |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Kaolinite                           | 3-15                     |
| Smectite                            | 80-150                   |
| Illite                              | 10-40                    |
| Vermiculite                         | 100-150                  |
| Chlorite                            | 10-40                    |
| Sépiolite ,attapulgit ,palygorskite | 3-15                     |

Source (**Calvet, 2003**)

### **I-3-3-3-La conductivité électrique et salinité des sols :**

C'est une propriété électrochimique basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions, porteurs de charges électriques augmentent (**Mathieu et Pielain, 2003**).

La conductivité électrique est symbolisée par CE ou EC en anglais Elle doit être mesurée dans des conditions standard , c'est - à - dire à  $25^\circ\text{C}$  et à humidité constante (**Legros, 2007**).

La salinité - c'est - à - dire l'excès de sels solubles - est probablement la caractéristique contraire à la croissance végétale la plus répandue dans les zones arides irriguées. Heureusement, comme ils sont solubles, ces sels sont mobiles et peuvent donc être éliminés par lessivage.

Un excès de sels solubles dans le sol est souvent associé à un excès de sodium échangeable dans le complexe absorbant (PSE élevé) il existe trois classes de sols affectés par le sel.

" **Sol salin** -Sol non sodique contenant des sels solubles en quantités telles que la croissance de la plupart des plantes s'en trouve affectée. La conductivité électrique de la solution de sol saturé est supérieure à  $4 \text{ dS / m}$  (à  $25^\circ\text{C}$ ) et le pourcentage de sodium échangeable est inférieur à 15. Le sol saturé a un pH généralement inférieur à 8,5

"**Sol salin - sodique** :contenant du sodium échangeable en quantité suffisante pour gêner la croissance végétale et des quantités non négligeables de sels solubles . Le pourcentage de sodium échangeable est supérieur à 15 et la conductivité électrique de la solution de sol saturé est supérieure à  $4 \text{ dS / m}$  ( $25^\circ\text{C}$ )  
C) Le sol saturé a un pH généralement inférieur à 8,5.

Sol sodique contenant du sodium échangeable en quantité suffisante pour gêner la croissance végétale, mais ne contenant pas de quantités appréciables de sels solubles (**Bulletin, 1999**).

#### **I-3-3-4-Calcaire du sol (Active et total) :**

Le calcaire est du carbonate de calcium ; il se présente sous la forme de particules plus ou moins grosses du point de vue purement granulométrique ces particules sont analogues aux autres grains de sable mais du point de vue chimique elles sont différentes. En effet, les plus fines et les plus poreuses d'entre elles peuvent libérer du calcium qui tend à neutraliser les acides et donc à rendre la terre plus basique.

La fraction de calcaire d'un sol capable de libérer assez facilement du calcium est appelée calcaire actif. Notez bien que le lien entre calcaire total et calcaire actif n'est pas automatique : une terre peut être riche en calcaire total et relativement pauvre en calcaire actif. L'excès de calcaire actif nuit à certaines plantes ( par exemple aux arbres fruitiers ). On considère généralement que des problèmes sérieux peuvent commencer à apparaître à partir de teneurs en calcaire actif voisines de 50 % mais une présence modérée de calcaire actif améliore la « solidité » du complexe argilo humique et donc la stabilité de la structure (**Pousset, 2002**).

#### **I-3-4-Propriétés biologiques du sol :**

##### **I-3-4-1-Carbone organique du sol :**

Le dioxyde de carbone (**CO<sub>2</sub>**) et le méthane (**CH<sub>4</sub>**) sont les principaux gaz atmosphériques contenant du carbone dans le sol, les organismes autotrophes (principalement les plantes), ainsi que les microbes photo- et chémo - autotrophes synthétisent du **CO<sub>2</sub>** provenant de l'atmosphère et produisent ainsi du matériel organique . Le matériel organique mort est incorporé au sol par le biais de la faune du sol, de transformation du matériel organique résulte en une mixture biogéochimique complexe de composés de la litière des végétaux et de produits de la décomposition microbienne à différents degrés de décomposition ces produits peuvent être associés aux minéraux du sol ou bloqués au sein d'agrégats, permettant ainsi la persistance du COS dans le sol pendant des dizaines, des centaines, voire des milliers d'années.

Lorsque la matière organique du sol MOS est décomposée (ou minéralisée) par les microorganismes, du CO<sub>2</sub> est émis en retour dans l'atmosphère les exsudats racinaires tels que l'acide oxalique, qui libère des composés organiques à partir d'associations minérales protectrices peuvent aussi entraîner des pertes de carbone Finalement (**FAO, 2018**).

### I-3-4-2-L'azote dans le sol :

Dans la nature, l'azote est présent sous deux états : à l'état libre (**N<sub>2</sub>**) dans l'atmosphère et à l'état combiné, sous forme minérale (ammoniacale et nitrique essentiellement, les nitrites très toxiques n'ont qu'une présence éphémère) ou organique les matières organiques du sol (**MOS**) constituent, par ordre d'importance, le troisième réservoir d'azote de la terre après l'atmosphère et les océans. la masse d'azote presque exclusivement organique, contenue dans les sols cultivés, atteint souvent 3 à 5 tonnes par hectare elle est principalement localisée dans la couche labourée (**0-30 cm environ**) dans les prairies naturelles, l'accumulation peut aller jusqu'à 10 tonnes d'azote par hectare dans le sol, l'azote minéral peut être présent sous trois formes : l'ion ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ou azote ammoniacal, l'ion nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) ou azote nitreux et l'ion nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ou azote nitrique. En dehors des périodes suivant immédiatement les apports d'azote par les engrais et les amendements organiques, la quantité d'azote minéral présente dans le sol n'excède généralement pas quelques dizaines de kilogramme par hectare (**Schwartz et al, 2005**).

### I-3-4-3-Rapport C/N :

Le rapport carbone / azote (C / N) dans un bon sol agricole est généralement de l'ordre de 10 à 15 c'est-à-dire qu'il y a 10 à 15 fois plus de molécules de carbone que de molécules d'azote dans un rapport C / N, de 15 à 30. Pour bien se développer lorsque le rapport C / N est supérieur à 50, la décomposition est lente un rapport C / N de 100 et est donc très pauvre en azote, les microorganismes doivent utiliser l'azote du sol la décomposition terminée, cet azote est généralement retourné au sol

(**Mauries et Allard, 1998**).

### I-3-4-4-Matière organique dans sols :

On peut distinguer quatre types de matière organique dans le sol :

- **La matière organique fraîche**, formée de racines, de résidus de végétaux, de déjections animales ; elle est peu décomposée et se repère facilement dans le sol ;
- **La matière organique transitoire**, qui est en cours d'évolution
- **La matière organique stable**, formée de grosses molécules complexes comme l'humus. dans un bon sol, fertile, c'est la matière organique stable qui est la plus présente le sol contient également une autre forme de matière organique (**Langlois et Amand, 2004**).

### I-3-4-5- La faune du sol :

Encore appelée «pédofaune», elle comprend un grand nombre d'organismes aux caractéristiques morphologiques et physiologiques très variées, tous ces organismes vivent dans l'espace poral du sol, où leur localisation dans les pores dépend de leur taille

- **La microfaune (taille < 0,2 mm) :**

Ces organismes sont présents en très grand nombre dans le sol, ce sont principalement des protozoaires (amibes nues, thécamobiens, ciliés, flagellés) et des nématodes. Ils vivent dans l'eau contenue dans les pores suffisamment grands pour les abriter

- **La mésofaune (0,2 mm < taille < 4 mm) :**

Elle comprend des microarthropodes : acariens, collemboles, diploures, protoures, petits myriapodes. À cela s'ajoutent des nématodes de grande taille et des enchytréides.

- **La macrofaune (4 mm < taille < 80 mm) :**

Elle est aussi constituée d'une très grande variété d'organismes tels que des vers, des insectes, des myriapodes, des mollusques et des araignées

- **La mégafaune (80 mm < taille) :**

Ce sont les animaux de grande taille (vertébrés, reptiles, amphibiens) qui utilisent le sol comme habitat (Calvet, 2013)

**Tableau I-7:** Principales interventions des organismes vivants dans la dynamique des éléments nutritifs et dans la formation de la structure des sols

|                                | <b>Dynamique des éléments chimiques</b>                                                                                                                                                          | <b>Formation de la structure des sols</b>                                                                                                                                                      |
|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Bactéries , Champignons</b> | Biodégradation des matières organiques<br>Minéralisation des formes organiques de C, N, P et S<br>Immobilisation des formes<br>Inorganique de C N P et S par l'organisation microbienne.         | Production de composés organiques liants (polysaccharides)<br>Production par les champignons de filaments (hyphes mycéliennes)<br>Qui agrègent les particules minérales et les micro-agrégats. |
| <b>Microfaune</b>              | Régulation des populations bactériennes et fongiques<br>Intervention dans le recyclage des éléments nutritifs                                                                                    | Action indirecte sur la structure par son influence sur les bactéries et les champignons<br>Production de matières fécales                                                                     |
| <b>Mésofaune</b>               | Régulation des populations bactériennes et fongiques<br>intervention dans le recyclage des éléments nutritifs<br>Fragmentation des résidus végétaux                                              | Action indirecte sur la structure par son influence sur les bactéries et les champignons<br>Formation de pores<br>Production de matières fécales                                               |
| <b>Macrofaune</b>              | Fragmentation des résidus végétaux<br>Interactions avec l'activité des micro- organismes                                                                                                         | Mélange des matières organiques et des minéraux<br>Transport des matières organiques<br>Formation de pores<br>Production de matières fécales                                                   |
| <b>Racines vivantes</b>        | Absorption des éléments nutritifs<br>Intervention sur la dynamique des éléments nutritifs par le pH et les composés organiques excrétés<br>Milieu favorable aux micro-organismes ( rhizosphère ) | Production de polysaccharides<br>Formation de pores<br>Action de compression                                                                                                                   |

Source (Calvet, 2013)

#### **I-4- Amélioration et fertilité de quelques sols :**

##### **I-4-1- Amélioration en milieux aride :**

###### **I-4-1-1-Les sols salés :**

Les sols salés se rencontrent en zone intertropicale dans les climats semi - arides ou arides. On en distingue deux grands types :

- **les Solonchak** , des sols avec une solution riche en sels solubles tels que le chlorure de sodium ( $NaCl$ ), le sulfate de sodium ( $Na_2SO_4$ ).
- **Les Solonetz**, des sols avec un complexe absorbant enrichi en sodium. Pour identifier précisément ces sols salés, on utilise des paramètres tels que la conductivité électrique ( $EC$ )

Ces sols salés peuvent avoir plusieurs origines , telles que la salinisation par l'eau de mer ou les embruns l'altération des minéraux , ou l'irrigation avec des eaux de qualité médiocre leur apparition est favorisée quand les sols sont peu profonds , non drainants et riches en sels solubles lors des périodes de forte évapotranspiration , les sels remontent alors à la surface du sol par capillarité sur ces sols salés peu stables et peu perméables , quelques espèces d'arbres arrivent à pousser , *Acacia salicina* , *Eucalyptus camaldulensis* et *Acacia xanthophloea* , par exemple ( **Dominique et Gilles, 2015**)

###### **a-Problèmes d'EC du sol et d'endommagement**

Salin du sol Si l'EC du sol est assez faible ( $< 2 \text{ dS / m}$ ) alors il n'y aura aucun dommage causé par les sels, si la CE du sol est supérieure à  $2 \text{ dS / m}$  , le problème de l'accumulation de sel est évident

Les symptômes des dommages causés par le sel comprennent :

- 1 Les cultures poussent lentement et sont rabougries, ou les semis meurent lorsqu'ils sont graves ;
- 2 Croissance anormale de la portion de culture et mort des plantules (**Chiu-Chung-Young, 2015**).
- 3 la concentration élevée d'électrolytes augmente la pression osmotique dans la solution du sol et entrave l'absorption des ions par le système racinaire des plantes (**Boris, 2009**).

###### **b-Méthodes pour améliorer les dommages salins**

La principale méthode pour traiter les dommages causés par le sel consiste à améliorer le sol salin et la gestion des cultures, l'amélioration des sols salins comprend l'élimination du sel du sol et la réduction de l'ajout de sels. Les détails doivent être élaborés comme suit :

- Amélioration la capacité de drainage des sols salins, la méthode de lessivage des sels consiste à utiliser l'eau d'irrigation ou la pluie pour laver les sels des sols salins, d'établir des systèmes d'arrosage et d'irrigation ;

L'irrigation par aspersion est la méthode la plus efficace pour traiter les dommages causés par le sel dans les champs de légumes. L'irrigation par aspersion permettra au sel de s'infiltrer chaque fois que l'eau coule du haut vers le bas du sol.

- Application des matières organiques et des micro-organismes; les matières organiques, telles que la tourbe, le compost, le fumier animal et l'engrais vert, et les micro-organismes peuvent augmenter l'échange de sels et la permutation de l'eau dans le sol pour laver l'excès de sel.

- Application des conditionneurs de sol pour améliorer l'échange de sel :

Nous pouvons utiliser des matériaux calcaires, de l'acide sulfurique, de la poudre de soufre, des acides organiques et des bioagents pour neutraliser les sols salins. Par exemple, le gypse

**(Chiu-Chung-Young, 2015).**

#### **I-4-1-2-Les sols calcaires :**

Le calcaire occupe une place importante dans les sols. En effet, il se rencontre non seulement dans les sols des régions arides et semi - arides, mais aussi dans les régions à climat humide et subhumide. Le carbonate de calcium, cristallisé sous forme de calcite à symétrie rhomboédrique, est le constituant essentiel des calcaires. Le calcaire se caractérise par sa teneur, mais aussi par sa forme dans le sol. Dans beaucoup de cas, c'est la forme qui détermine le trait essentiel du profil, surtout, quand le calcaire s'individualise sous forme continue. Un sol calcaire est un sol qui contient surtout ou une partie de son épaisseur, du carbonate de calcium libre dans la terre fine ou pour le moins dans la fraction grossière, le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) doit être en quantité suffisante pour présenter une effervescence visible sous l'action de l'acide chlorhydrique à froid. Ces sols calcaires sont en général caractérisés par la présence de trois horizons principaux.

- Dans la partie moyenne du sol, un horizon d'accumulation du calcaire (horizon B ca), qui peut être plus ou moins développé. Au dessus, un horizon A moins calcaire, il peut être non calcaire.

- Au dessous, un horizon C également moins calcaire que l'horizon B ca. La distribution du calcaire dans ces trois horizons qui sont étroitement liés entre eux, définit le profil calcaire. C'est le caractère essentiel de ses sols **(Tir, 2007).**

Il est possible de surmonter ou de coexister avec les problèmes des terrains calcaires en suivant un ou plusieurs des points suivants :

Veillez à bien servir le berceau et à vous débarrasser de la croute calcaire dure qui entrave le processus de germination. Il est bon de maintenir l'humidité du sol. Soigner le drainage pour ne pas former de couches montes, tout en faisant un labour profond pour casser les couches solides, Il faut utiliser davantage d'engrais verts et d'engrais organique ammoniacal afin qu'il ne soit pas perdu en raison des fluctuations. Il est également préférable de ne pas utiliser l'urée comme engrais azoté, et l'engrais azoté est préféré.

Dans les sol argileux qui contiennent des pourcentages de sels, il est préférable d'ajouter des engrais potassiques, ainsi que d'ajuster les dates de fertilisation phosphorée en fonction des besoins de la plante et des périodes d'absorption.

Il est bon de pulvériser les plantes avec chélate de fer pour éviter les symptômes de carence en fer, ainsi que pour choisir des cultures adaptées aux sols calcaire, en particulier les cultures calcaires telles que les pâturages et le coton, tomates, olives, amandiers, raisins et pêches (السعيد احمد المرسي ومحمد رمضان, 2015).

#### **I-4-2- Notion de fertilisation d'un sol :**

##### **I-4-2-1- Fumure et Fertilisation :**

On emploie indifféremment les termes fumure et fertilisation. Si on veut être plus précis, la fumure est l'ensemble des apports de matières amendantes et fertilisantes fournies au sol ou aux cultures (c'est - à - dire des quantités de produits). La fertilisation est l'ensemble des actions destinées à améliorer la fertilité des sols, parmi lesquelles l'apport de matières fertilisantes (fumure) est la principale (Cible, 2014).

##### **I-4-3- Les Lois d'action des éléments fertilisants**

Les principes de la fertilisation minérale reposent en partie sur trois lois fondamentales qui décrivent notamment les effets de l'apport d'éléments fertilisants aux cultures.

##### **I-4-3-1- Loi des restitutions :**

Le sol perd les éléments minéraux qui sont prélevés par les plantes et exportés dans les récoltes .ces éléments peuvent aussi disparaître par érosion et par lessivage la plante prélève des éléments minéraux essentiellement dans la solution du sol Les prélèvements totaux correspondent à la quantité maximale contenue dans la plante, au moment où elle en renferme le plus

Les exportations, c'est - à - dire les quantités soustraites au cycle des éléments par les récoltes, sont en général inférieures aux prélèvements car les plantes restituent des éléments en fin de cycle de végétation en particulier par les résidus de récolte (racines, tiges).

La loi des restitutions peut être énoncée ainsi pour : il est indispensable de restituer au sol, tout les éléments fertilisants que prélèvent les récoltes pour qu'il ne s'épuise pas

(Deblay et Charonnat, 2005).

##### **I-4-3-2-Interactions et loi des facteurs limitants:**

L'insuffisance d'un élément assimilable dans le sol réduit l'efficacité des autres éléments. L'effet de ces interactions peut être positif ou négatif. Par exemple, la présence d'ions chlorures ou d'ions nitrates facilite l'absorption des ions potassium et calcium et la présence d'ions magnésium celle des ions phosphates. À l'inverse, un excès de calcium peut gêner l'absorption du potassium, du magnésium ou du fer, provoquant des chloroses. De plus, l'insuffisance ou l'excès d'un élément peut limiter la croissance des végétaux (Cible, 2014).

##### **I-4-3-3-La troisième loi, dite « loi des rendements moins que proportionnels »**

Est illustrée par une courbe mettant en corrélation l'augmentation des apports d'engrais sur un terrain donné et l'évolution de la croissance des plants. Dans un premier temps, en partant d'un milieu très

pauvre, toute augmentation de la fertilisation se traduit par un gain de rendement proportionnel (Michelot, 2010).

#### I-4-4- Les engrais :

Les engrais sont des produits de nature minérale ou organique que l'on apporte au sol pour fournir aux végétaux des éléments minéraux plus ou moins rapidement disponibles . Les principaux engrais apportent de l'azote du phosphore et du potassium (Cible, 2014).

##### I-4-4-1- Engrais utilisés dans les régions arides et semi-aride

Ils sont de l'ordre de trois, phosphates, nitriques et potassiques :

##### a) Pour les engrais phosphatés :

Les engrais phosphatés sont caractérisés par leur teneur en phosphore, exprimée en anhydride phosphorique  $P_2O_5$ , et par leur solubilité dans différents réactifs. (Schvartz et al, 2005).

Ces engrais phosphatés peuvent être classés selon leur solubilité et leur aptitude à enrichir le sol **Les engrais très solubles** comme les superphosphates de chaux ou les phosphates mono-ammonique et diammonique ;

**Les engrais de solubilité plus faible** mais susceptibles d'enrichir la solution du phosphate bi-calcique scories Thomas et phospal;

**Les engrais de très faible solubilité** qui enrichissent le sol que si des conditions particulières augmentent leur solubilité. Les phosphates naturels appartiennent à cette catégorie (Vilain, 1997).

##### Caractéristiques des principaux engrais phosphatés :

##### b) engrais nitriques :

Ils contiennent de l'azote sous la seule forme nitrique,  $NO_3^-$  .

- **Le nitrate de sodium**  $[NaNO_3]$  : 16 % de N et 36,5 % de  $Na_2O$ .
- **Le nitrate de calcium**<sup>2</sup>  $[Ca(NO_3)_2]$  : 15,5 % de N et 34 % de  $CaO$ .
- **Le nitrate de calcium et le magnésium**  $[Ca, Mg(NO_2)_2]$  : 15 % de N, 46% de  $CaO$  et 8 % de  $MgO$
- **Le nitrate de potassium**  $[KNO_2]$  : 13 % de N et 46 % de  $K_2O$  .

Ces engrais nitriques vendus sous forme granulée sont utilisés en cultures spéciales. Ils sont employés généralement en cours de végétation au moment où la culture est en pleine croissance (Schvartz et al, 2005)

##### c) Les engrais potassium :

Les principaux engrais potassiques sont :

- **Le chlorure de potassium** cristallisé ou granulé, blanc ou légèrement rosé. C'est l'engrais potassique le plus utilisé ;
- **Sulfate de potassium**, où l'ion  $SO_4^-$  remplace  $Cl$  est utilisé sur les plantes qui craignent le chlore (tabac, pommes de terre, tomates , haricots , etc. ) et quand on veut apporter du soufre

- **Le nitrate de potassium**, utilisé dans des cas particuliers: fleurs, apports foliaires, etc.
- **Les sulfates doubles K et Mg**, provenant de différentes origines. Le patentkali (**Cirad, 2006**)

#### **d) Les engrais vert :**

Les engrais verts On appelle engrais vert une plante cultivée en dérobée

\*Destinée à être enfouie superficiellement dans le sol pour améliorer les propriétés ont également appelées cultures intermédiaires.

Engrais vert : facteur essentiel de la qualité des sols, aucun engrais organique ou minéral, quelles que soient sa valeur et la quantité

apportée, ne peut remplacer un engrais vert réussi. L'action bénéfique des engrais verts a des causes et des caractéristiques multiples (**Langlois et Amand, 2004**).

\*Améliorer l'activité biologique et la structure du sol

\*Les engrais verts ont un effet très favorable sur la structure du sol et sa stabilité car l'action mécanique

\*La présence d'un engrais vert supprime l'érosion par ruissellement et protège le sol contre le dessèchement par le soleil et le vent.

\*Accélérer la minéralisation de l'humus (**Langlois et Amand, 2004**).

#### **I-4-4-2- Le rôle du compost et des engrais dans la fertilité des sols**

il est devenu urgent de repenser notre façon de gérer les matières résiduelles. Dans ce sens, le compostage est un incontournable. Et pour cause, les matières composables (aussi appelées matières organiques ou matières putrescibles) constituent 47 % du volume des matières résiduelles domestiques et le compostage permet de transformer ces matières en un amendement indispensable pour le sol, pour la santé des végétaux

Bien qu'il existe de nombreuses définitions scientifiques du compost et du compostage, voici les plus simples. Compostage : processus de décomposition biologique contrôlée de la matière organique dans un milieu aérobie (en présence d'oxygène) (**Michaud, 2016**).

Il a été prouvé que l'addition de compost à un sol modifie considérablement ses propriétés physiques chimiques et biologiques, à court et à long terme.

Elle diminue par exemple la masse volumique apparente et augmente la porosité du sol, ce qui favorise son aération. La capacité de rétention de l'eau et sa disponibilité pour les plantes sont augmentées, de même que la stabilité structurale du sol L'amélioration des qualités physiques du sol par les composts est plus lente mais beaucoup plus durable que celle apportée par l'addition de tourbe (**Gobat et al, 2003**).

---

## ***CHAPITRE II :***

# ***Présentation du milieu physique de la zone d'étude***

---

## II-1-Introduction

Ce chapitre résume l'ensemble des données de base sur le milieu physique de la région d'étude (**Mezrir qui fait partie de la commune de M'sila**), il s'agit de :

- \*La situation géographique,
- \*L'hydrologie,
- \*La géologie,
- \*La pédologie arrivant à la fin à une synthèse des données climatiques.

## II-2- Situation géographique de la zone d'étude

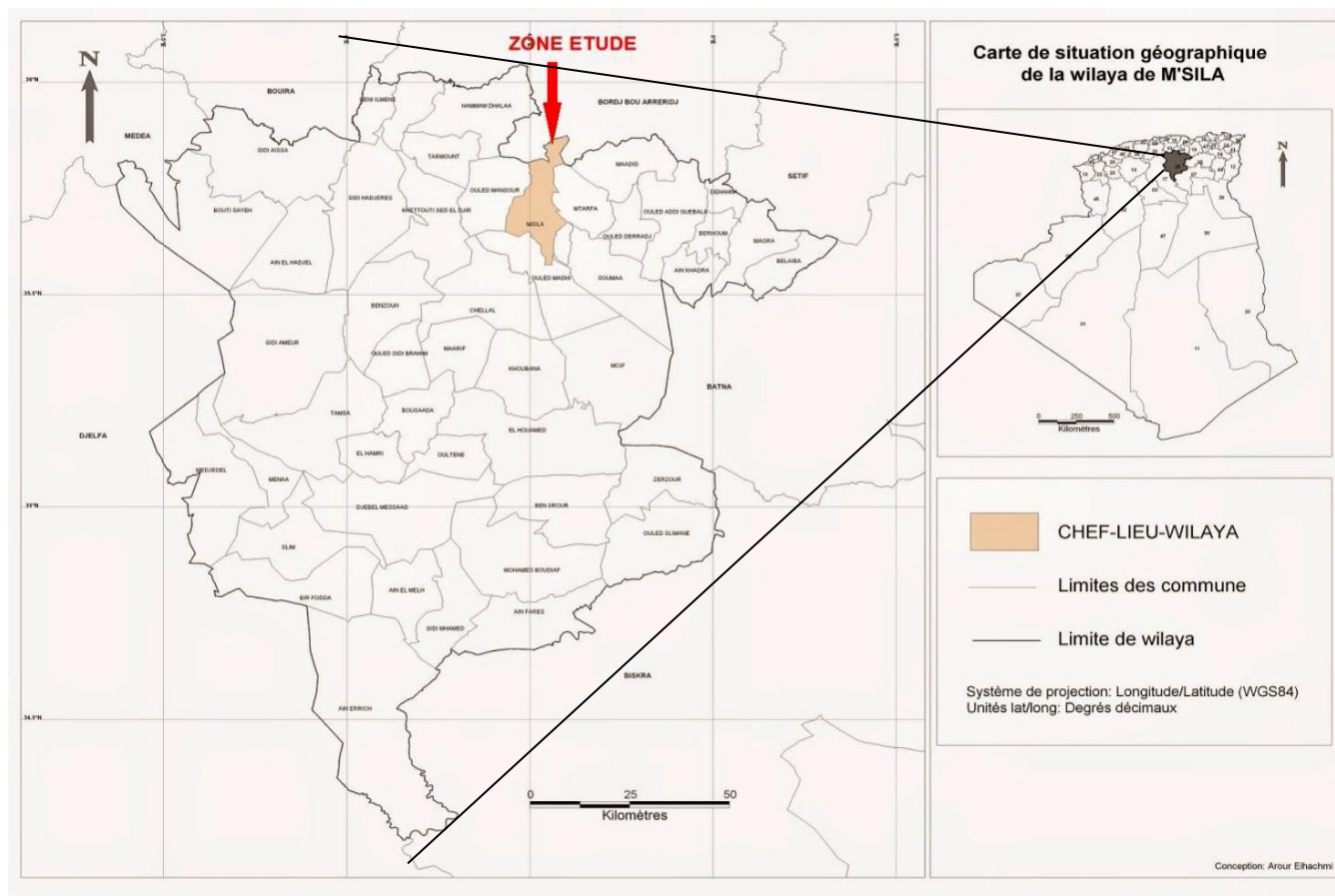
L'étude actuelle a été menée dans une terre agricole de la région de Mezrir située à environ **5 km** au Sud de la ville de M'sila, et cette dernière est confinée au Nord de celle-ci Il couvre une superficie de **252 km<sup>2</sup>**. Connue comme la capitale du Hodna, elle est situé au nord-est de l'état, à **256 km** de la capitale Il est situé à une altitude de **441 m**, latitude **35° 42'N** et longitude **4° 33'E** Est.

**(Annuaire Statistiques de la wilaya de M'sila, 2008)**

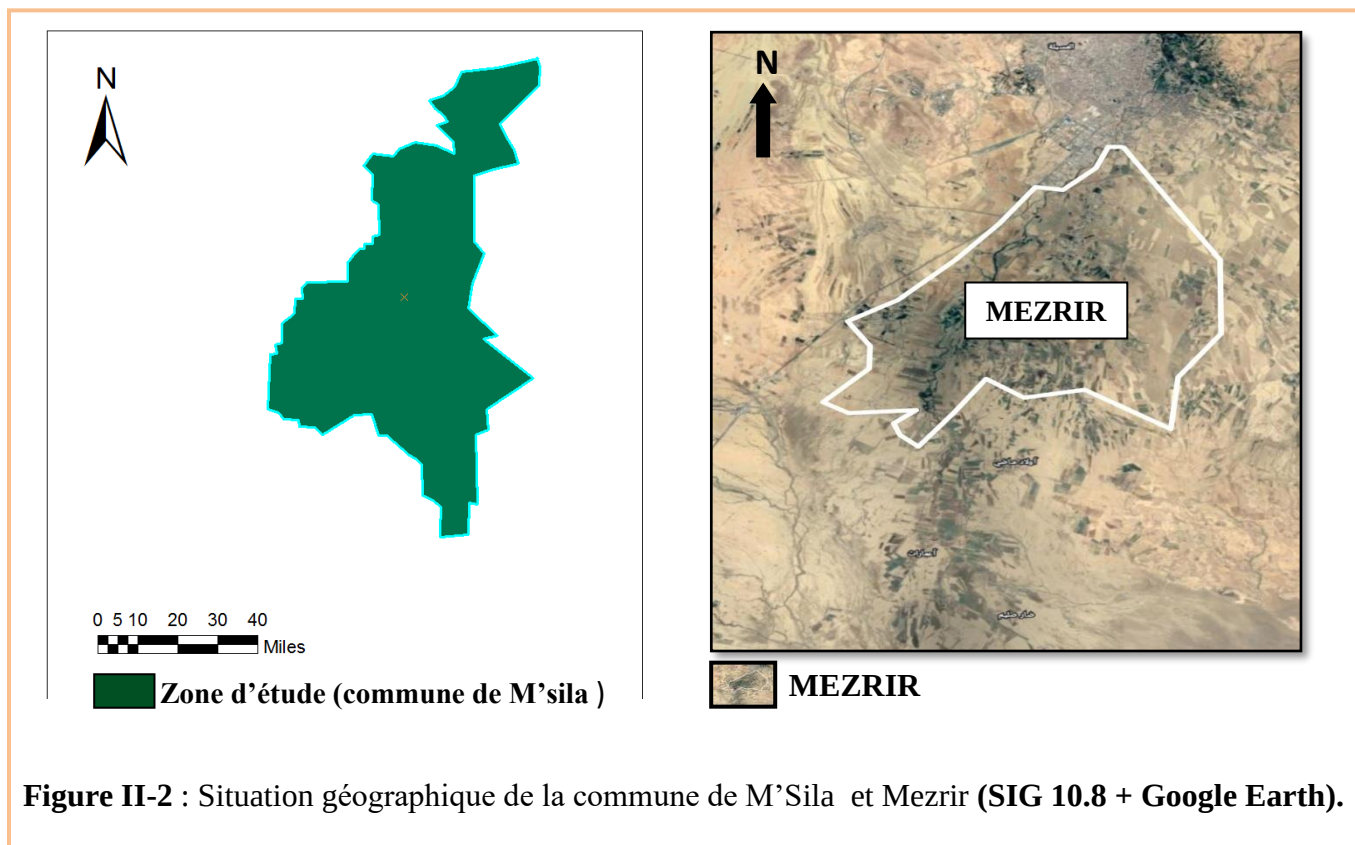
Il relie le nord et le sud par la RN° 45 et l'est et l'ouest par la RN° 40, ses limites Administratif est

**(Fig II-1)**

- \* Au Nord : la commune d'El Euch (Bordj) .
- \* A l'Est, la commune de Metarfa.
- \* A l'Ouest : la commune de Ouled Mansour.
- \* Au Sud : Commune de Oulad Madhi.



**Figure II-1 : Situation géographique de la zone d'étude (DSA, 2017).**



**Figure II-2 : Situation géographique de la commune de M'Sila et Mezrir (SIG 10.8 + Google Earth).**

## II-3-Milieu physique de la zone d'étude

### II-3-1-Géologie de la région Mezrir :

Faisant partie du domaine alpin, la région du Hodna est un vaste territoire intégrant les régions de la bordure nord de l'Atlas saharien au sud, les monts de Dis à l'Ouest, les Monts de Belazma à l'Est et les monts du Hodna au nord. Il couvre plusieurs ensembles morphologiques qui résultent d'une évolution géologique très complexe et d'une tectonique polyphasée Selon (**Guettoche, 2003**).

La géologie est caractérisée par les morphologies suivantes :

#### **A- Le Quaternaire**

C'est des alluvions anciennes constituées essentiellement par des sédiments fins.

**a- Alluvions :** Ce sont des limons à couleur grise, ces formations sont riches en matière sableuse, les graviers sont rares.

**b- Cône de déjection :** Il existe d'important cône de déjection située sur le flanc de Nord Ouest du Djebel Tsegna et sur le versant Sud Est de Djebel Fernane.

**c- Les Alluvions actuelles :** Sont peu représentés, ils existent au niveau des lits des Oueds.

**d - Les Dunes :** Localisées dans la région centrale au Sud et au Sud Ouest du Chott El Hodna, au Sud du Zahrez El Chergui et vers Bou Saada ils sont formés de sable quartzeux fins parfois chargés de matériel argileux.

**e - Chott :** Formé de limon gris à cristaux de gypse comme les roses des sables.

Existant par des limons anciens et des sédiments finis nos sites font partie du quaternaire.

#### **B - Le Tertiaire**

**a- Eocène :** Les formations de l'Eocène varient suivant les zones, l'Eocène débute par des calcaires blancs à intercalations de marnes se terminant par un ensemble conglomératique . L'Eocène est représenté par des grès rouges, des argiles variées viennent ensuite des calcaires et des conglomérats. Ils constituent les contreforts méridionaux des Monts du Hodna.

**b- Miocène :** Les séries continentales sont constituées d'une alternance d'argile sableuse, de grès, de sables, de graviers et de conglomérats.

#### **C - Le Secondaire**

**a- Crétacé supérieur :** Il est largement représenté par des marnes et des calcaires , et largement répandu sur le territoire de la wilaya et présente toutes ses subdivisions stratigraphiques .

- ✓ **a.1- le Turonien :** Il constitue les sommets de tous les synclinaux. Caractérisée par des calcaires sub-lithographiques à sa base et par des calcaires argileux en plaquette et par des marnes à intercalation calcaire.

- ✓ **a.2- Cénomanien** : Il affleure largement, occupe une grande superficie dans sa partie inférieure, constitué par une série d'alternance de calcaire et de marne. Dans sa partie supérieure au Sud de Bou Saada, composée par une alternance de marne argileuse.

**b- Crétacé inférieur** : C'est des formations continentales et lagunaires.

**c - Jurassique** : C'est formations peu représentées, affleurent aux anticlinales ou aux monoclinaux, il comprend des marnes et grés argileux, ensuite du calcaire.

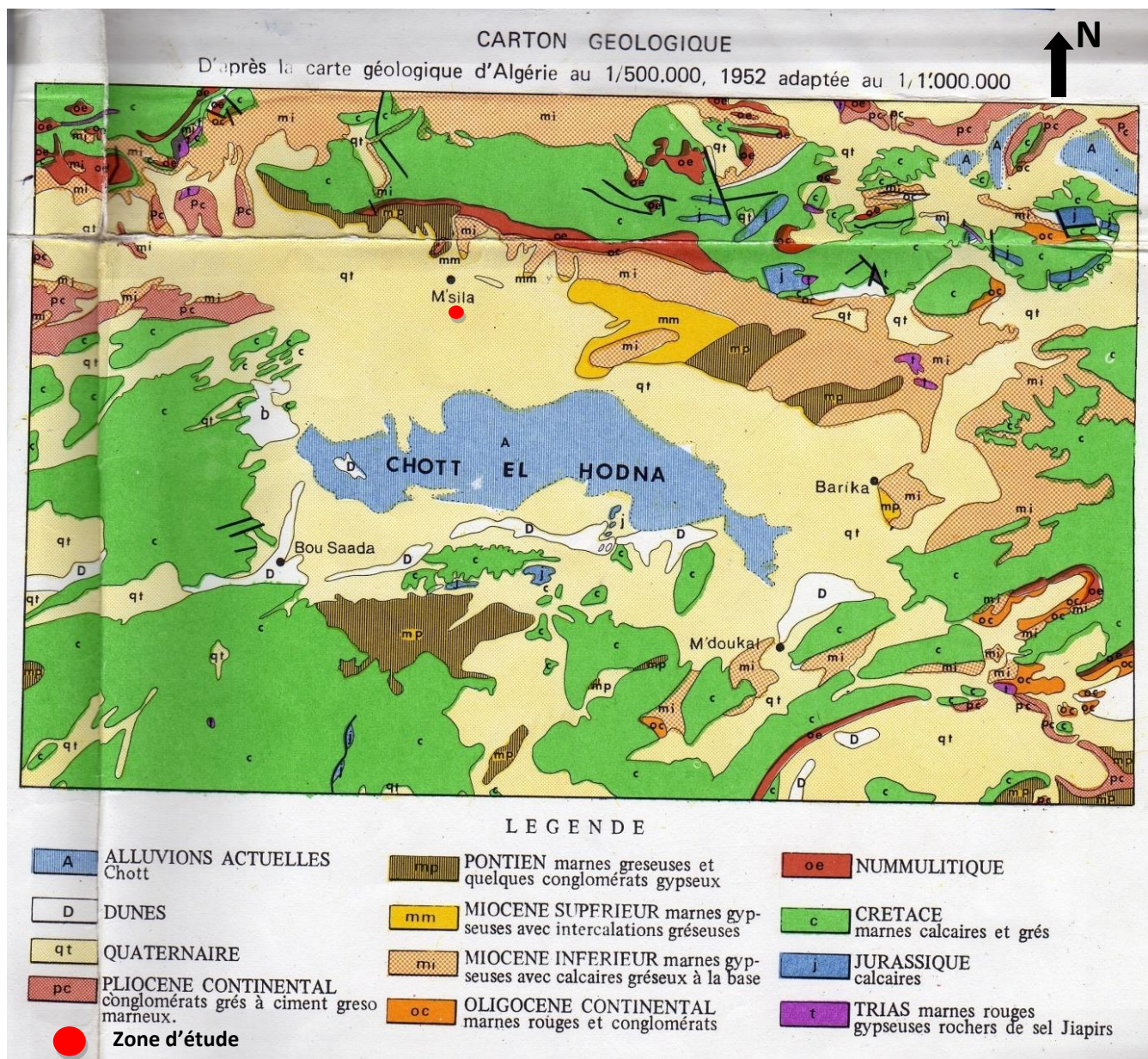
**d- Trias** : Les formations Triasiques apparaissent souvent à l'intersection de plusieurs failles. De nombreux sédiments tels que les marnes, les argiles, les gypses, les grés fins argileux. Il se montre très limité en affleurements à l'extrême Nord Ouest.

D'après la carte géologique de la région du Hodna (**Fig II-2**), la région de Mezrir présente les formations suivantes :

Crétacé marnes calcaires et grés Miocène inférieur est formé par marne gypseuses avec calcaire gréseux à la base.

Pontien est formé par marne gréseuses et quelques conglomérats gypseux.

Quaternaire et Nummulitique.



**Figure II-3 :** Carte géologique de M'Sila avec positionnement la zone d'étude (FAO, 1975).

### II-3-2-Pédologie de la zone d'étude

Selon l'étude pédologique de la FAO, les sols de la région du Hodna sont les suivants :

#### 1- Les sols minéraux bruts :

Les sols de cette catégorie ont un profil **(A) C R** ou **(A) C**, sont des sols très développés et la matière organique est presque absente mais pas d'activité biologique. Les sols de cette classe sont ceux que l'on trouve dans les régions arides mais observables dans tous les autres milieux (Segalen, 1970).

#### 2-Les sols peu évoluées :

Ce sol est caractérisé par des changements physiques plus importants, de sorte que le climat ne permet pas des processus évolutifs bien définis. En Méditerranée et sous les tropiques, les sols peu développés

correspondent principalement à des zones rajeunies par l'érosion (sols non développés du fait de l'érosion) ou à des sols issus d'apports Les rivières et ce sont souvent des sols d'origine alluviale par volcanisme (cendres ou délamination). Dans certains pays ces sols sont d'une valeur exceptionnelle pour l'agriculture car le faible développement du sol se traduit généralement par une grande richesse chimique en matière organique surtout dans les 20 cm supérieurs.

### **3-Les sols calci-magnésiques :**

Ce sol est à base de carbonate de calcium, de magnésium et de sulfate. Le profil de ce sol est de type **AR, AC, A (B) C, ou A (B) R**, la sous-classe de sol avec accumulation de gypse est représentée en sols de la région méditerranéenne.

### **4-Les sols halomorphes :**

Sont divisés en deux sous-classes. La première catégorie contient des niveaux élevés de sels dissous (chlorures, sulfates). La structure n'est pas modifiée et le sodium ne se lie pas de manière significative au composé. Le système d'irrigation et de drainage doit permettre notamment le dessalement et l'agriculture de ces sols, présents en abondance en région méditerranéenne et en divers points proches des côtes en région tropicale. Les sols de classe II voient une fixation abondante du sodium sur le complexe d'échange et un changement correspondant dans les propriétés physiques. D'énormes structures ou de petites colonnes apparaissent qui rendent très difficile le travail du sol. L'utilisation de ces sols implique d'améliorer la structure au moyen de sous-sols coûteux Le sodium est mobilisé en traitant le sulfate de calcium et le soufre, chlorure de calcium. Ces sols se trouvent dans la région méditerranéenne, et les parties plus sèches des tropiques (**Segalen, 1970**).

### **5-Les sols hydro-morphes**

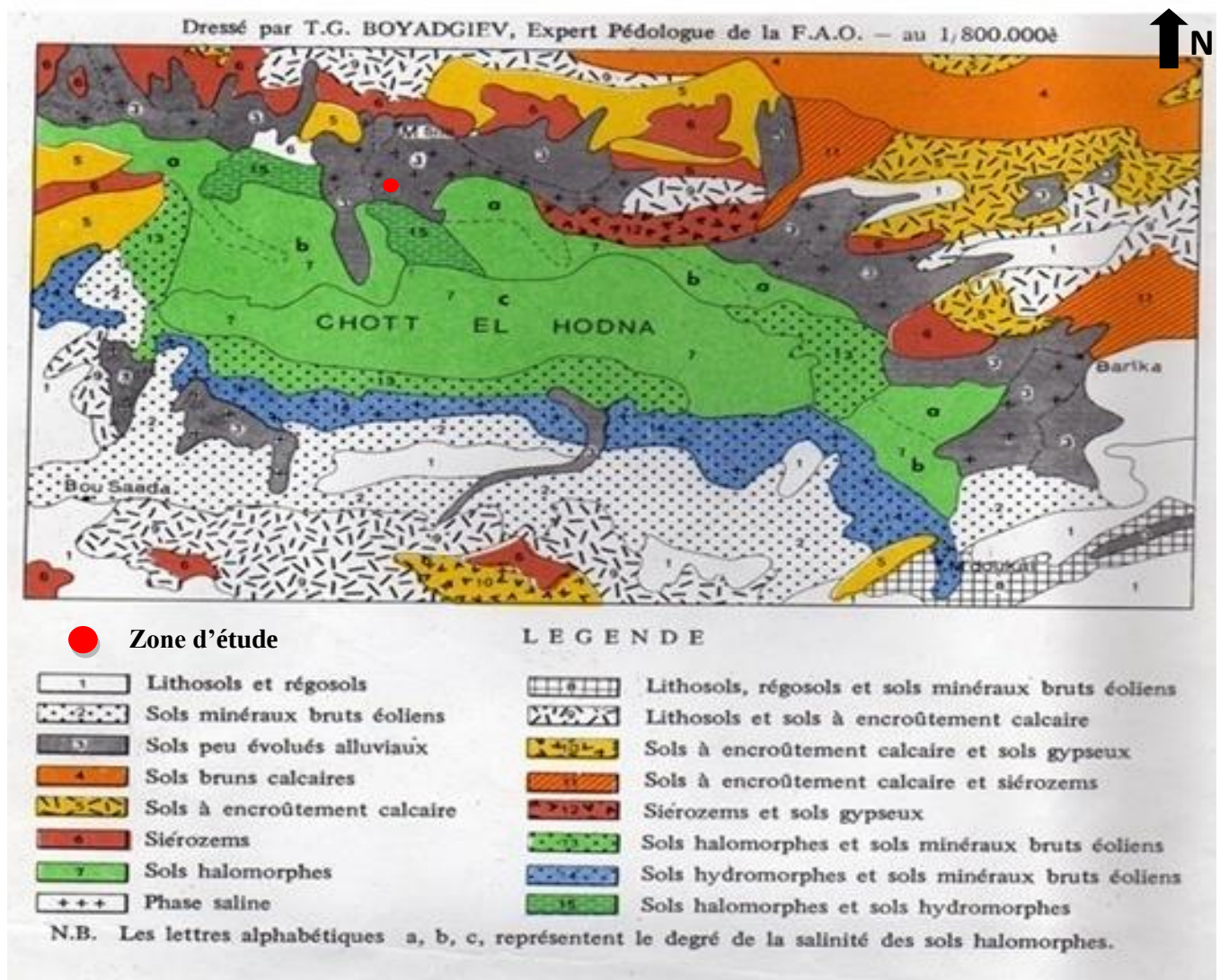
Les sols hydromorphes sont des sols observés dans les zones où le niveau de l'eau est au-dessus du sol, mais n'empêche pas la croissance de la végétation. Là matière organique est légèrement décomposée. Il a une ligne d'horizon organique bien développée et Habituellement de type tourbe. Ces sols ont un degré de fertilité variable selon le sol Bassin versant En région méditerranéenne, le calcaire et le gypse se déposent sur des sols peu profonds et aqueux. L'hydromorphie est caractérisée par l'horizonne (**Gley**) ou **pseudo Gley**

### **6-Sols humiques :**

Les sols de cette catégorie sont également appelés sols à siérozems, sols à humus fin ou sols à salinité. La migration de boue est possible dans ce sol. Le fer et l'humus donnent au sol sa couleur brune. La libération de fer est peu visible Ces sols sont de type A (B) C, parfois de type ABC Il existe un profil de type AC Rarement parfois il existe un horizon trompeur de Gley Ou il est associé à des roches riches en calcium (basalte, amphibolite, diorite). Le niveau de fertilité est élevé et très développé dans les horizons supérieurs (**Segalen, 1970**).

Selon la carte pédologique de la région de Hodna (**Fig II-3**), la zone de Mezrir caractérisée par différents types de sol, il s'agit principalement de :

- ✓ Sol peu évolués alluviaux
- ✓ Sol halomorphes
- ✓ Lithosol et sol à encroûtement calcaire
- ✓ Siérozems
- ✓ Sol accumulation calcaire
- ✓ Sol halomorphe et hydromorphe



**Figure II-4:** Carte pédologique de M'Sila avec positionnement de la zone d'étude (FAO, 1975).

### II-3-3-Hydrogéologie de la zone d'étude :

Selon les informations recueillies au niveau de la direction hydraulique dans la wilaya de M'sila, il a été constaté qu'il existe un plan d'eau dont l'eau est propre à la consommation domestique, ainsi que dans la zone de Mezrir qui contient 20 (artésien puits), représentant des puits souterrains destinés à alimenter la région en eau potable, d'une capacité estimée à **16 590 m<sup>2</sup>**.

Il est utilisé pour l'irrigation agricole **231 m<sup>2</sup>** par jour dans la zone d'étude.

Profondeur de la nappe hodna de la (nappe profonde d'Ain Riche). les réserves il eau souterraines sont difficiles à déterminer par rapport à deux autres réservoirs contenant respectivement

**133 Hm<sup>3</sup> et 08 Hm<sup>3</sup>** grande partie de la Wilaya est considérée comme un immense bassin versant bénéficiant de l'impluvium de l'Atlas et qui reçoit les eaux de pluie.

Des différents oueds qui se jettent principalement au Chott d'El Hodna (**ANONYME, 2014**).

Les ressources hydriques mobilisables sont de l'ordre de **480 Hm<sup>3</sup>/an (ANDI, 2013)**.

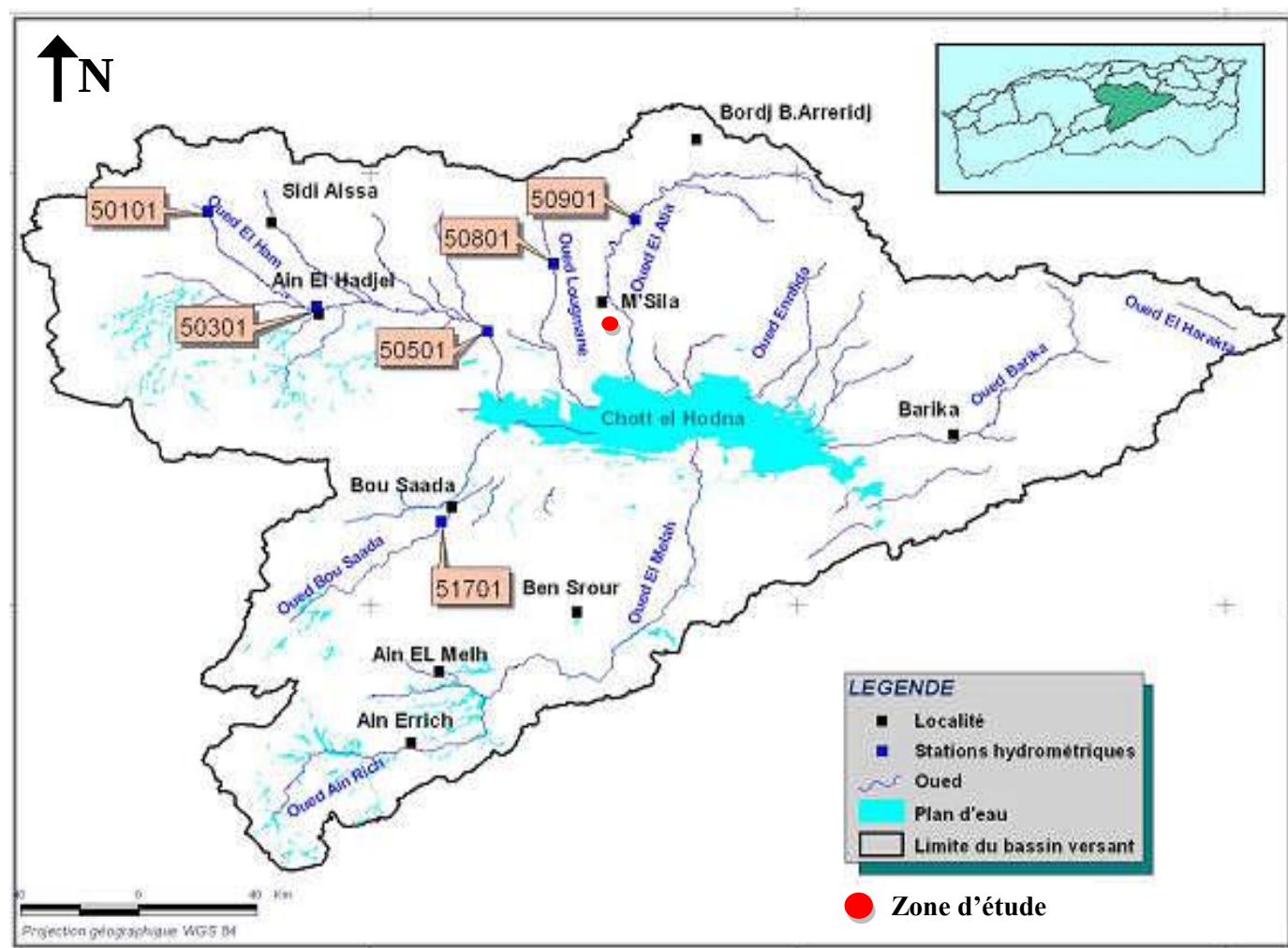


Figure II-5: Hydrologie du Bassin d'El Hodna (A.N.R.H ,1984).

### II-3-4-Caractérisation climatique de la zone d'étude

#### II-3-4-1-Origine (sources) des données climatiques

Dans notre étude, nous sommes appuyés sur la station météorologique SMM dans la région de Ghazal afin de nous fournir suffisamment d'informations pour décrire, présenter et connaître le climat qui prévaut dans la zone d'étude et au-delà. Où nous avons utilisé les données fournies Par la station météo sur une période de 27 ans de (1988 à 2018) (Tab II-1).

**Tableau II-1:** Caractéristique de la station météorologique de M'Sila

| Caractéristiques<br>De la station | Coordonnées<br>géographiques |           | Altitude | Données                     | Période   |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------|----------|-----------------------------|-----------|
|                                   | latitude                     | Longitude |          |                             |           |
| Commune de<br>M'sila              | 35°40'N                      | 04°30'E   | 441m     | T, P, Vent<br>Humidité, ETP | 1988-2018 |

### II-3-4-2- Température

Le facteur climatique le plus important est la température. Elle contrôle l'ensemble des phénomènes métaboliques et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (**Guechi, 2022**).

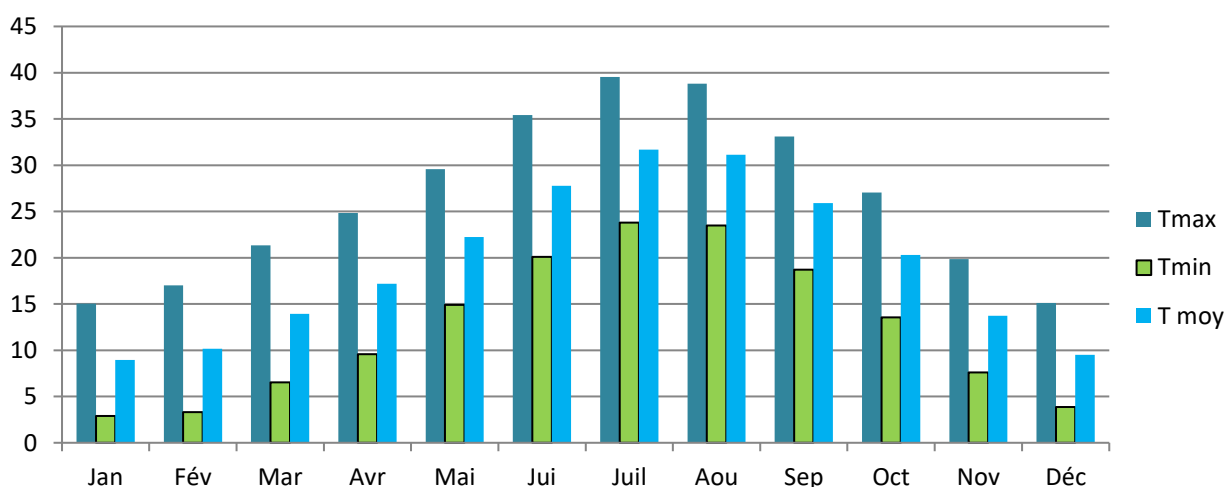
La température est l'un des facteurs climatiques les plus importants, car le climat de la région est déterminé par l'indice de chaleur, qui joue un rôle Nécessaire dans le processus de transpiration et d'évaporation. Dans le domaine de notre étude, nous nous intéressons à son rôle dans le processus d'altération des roches, ainsi qu'à son importance pour les plantes.

Les variations de température règlent l'humidité des pores, mais aussi la solubilité des gaz ou des sels. En outre, la vitesse des réactions chimiques, en particulier la vitesse de l'hydrolyse, double approximativement, pour une élévation de température de 10 °C. Ainsi, tous les mécanismes sont soumis aux variations de température. Les divers types d'altération à travers le monde sont en grande partie réglés par ce facteur (**Georges, 2019**).

Dans notre zone d'étude, la température moyenne mensuelle est présentée dans le (**Tab II-2**) qui suit

**Tableau II-2 : les moyennes mensuelles des températures en (C)° de la commune de M'sila (1988-2018)**

| Mois                 | Jan   | Fév   | Mar   | Avr   | Mai   | Jui   | Juil  | Aou   | Sep   | Oct   | Nov   | Déc   | Moy /an |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| <b>T Max (C°)</b>    | 15.04 | 17.02 | 21.35 | 24.82 | 29.57 | 35.43 | 39.55 | 38.80 | 33.12 | 27.06 | 19.86 | 15.11 | 26.39   |
| <b>T min (C°)</b>    | 2.90  | 3.31  | 6.53  | 9.57  | 14.90 | 20.11 | 23.79 | 23.48 | 18.70 | 13.55 | 7.61  | 3.88  | 12.36   |
| <b>(M+m)/ 2 (C°)</b> | 8.97  | 10.16 | 13.94 | 17.20 | 22.23 | 27.77 | 31.67 | 31.14 | 25.91 | 20.30 | 13.74 | 9.50  | 19.38   |



**Figure II-6 : Les moyennes mensuelles des températures en (C)° de la commune de M'sila (1988-2018)**

La température moyenne annuelle dans la station météorologique de M'sila est évaluée à **19,38°C**. La ventilation mensuelle des températures moyennes montre que le mois le plus froid est le mois de Janvier avec **8.97°C** et le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec **31,67°C** (**Fig II-6**)

### II-3-4-3-pluviométrie

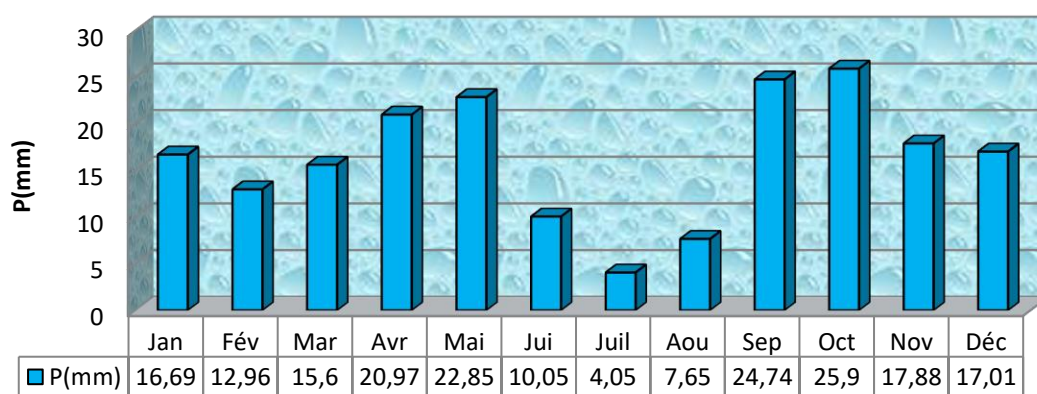
Les précipitations comme le principal facteur limitant la production de biomasse.

Les précipitations sont d'une importance primordiale pour classer une année comme bonne ou mauvaise Où la région est déterminée par les précipitations car ces dernières sont nécessaires à la croissance des plantes (**Berge et al, 2005**).

Selon (**Kris et al, 2006**), la pluie joue un rôle important dans la reconstitution de l'humidité profonde du sol, en particulier en hiver, en partie en raison de la nature des précipitations en hiver, qui se caractérisent par des orages moins intenses et durent plus longtemps, ce qui augmentation de l'infiltration d'eau.

**Tableau II-3 : Les variations des précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la commune de M'Sila (1988-2018)**

| Mois  | Jan   | Fev   | Mar   | Avr   | Mai   | Juin  | Juil | Aout | Sep   | Oct   | Nov   | Dec   | Total  |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|
| P(mm) | 16.69 | 12.96 | 15.60 | 20.97 | 22.85 | 10.05 | 4.05 | 7.65 | 24.74 | 25.90 | 17.88 | 17.01 | 196.35 |



**Figure II-7 : Les variations des précipitations moyennes mensuelles en (mm) de la commune de M'Sila (1988-2018)**

Selon le (**Tab II-3**) le mois le plus pluvieux à la station de M'Sila est octobre (**25,90 mm**). Le mois le moins pluvieux est juillet (**4,05 mm**), et il est plus sec avec août (7,65 mm). Les précipitations annuelles de 196,35 À travers les valeurs indiquées sur la (**Fig II-7**) La zone d'étude est caractérisée par des précipitations faibles et irrégulières, et c'est ce classée dans les régions arides.

#### II-3-4-4- Humidité relative

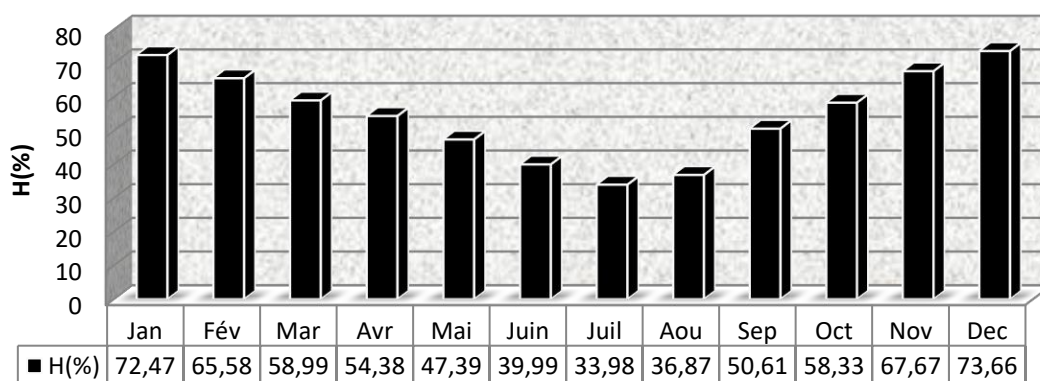
L'humidité relative est fonction de la teneur en vapeur d'eau et de la température de l'atmosphère. C'est le rapport de la tension mesurée de la vapeur d'eau à la tension maximale de l'air saturé. Elle varie au cours de l'année et se maintient à un degré élevé, à l'exception de la période la plus sèche, à laquelle sont associées les fortes variations journalières (Joseph, 2009).

L'état hygrométrique ou humidité relative est le rapport entre la tension de la vapeur d'eau contenue dans l'air au moment de l'observation et la tension maximum que cette vapeur pourrait acquérir à la même température. L'humidité relative s'exprime en centièmes (Angot, 1911).

**Tableau II-4:** Les variations de l'humidité moyennes mensuelles exprimé en (%) de la région de M'Sila période (1988-2018)

| Mois | Jan   | Fev   | Mar   | Avr   | Mai   | Juin  | Juil  | Aout  | Sep   | Oct   | Nov   | Dec   |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| H(%) | 72.47 | 65.58 | 58.99 | 54.38 | 47.39 | 39.99 | 33.98 | 36.87 | 50.61 | 58.33 | 67.67 | 73.66 |

Selon le (Tab II-4) les résultats d'observations à partir de la station météorologique de M'sila montrent que les moyennes de l'humidité mesurées durant la période (1988-2018) est variée pendant l'année entre un maximum de **73.66%** en Décembre et un minimum de **33.98 %** juillet



**Figure II-8 :** Les variations de l'humidité moyennes mensuelles exprimé en (%) de la région de M'sila période (1988-2018)

#### II-3-4-5- Le Vent

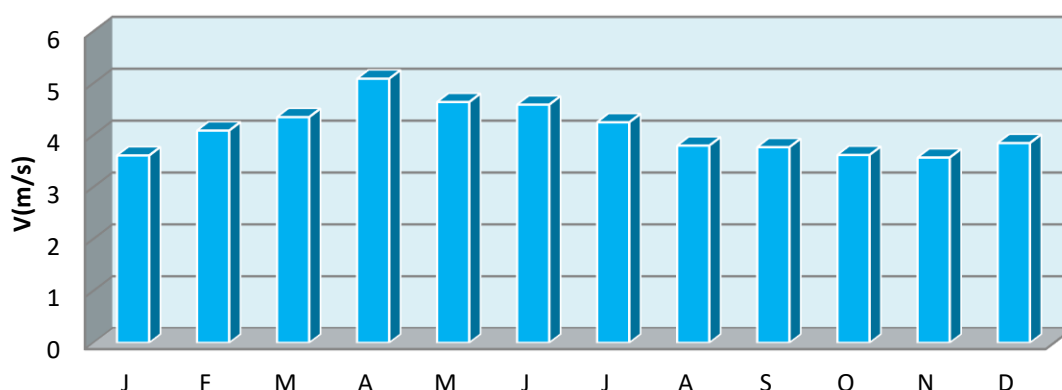
Le vent est considéré comme l'un des facteurs les plus caractéristiques du climat, car il reflète les effets des éléments climatiques (température, humidité et précipitations), qu'i est l'aspect climatique le plus important dans l'étude de la région aride ( Benguerai , 2011).

Selon (**Flammarion ,1872**) Les vents ont une influence dominante sur la distribution des températures, en apportant aux différents pays, selon leur ex position , des modifications permanentes au climat qu'ils possède raient sans eux . Le régime des vents entraîne à sa suite un régime de température qui lui est intimement lié. Les courants de l'atmosphère apportent avec eux la température des contrées d'où ils Vion nent

**Selon Benguerai** Le vent peut également être responsable de la formation du relief, de l'évapotranspiration et de la formation de la végétation. Il est également connu pour son effet desséchant sur les graines. un vent sec n'a pas la même efficacité qu'un vent humide Par ailleurs, la périodicité du vent prend une importance décisive. Un vent fort soufflant à une période où les plantes ont leurs stomates fermés et sont en sommeil végétal n'a que des effets mécaniques, mais peu d'effets physiologiques. En revanche, un faible souffle de vent en période d'activité photosynthétique constitue un fort stimulant de l'évapotranspiration (**Hotyat et Arnould, 2003**).

**Tableau II-5 : Vitesses moyennes du vent (m/s) de la commune de M'Sila période (1988-2018)**

| Mois   | Jan  | Fev  | Mar  | Avr  | Mai  | Juin | Juil | Aout | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  | Total |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| V(m/s) | 3.61 | 4.09 | 4.35 | 5.09 | 4.59 | 4.55 | 4.25 | 3.88 | 3.77 | 3.62 | 3.57 | 3.85 | 4.11  |



**Figure II-9 :les vitesses moyennes mensuelles des vent m/s pour la commune de M'Sila**

Selon le (**Tab II-5**) indiquant la vitesse moyenne du vent dans la wilaya de M'Sila, la région est caractérisée par des vents très rafaleux, avec prédominance des vents chauds (**Sirocco**), surtout en été. La vitesse moyenne annuelle est de **4,1 m/s** . La vitesse du vent la plus élevée a été enregistrée en avril à 5,09 m/s et la plus faible a été enregistrée en novembre à **3,57 m/s**. Les vents soufflent généralement dans des directions instables et avec une intensité différente d'un mois à l'autre

#### II-3-4-6-L'évapotranspiration

L'évaporation c'est le transfert de l'eau dans l'état vapeur au - dessus d'une nappe d'eau , du sol humide de la végétation mouillée par la pluie et de toutes autres surfaces où l'eau liquide est exposée à l'air ambiant . La transpiration : C'est le transfert de l'eau dans l'état vapeur par les plantes à partir des

stomates des feuilles dans une couverture végétale. Pour l'évaporation, la quantité d'eau qui repart dans l'atmosphère dépend uniquement des paramètres physiques tels que la température de l'air, de l'eau, de la vitesse du vent etc. la transpiration elle, dépend en plus, du couvert végétal et de son stade de développement (**Bamba D. E, 2022**).

L'évapotranspiration celle des surfaces terrestres inclut l'évapotranspiration provenant par exemple de la végétation, des sols dénudés, des paysages urbains et des masses d'eau telles que les lacs, cours d'eau et canaux. Le taux d'évapotranspiration des surfaces terrestres est régi par les facteurs météorologiques, influencé par les caractéristiques de la végétation et des sols, et limité en particulier par la quantité d'eau dans le sol accessible à la végétation (**Batchelor, 2020**).

Selon (**Zedam, 2015**). L'ETP peut être calculée à partir de plusieurs formules, on a utilisé la méthode de THORNTWAITE (1948), qui fait intervenir un seul paramètre en l'occurrence la température

$$ETP = 16 (10 \cdot T/I)^a \times F(\lambda)$$

**ETP** : évapotranspiration potentielle en cm

**F(λ)** : facteur de correction qui dépend de la latitude et du mois, est donné pour environ 35° latitude Nord de notre région.

**T**: la température moyenne annuelle en °C

**a** : indice lié à la température, on le calcule par la relation suivante :

$$a = 0.675 \times 10^{-6} \cdot I^3 - 0.771 \times 10^{-4} \cdot I^2 + 0.1792 \times 10^{-1} \cdot I + 0.49239$$

Cette formule a été simplifiée par (**Halimi, 1980**), en :  $a = 0,016 I + 0,5$

Dont (I) est l'indice thermique annuel obtenue en sommant les douze valeurs mensuels de

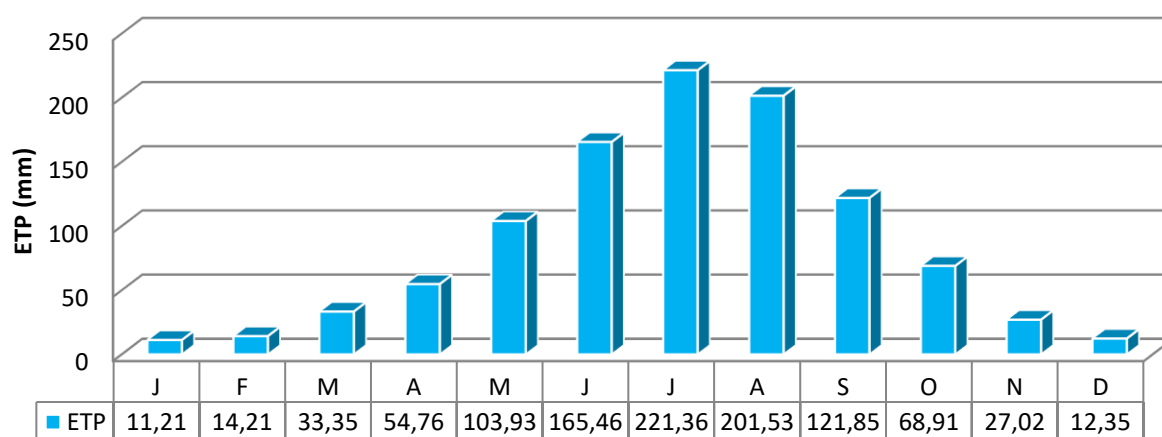
$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1.514}$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i$$

où t est la température moyenne mensuel en degré centigrade (C°) I et C sont donnés par THORNTWAITE sous forme de tables. (**Annexe II Tableau 1**)

**Tableau II-6 : Evapotranspiration mensuelle moyenne (en mm) de la région d'étude (1988-2018)**

| Mois     | Jan   | Fev   | Mar   | Avr   | Mai    | Juin   | Juil   | Aout   | Sep    | Oct   | Nov   | Déc   | Total  |  |
|----------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--|
| T (C°)   | 8.97  | 10.16 | 13.94 | 17.20 | 22.23  | 27.77  | 31.67  | 31.14  | 25.91  | 20.30 | 13.74 | 9.50  | 19.35  |  |
| I        | 2.42  | 2.92  | 4.72  | 6.49  | 9.57   | 13.40  | 16.35  | 15.94  | 12.07  | 8.34  | 4.62  | 2.64  |        |  |
| F(λ)     | 0.87  | 0.85  | 1.03  | 1.09  | 1.21   | 1.21   | 1.23   | 1.16   | 1.03   | 0.97  | 0.86  | 0.85  |        |  |
| A        | 2.09  |       |       |       |        |        |        |        |        |       |       |       |        |  |
| I        | 99.48 |       |       |       |        |        |        |        |        |       |       |       |        |  |
| ETP (mm) | 11.21 | 14.21 | 33.35 | 54.76 | 103.93 | 165.46 | 221.36 | 201.53 | 121.85 | 68.91 | 27.02 | 12.35 | 517.97 |  |



**Figure II-10 : Evapotranspiration mensuelle moyenne (en mm) de la région d'étude (1988-2018)**

(Fig II-10) et (Tab II-6) montrent que la zone étudiée est caractérisée par une augmentation progressive des valeurs d'évaporation, à partir de février à décembre, et cela correspond à la hausse des températures au cours de ces mois, le pic d'évaporation atteignant **221.36 mm** en juillet et **201.85 mm** en août, c'est ce qui caractérise la région aride. On remarque le niveau le plus bas au mois de janvier, indiquant que la région se caractérise par des hivers froids et des étés chauds.

#### II-3-4-7- Les indices climatiques

Les indices climatiques, ceux-ci sont des variables synthétiques qui caractérisent le climat local et sont construites à partir des données météorologiques. Ils peuvent alors être corrélés avec les données de croissance ou de survie.

En agronomie, une évapotranspiration potentielle de référence (ET). De très nombreux indices climatiques combinant précipitations et températures

le plus connu étant probablement l'indice d'aridité de Martonne :

Les géographes et botanistes, conscients du rôle du climat sur la végétation et sur le sol, se sont appliqués à définir des indices climatiques dont l'objet était de classer les climats du monde de manière simple et opérationnelle. L'indice d'Aridité de Emmanuel de Martonne (1923) (**Legros, 2007**).

La plus ancienne formule de ce type est due au géographe français Emmanuel de Martonne. Son indice d'aridité s'écrit :

$$I = P / t + 10$$

Où P est le total annuel des précipitations en mm et t la température moyenne annuelle en degrés Celsius (MARTONNE 1926).

Le nombre 10 ajouté à / au dénominateur a seulement pour objet d'éviter les nombres négatifs (**Joly et Bourrié, 2022**).

**a) Indice de Martonne (Ia)**

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

\*P : précipitation annuelle (mm)

\*T : température moyenne annuelle (C°)

**Tableau II-7:** Calcul de l'indice de MARTONNE de la zone d'étude

| Nom de la station | P (mm) | T(C°) | I    |
|-------------------|--------|-------|------|
| Commune de M'sila | 196.35 | 19.38 | 6.68 |

Selon De Martonne (1926), un climat est dit aride lorsque l'indice d'aridité (I) est compris entre 5 et 10. Or, la région d'étude est sous le climat aride.

**Tableau II -8:** Classification de station selon De Martonne

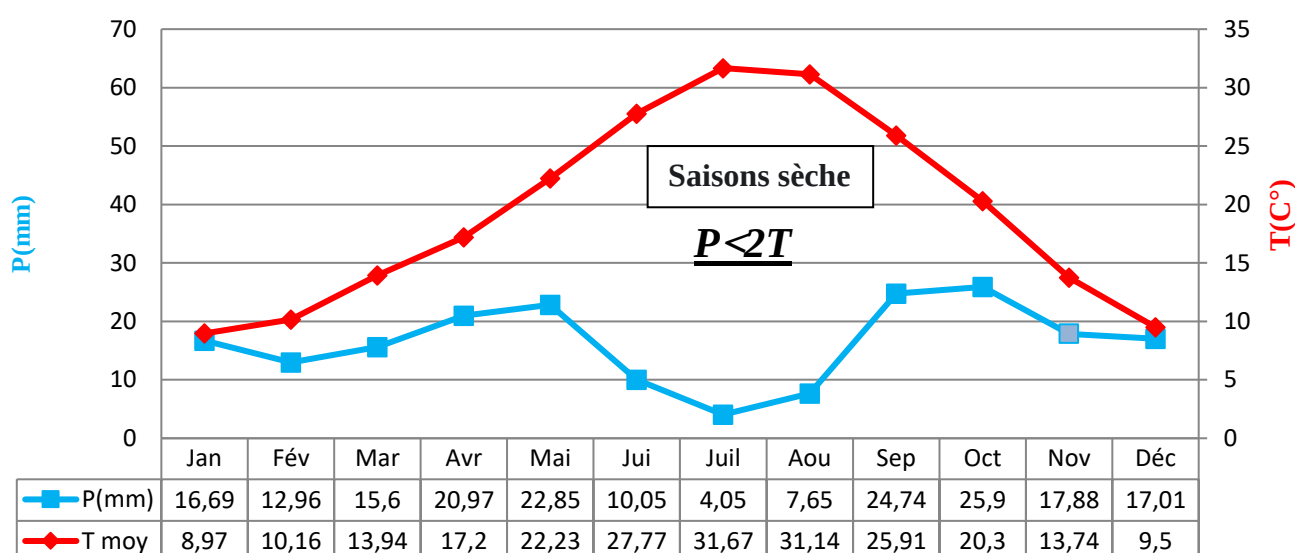
| Valeur de l'indice | Type de climat |
|--------------------|----------------|
| 0 < I < 5          | Hyper-aride    |
| 5 < I < 10         | Aride          |
| 10 < I < 20        | Semi-aride     |
| 20 < I < 30        | Semi-humide    |
| 30 < I < 50        | Humide         |

En plaçant cet indice sur le tableau De Martonne, on s'aperçoit que la région d'étude a un climat aride.

**b) Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN**

Ce graphique est obtenu en combinant la température et les précipitations au cours des douze mois, où la température est représentée en degrés Celsius, tandis que les précipitations sont en millimètres. Si les précipitations totales (en millimètres) sont inférieures ou égales à deux fois la température moyenne (en degrés), alors cette période est considérée comme sèche, selon les scientifiques,  $P < 2T$ . selon deux échelles différentes telles que  $P = 2T$  (Boichard, 1977).

Dès que la courbe des précipitations passe sous celle de la température, soit  $P > 2T$ , le mois est considéré comme « sec ». Cette représentation donne ainsi une expression relative de la sécheresse en durée et en intensité. Plus l'aire entre les deux courbes est grande, plus la durée de la sécheresse est importante (Bastien et Gauberville, 2011).



**Figure II-11 :** Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN pour la commune de M'Sila

La région de M'Sila présente une période sèche qui dure 11 mois, allant de février jusqu'au mois de décembre (**Fig II-11**).

#### II-3-4-8- Le Quotient pluviothermique et climagramme d'Emberger :

LEmberger a étudié les types de climat de la région méditerranéenne. Il a proposé le quotient pluviométrique Q ( Ou indice pluviométrique d'Emberger ).

Il est donné par la formule suivante :

$$Q_2 = 1000P / [(M+m)/2 - (M-m)] \text{ ou } Q_2 = 2000P / (M^2 - m^2)$$

**P** : Précipitation moyenne annuelle en mm.

**M** : Température moyenne mensuelle du mois le plus chaud exprimée en degrés Kelvin.

**m** : Température moyenne mensuelle du mois le plus froid exprimée en degrés Kelvin.

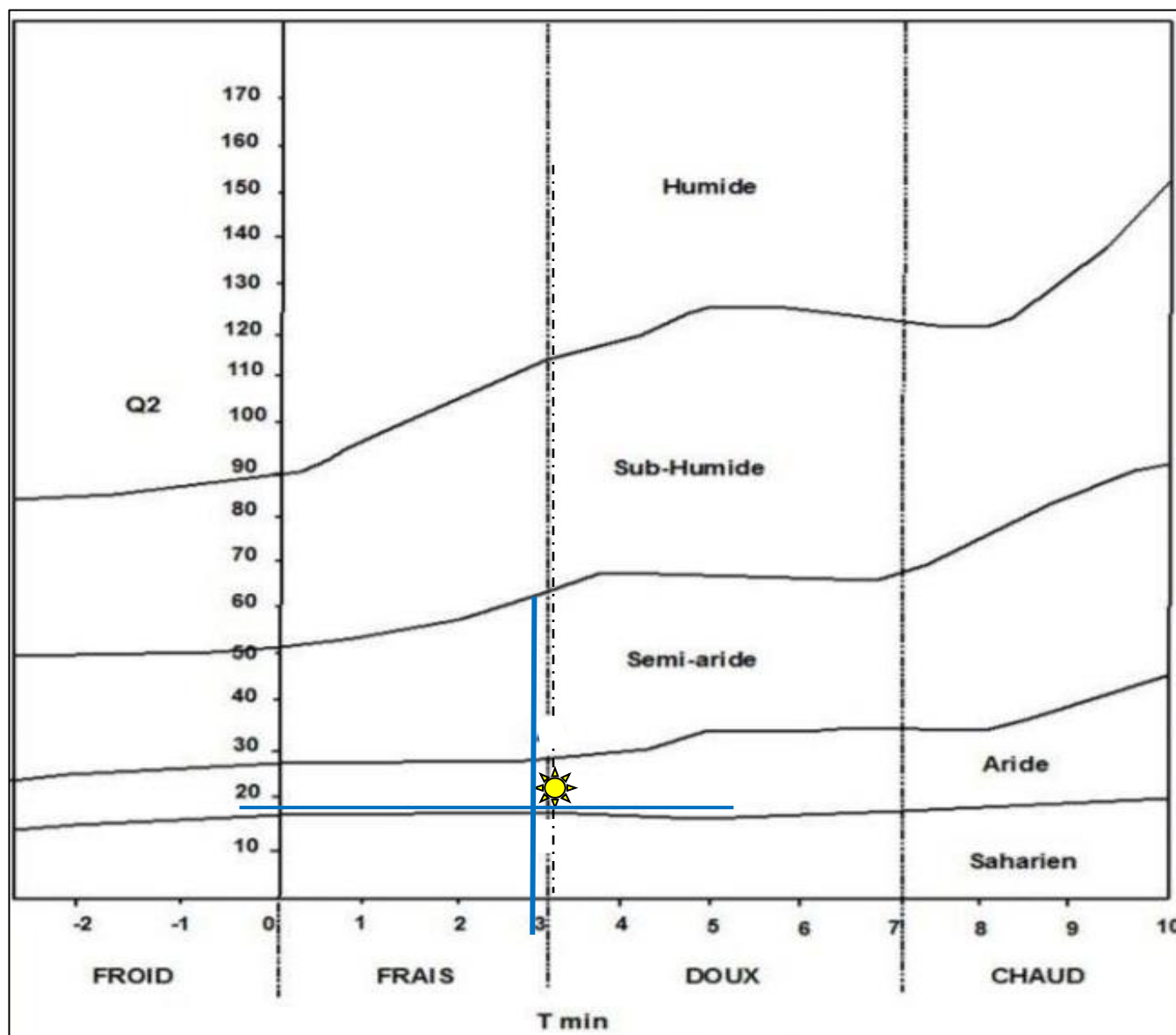
**M-m** : Amplitude thermique extrême moyenne (**Mokhtari , 2009** ).

**P=196.35 ; m=2.9 ; M=39.55 ;**

**Selon Zedam  $T(K) = T(C^\circ) + 273,15$**

**Tableau II-9:** L'étage bioclimatique de la région de M'Sila.

| Nom de la station                         | P(mm)  | M(K°) | m(K°)  | m(C°) | Q <sub>2</sub> |
|-------------------------------------------|--------|-------|--------|-------|----------------|
| Station météorologique de Ghezal (M'sila) | 196.35 | 312.7 | 276.05 | 2.9   | 18.20          |



**Figure II-12 :** Climagramme d'Emberger avec une représentation de l'emplacement du climat de la région d'étude

Selon le climagramme d'Emberger représenté dans la (**Fig II-12**) on constate que la région de M'Sila est située dans l'étage bioclimatique aride, ceci confirme en résultats des travaux par (**Mimeche, 2014, Zedam, 2015, Amrone, 2018, Guechi 2022**)

#### II-3-4-9-Topographie

Le territoire de la wilaya de M'Sila constitue une zone charnière et de transition entre deux grandes chaînes de montagnes qui sont l'Atlas Saharien et l'Atlas Tellien avec la configuration géographique suivante :

- Une zone de montagne de part et d'autre du chott El-Hodna.
- Une zone centrale constituée essentiellement de plaines et de hautes plaines.

- Une zone de Chott et de dépression avec le chott El-Hodna au centre Est et le Zahrez el Chergui au centre Ouest (**Hadjab, 1998; Zedam 2015**).
- Une zone de dunes de sables éoliens.

Le chott EL Hodna est une dépression salée de **1000 Km<sup>2</sup>** au total, dont **808.8 Km<sup>2</sup>** se trouve dans la wilaya de M'sila, et constitue environ 4% de la superficie de la wilaya. C'est une surface d'épandage où la végétation est quasiment absente.

La plaine du Hodna est située dans une dépression à une altitude moyenne de 400 m (**Sari et Caplimi 1975**).

#### **II-3-4-10- Ressource Hydriques et l'irrigation dans la région d'étude**

Quant aux ressources en eau de la commune de M'Sila, elles se répartissent en 3 sources principales, le Barrage Ksob en premier lieu. Quant à la zone d'étude, la ville de Mezrir, elle n'est pas considérée (Barrage Ksob) comme solution, d'abord pour mentionner la distance de transport et son coût. Nous nous intéressons aux puits profonds et traditionnels qui comptaient 311 puits, dont 231 puits profonds et 82 puits conventionnels. Ceci est indiqué dans le tableau ci-dessous. (**D.S.A, 2021**).

**Tableau II-10 :** Les ressources en eau , le nombre de puits et de points d'eau dans la commune de M'Sila

| Type                          | Nombre |
|-------------------------------|--------|
| Nombre de puits profonds      | 231    |
| Nombre de puits traditionnels | 82     |
| Puits pastoraux               | 0      |
| Mares d'eau                   | 0      |
| Nombre de barrages            | 1      |

Source (DSA M'Sila, 2021)

La superficie totale irriguée de la zone d'étude, la commune de M'sila, est de 3458 hectares, répartis en 504 hectares irrigués par aspersion, 170 hectares irrigués par goutte à goutte, et 2784 hectares irrigués par submersion.

**Tableau II-11:** Espaces irrigués

| Espaces                     | Sup (ha) |
|-----------------------------|----------|
| Zone arable                 | 8622     |
| Arrosé                      | 3458     |
| Irrigué par aspersion       | 504      |
| Irrigué par goutte a goutte | 170      |
| Irrigué par gravitaire      | 2784     |

Source (DSA M'Sila, 2021 )

### II-3-5- L'agriculture

#### II-3-5-1- Investisseurs agricoles :

Le nombre de exploitation agricoles dans la commune de M'Sila est de 740, sur une superficie estimée à 8 622 exploitation agricoles, qui est la superficie arable. Parmi eux, 12 investisseurs collectifs Notamment 125 en ce qui concerne le recouvrement pour les investisseurs, leur nombre ne dépasse pas 3 investisseurs, et il compte également 0 investisseurs tant dans les investissements franchisés que dans l'Autorité Générale des Douanes.

**Tableau II-12 : Investisseurs agricoles dans la commune de M'Sila**

| Nature juridique                       | nombre     | Sup(ha)     |
|----------------------------------------|------------|-------------|
| Investisseurs collectifs (EAC)         | 12         | 548         |
| Investisseurs individuels (EAI)        | 125        | 608         |
| Investisseurs de remise en état (APFA) | 3          | 56,5        |
| Investisseurs concession               | 0          | 0           |
| Investisseurs GCA                      | 0          | 0           |
| Investisseurs privée                   | 600        | 7409,5      |
| <b>Total</b>                           | <b>740</b> | <b>8622</b> |

Source (DSA de M'Sila, 2021)

#### II-3-5-2- Production Végétale de la commune de M'Sila

L'agriculture dans la commune de M'sila comprend plusieurs types de cultures, dont la culture des céréalicultures; la culture maraîchères; l'arboriculture fruitière. Ainsi que la culture de fourrage et de cultures protégées

**Tableau II-13 : Production Végétale de la commune de M'Sila**

|                         | Céréales   | Cultures maraîchères | Arbres fruitiers | Culture protégé | Culture fourragère |
|-------------------------|------------|----------------------|------------------|-----------------|--------------------|
| <b>Superficies (ha)</b> | <b>350</b> | <b>80</b>            | <b>605</b>       | <b>10</b>       | <b>430</b>         |

Source (DAS de M'Sila, 2021)

La région se caractérise par la culture des arbres fruitiers, qui occupent la plus grande superficie, estimée à **605 hectares**, suivie par la culture du fourrage et des céréales. Quant au quatrième, le maraîchage vient sur une superficie estimée à **80 hectares**. En bas du secteur, on trouve des cultures protégées qui n'occupent qu'une superficie de **10 hectares**. (DSA, 2021)

Les tableaux suivants nous présentent les types de cultures agricoles dans la commune de M'Sila et les superficies qu'elles occupent, ainsi que le rendement de certaines cultures, comme les céréales, principalement pour **l'année 2021**. L'information a été obtenue auprès de la Direction des Services Agricoles de la Province de M'Sila .

**a- Céréales****Tableau II-14:** Les céréales dans la commune de M'Sila (DSA , 2021)

|         | Blé dur |      | Blé tendre |      | Orge    |      | Avoine  |      | Total cereales |      |
|---------|---------|------|------------|------|---------|------|---------|------|----------------|------|
| Commune | Sup(ha) | Prod | Sup(ha)    | Prod | Sup(ha) | Prod | Sup(ha) | Prod | Sup(ha)        | Prod |
| M'sila  | 250     | 7500 | 30         | 750  | 50      | 1000 | 20      | 480  | 350            | 9730 |

Source (DSA de M'Sila, 2021)

**b-Arbres fruitiers :****Tableau II-15:** Superficie en hectares d'arbres fruitiers dans la commune de M'Sila

| Produit    | Sup (ha) |
|------------|----------|
| Abricotier | 360      |
| Pomme      | 5        |
| Poires     | 0        |
| Grenade    | 7        |
| Figues     | 0        |
| Olives     | 233      |
| Total      | 605      |

Source (DSA de M'Sila, 2021)

**c-Culture maraichère :**

Selon les informations recueillies au niveau de la Direction des Services Agricoles de la wilaya de M'sila, nous concluons que la superficie totale de culture maraîchère n'excède pas 80 hectares, où haricot et oignons sont représentés. 27 et 28 respectivement, et de 1 à 2 pour navet et ail En plus du poivron, il occupe 22 de la superficie totale, tandis que les tomates, carottes et laitue sont 0.

**Tableau II-16 :** Les superficies allouées à la culture des légumes en hectares dans la commune de M'Sila.

| Produit | Pomme de terre | oignons | tomates | ail | poivron | carottes | courge | laitue | navet | haticot | Total |
|---------|----------------|---------|---------|-----|---------|----------|--------|--------|-------|---------|-------|
| Sup(ha) | 0              | 28      | 0       | 2   | 22      | 0        | 0      | 0      | 1     | 27      | 80    |

Source (DSA de M'Sila ,2021)

**d- Agriculture protégée :**

Selon les informations qui ont été recueillies au niveau de la Direction des Services Agricoles de la wilaya de M'Sila, nous concluons qu'il existe une faiblesse dans la superficie des cultures protégées qui ne dépasse pas 10 hectares pour chacun des (Concombre + Pastèque+ Pastèque verte) Quant à moi (piment et poivron ) ça représente 0 hectares

**Tableau II-17:** Le nombre de serres destinées aux cultures protégée dans la commune de M'Sila

| Culture                              | Nombre d'auberges |
|--------------------------------------|-------------------|
| Piment + Poivron                     | 0                 |
| Tomate                               | 0                 |
| Concombre + Pastèque+ Pastèque verte | 10                |
| Total                                | 10                |

Source (DSA de M'Sila, 2021)

**e- Culture fourragère :**

Le tableau ci-dessous représente la superficie des cultures fourragères pour la commune de M'Sila, selon les sources de la Direction de l'Agriculture (DSA M'Sila) où l'on constate que l'orge vert occupe la plus grande superficie, qui est estimée à 180 hectares. avoine comme fourrage on note le manque de production, dû au manque de surfaces agricoles qui lui sont allouées 140 hectares répartis en sorgo et Luzerne respectivement 50 et 90 La superficie totale des fourrages verts est de 320, tandis que la superficie totale de l'Alimentation sèche est de 110 hectares.

**Tableau II-18:** Superficies affectées à la culture fourragère dans la commune de M'Sila

| Produit                   | Superficie (ha) |
|---------------------------|-----------------|
| Orge verte                | 180             |
| Sorgo                     | 50              |
| Luzerne                   | 90              |
| L'avoine comme fourrage   | 0               |
| Total fourrage vert       | 320             |
| Alimentation sèche totale | 110             |

Source (DSA M'Sila, 2021)

**II-3-6- Production Animale dans la zone de Commune de M'Sila**

Cette répartition (**Tab II-19**) nous permet de conclure que la production ovine est la plus Dominante (**23 375 têtes**) dont (**18 356 brebis**), 2200 têtes de bovins (**1320 vaches laitières**), 1 564 têtes de chèvres (**1100 chèvres**), 209 000 poulets de chair, 148 400 poules aux œufs et 4 000 têtes de dindes

**Tableau II-19:** Statistiques du recensement animalier dans la commune de M'Sila

| Type                                | Nombre |       |
|-------------------------------------|--------|-------|
| Bovins (la brebis)                  | 23375  | 18356 |
| Vaches y compris (Vaches laitières) | 2200   | 1320  |
| Chèvres (la chèvre)                 | 1564   | 1100  |
| Les chameaux                        | 0      |       |
| Les chevaux                         | 53     |       |
| Nombre d'écuries                    | 49     |       |
| Nombre de ruches                    | 718    |       |

Source (DSA de M'Sila , 2021)

**II-3-7-Matériel de travail du sol :**

Les machines (tracteurs et accessoires, moissonneuses-batteuses, etc.) de travail du sol, préparation des cultures agricoles et service foncier, selon le découpage agricole des engins utilisés dans la zone d'étude (Commune de M'Sila) sont indiqué dans le tableau suivant.

**Tableau II-20** : La répartition de matériels de travaux de sol de la commune de M'Sila

| Les matériels                   | Nombre |
|---------------------------------|--------|
| Tracteurs                       | 86     |
| Moissonneuse et batteuse        | 32     |
| Machines pour cultiver la terre | 258    |

Source (DSA de M'Sila, 2021)

---

# ***Chapitre III :***

# ***Méthodologie de travail***

---

### III-1- Introduction

Dans les premier et deuxième chapitres, nous avons traité un ensemble d'informations et d'idées générales sur le sujet de l'étude, telles que l'explication et la clarification des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques les plus importantes, des sols ainsi que la collecte d'informations météorologiques et naturelles suffisantes sur la zone d'étude (Commune de M'Sila) ainsi que méthode de travail en laboratoire pour l'analyse des échantillons.

### III-2- Choix de la zone d'étude et des lieux d'échantillonnages :

Le but du choix de la zone d'étude est de connaître les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol dans la zone d'étude et d'essayer de connaître la capacité productive qui caractérise la zone et d'essayer de surmonter les obstacles et de récupérer la terre et de la ré-exploiter afin d'augmenter la productivité

Nous avons essayé de déterminer les propriétés de notre sol d'étude en creusant deux profils P1 et P2 situés dans la commune de M'Sila, plus précisément dans la région de Mezrir.

\*Profil 1 : qui a une altitude de 442 mètres, avec les coordonnées N 4° 33' 08 "de latitude et de longitude E 35°38' 26 "

\*Profil 2 : avec une altitude de 442 mètres soit une latitude de N 4°32' 48" et une longitude E35°38'58"

La (Fig III-1) montre l'emplacement exact des deux profils



**Figure III-1-Situation géographique de la zone d'étude Mezrir (Google earth)**

### III-2-1- Description des horizons des profils et prélèvement des échantillons

#### III-2-1-1- Description des horizons des profils P1 et P2 (travail de terrain )

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les deux sites concernés par l'étude ont été sélectionnés afin d'étudier les caractéristiques et d'identifier les problèmes liés à la qualité des sols afin de reconquérir les terres et d'amplifier le rendement. Les deux profils ont été creusés le **15 mars 2023** au soir, et des échantillons ont été prélevés un jour après le creusement, (le **16 mars 2023**). Les outils et produits suivants ont été utilisés pour faciliter d'échantillonnage: couteau de pédologue, marteau de pédologue, pénétromètre, code de Mensuel, GPS, cylindres en acier, eau distillée HCl (1/2 concentrée) balance de terrain et multi-paramètre

L'observation a montré l'existence de 5 horizons en profil (I) et 4 horizons en profil deux. Les neuf horizons ont bénéficié du processus de description morphologique représenté dans les traits morphologiques ( les traits pédologie)

Cette description résulte pour les deux profils étudiés Présenté au début du chapitre IV (Résultats et description)

#### III-2-1-2-Prélèvement des échantillons de sol à analyser

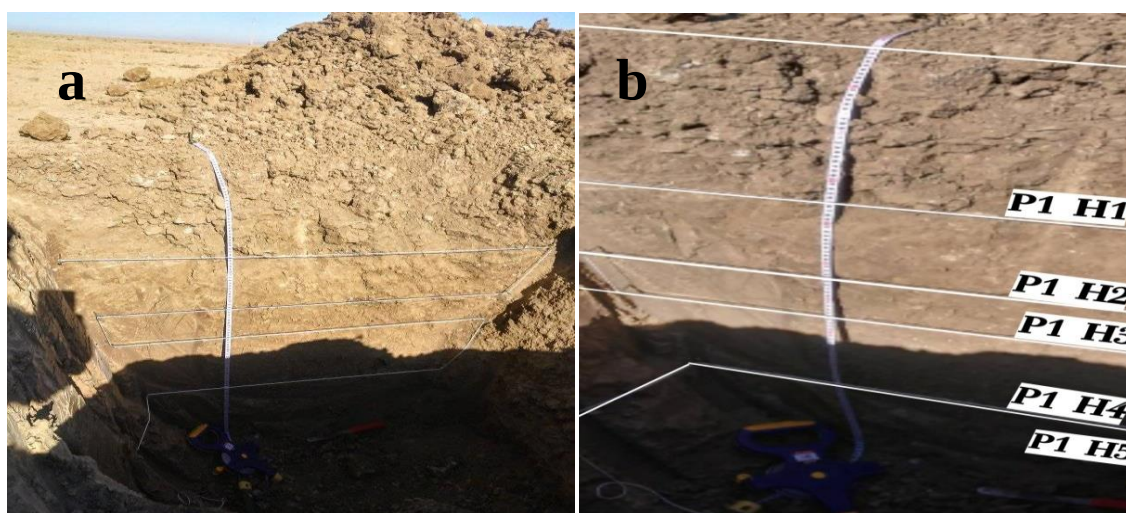
Le processus d'échantillonnage diffère selon l'objectif de l'étude, et en ce qui concerne notre sujet, il était prévu d'étudier le sol lui-même afin de connaître la quantité de ses éléments dans les différents horizons, nous avons donc eu recours au processus d'échantillonnage des surface et sous-surface (Profil du sol).

Bien nettoyer la surface du sol

- Nous avons creusé une tranche de sol aux dimensions dans lesquelles une personne peut se déplacer confortablement et avec une profondeur déterminée, il est préférable d'être à plus de 100 cm.

Après avoir déterminé les caractéristiques morphologiques, nous avons prélevés les échantillons des deux profils comme suit :

- Dans notre cas, pour déterminer l'humidité, nous avons prélevons une certaine de grammes de chaque horizon, en prenant soin de garder le sac bien fermé afin de garder l'humidité.
- Environ 1 kg par horizon par toutes les analyses physiques et chimiques.
- Échantillons de cylindres en acier pour mesurer la densité apparente.
- Chaque échantillon est étiqueté et transporté dans des sacs. Le premier profil avait une profondeur de 120 cm (**Fig III-2**) tandis que le second avait une profondeur de 112 cm (**Fig III-3**)



**Figure III-2 : Profil du sol p1** Le 16/03/2023 (*Seghiour et Oubah*)



**Figure III-3 : Profil du sol P2** Le 16/03/2023 (*Seghiour et Oubah*)

### III-3- Méthodes d'analyse des sols en laboratoire

Les analyses ont été réalisées au laboratoire de pédologie, Département des Sciences agronomique Faculté des Sciences, (Université de M'Sila,) après séchage à l'air libre (pour tous les horizons des échantillons, puis broyage et tamisage avec un tamis de 2 mm, puis on pèse les échantillons (**Fig III-4**)

#### III-3-1-Préparation des échantillons de sol pour les études en laboratoire

Une fois les échantillons de sol apportés au laboratoire, ils doivent passer par les processus suivants avant de pouvoir être utilisés pour l'analyse. Nous séchons les modèles à l'extérieur dans du papier épais ou des sacs en plastique dans des zones où les modèles ne seront pas perdus ou contaminés. Les échantillons de sol ont été écrasés avec un bloc de bois et les corps étrangers, les pierres et les mauvaises

herbes ont été exclus. Après broyage, les échantillons passent à travers un tamis d'un diamètre de 2 mm, et la partie restante du tamis est exclue, et le sol est placé dans des sacs en Plastique. Après fermeture, les sacs sont conservés dans des endroits protégés des influences extérieures jusqu'à l'analyse



**Figure III-4:** Préparation de l'échantillon analyses (Tamisage) (FAO, 1986).

### III-3-2- Analyses physiques :

#### III-3-2-1- Humidité résiduelle du sol :

L'humidité naturelle est le pourcentage du poids de l'eau présente dans un échantillon de sol par rapport au poids de cet échantillon sec. Dans cette expérience, nous utilisons les outils suivants :

- Etuve de séchage électrique à réglage automatique dont la température peut être fixée à 105 C°
- Balance sensible avec une précision de 0,01 gramme.
- Un groupe de Boîte en verre, en aluminium ou en tout métal résistant à la rouille, à la corrosion ou à la décomposition résultant du processus répété de chauffage et de refroidissement de ces canettes. Nous pesons les canettes lorsqu'elles sont vides et enregistrons le poids et l'appelons **m1** Nous y ajoutons 10 g de sol humide et enregistrons à nouveau le poids et l'appelons **m2** Nous mettons les Bouteille dans un étuve de séchage pendant 24 heures pour sécher, puis nous les pesons à nouveau et enregistrons le poids et l'appelons **m3**

$$H (\%) = ( m2 - m3 / m2 - m1 ) \times 100$$

#### III-3-2-2-Porosité :

Pour mesurer la porosité du sol, il faut mesurer la densité apparent (**da**) et la densité réel (**dr**) :

La méthode d'estimation de la densité réelle est basée sur le poids et la taille des particules solides, et cela se fait en pesant l'échantillon de sol sec dans le étuve. Quant au volume, on l'estime par immersion dans un certain volume d'eau sans air en mesurant le volume de l'eau déplacée, et on utilise à cet effet un pycnomètre (Fig III-5).

- Pesez le flacon de densité lorsqu'il est vide, après l'avoir bien nettoyé et séché, il est symbolisé par (a).
- Environ 15 g de sol séché au four est placé à l'intérieur du flacon de densité, puis le flacon est pesé avec le bouchon pour extraire le poids du sol (b).

-Remplissez la bouteille jusqu'au milieu avec de l'eau distillée et placez-la sur un bain-marie à ébullition pendant dix minutes, en remuant continuellement de temps en temps pour chasser l'air du sol (c).

-La bouteille est refroidie à température ambiante et complètement remplie d'eau distillée, puis le bouchon de la bouteille est retourné, essuyé et séché de l'extérieur, puis pesé et nous lui attribuons le symbole (d).

La densité réelle s'exprime par la formule :

$$dr = (b-a) / ((b+d)-(a+c)) \text{ g /cm}^3$$

Sachant que;

**a** = le poids de pycnomètre vide

**b** = le poids de pycnomètre contenant le sol à étudier (15g environ).

**c** = le poids de pycnomètre + sol + eau distillée dégagée.

**d** = le poids de pycnomètre rempli d'eau.



**Figure III-5 : Pycnomètre utilisé pour la détermination de la densité réelle de nos échantillons (Photo original )**

### **Densité apparente (da)**

Le cylindre est placé verticalement sur la surface du sol de manière à ce que le bord tranchant soit vers le bas sur une zone plane de la surface (à condition que ce sol soit représentatif de la zone et exempt de pierres et de graviers). Le cylindre est pressé par le haut avec un marteau jusqu'à ce qu'il soit complètement enfoui dans le sol, (Fig III-6) puis l'excès de sol est extrait et retiré des deux côtes du cylindre. (le haut et le bas avec une lame tranchante) le cylindre avec le sol est transporté au laboratoire et placé dans le étuve à une température de (105 °C) pendant 24 heures, puis le cylindre est pesé avec le sol et son poids est enregistré on obtient la masse volumique apparente du sol comme dans l'équation suivante :

$$da = Ps / Vt.$$

**P** : le poids sec de la terre, il est obtenu après séchages à l'étuve à 105°C pendant 24 heures.

**Vt** : le volume de la terre à l'intérieur du cylindre

Le volume d'un cylindre =  $\pi(r)^2 \times h$

$\pi$  = rapport constant 3,14

**r** = rayon du cylindre

**h** = hauteur du cylindre



**Figure III-6** : Cylindre enforcé dans le sol ([https://agripsol-prjet-agroforestrie .net](https://agripsol-prjet-agroforestrie.net))

### III-3-2-3-L'analyse granulométrique

Les constituants minéraux sont séparés selon leur taille, c'est l'analyse granulométrique du sol. On distingue ainsi les argiles de taille inférieure à 2  $\mu\text{m}$ , les limons fins entre 2 et 20  $\mu\text{m}$ , les limons grossiers entre 20 et 50  $\mu\text{m}$  et les sables de 0,05 mm (50  $\mu\text{m}$ ) à 2 mm ; leur proportion relative définit la texture du sol. La fraction grossière du sol, les sables et les limons grossiers, est appelée le squelette du sol (**Mathieu, 2009**).

Dans notre étude, nous nous sommes appuyés sur la méthode Pipette Robinson qui peut être utilisée pour un échantillonnage précis de l'argile et du limon (A + Lf). Alors que le sable grossier est traité par tamisage, ces processus ont lieu après la destruction des matières organiques et du ciment minéral, (calcaire) par le peroxyde d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) et l'acide chlorhydrique (HCl) ainsi que la dispersion de particules (colloïdes) à l'aide d'une solution d'hexa-méta-phosphate sodium

### III-3-3- Les analyses chimique des sols :

#### III-3-3-1-pH du sol :

Le pH est un mode d'expression de la concentration en ions H d'un liquide (au laboratoire, il s'agira du liquide surnageant dans un bécher, après agitation d'une certaine quantité d'échantillon de sol dans de l'eau distillée ). Il s'exprime selon une échelle de 0 à 14 (**Baize, 2000**).

Acidité potentielle ou (pH KCl) : C'est la quantité d'ions H<sup>+</sup> qui ont été traités sur un complexe adsorbant du sol pour que l'on mesure la masse d'ions H<sup>+</sup> remplaçables. Cette mesure donne une indication sur le pouvoir tampon du sol.

Pesez 10 g de sol sec dans un bécher de 100 ml, ajoutez 25 ml d'eau distillée et mettez-le sur un agitateur rotatif pendant 5 minutes (**Mathieu et Pieltain, 2003**).

La mesure se fait à l'aide d'un pH-mètre (le pH-mètre est calibré à l'aide d'une solution tampon (eau distillée pH = 7) (**Fig III-7**)

**Le pH (Kcl)** est mesuré de la même manière que le pH (eau), mais la mesure est lue après un certain temps jusqu'à ce que la réaction se produise dans le composé organique humique et l'échange d'iones

**Le pH eau, pH kcl** est mesuré par voie électro métrique sur une suspension aqueuse dont le rapport sol /eau (respectivement : sol /solution Kcl ) = (1/2,5)



**Figure III-7 :** pH –mètre utilisé par la détermination de pH de nos échantillons analysés  
(photo original)

#### III-3-3-2-La conductivité électrique

Elle représente la quantité des sels solubles dans la solution du sol, on mesure la conductivité électrique par un conductimètre dans une suspension (sol/eau de 1/5)

La conductivité électrique d'une solution est la conductance de cette solution mesurée entre des électrodes de 1 cm<sup>2</sup> de surface, distantes de 1 cm . La conductance s'exprimait en mhos et la

conductivité en mhos / cm Dans le cas des sols salés, elle était exprimée en milli mhos par centimètre (mmhos / cm ) (Baize , 2000 ).



**Figure III-8 :** Conductivité-mètre utilisé pour la détermination du la CE de nos échantillons  
(photo originale)

### III-3-3-Calcaire total

Nous avons utilisés le calcimètre de Bernard, qui est représentée par (Fig III-9)

La quantité totale de calcaire est déterminée par la méthode gazométrique, moyennant le calcimètre de Bernard décrite, en dosant la quantité totale des carbonates. Le principe est basé sur le volume de gaz carbonique dégagé lors de l'attaque d'un échantillon de terre par l'acide chlorhydrique dilué. Cette technique est basée sur le dosage des carbonates dont la quantité est proportionnelle au volume de  $\text{CO}_2$  dégagé lors de leur réaction avec l'acide chlorhydrique

(Benahmed, 2017).

#### *\*Etalonnage de l'appareil ou essai témoin*

Introduire 0,3 g de  $\text{CaCO}_3$  pur et sec au fond de l'erlenmeyer et mouiller par quelques gouttes d'eau distillée, Mettre 5 ml d' $\text{HCl}$  1/2 C à l'intérieur de l'embout, Boucher hermétiquement l'erlenmeyer et ajuster la position de l'ampoule mobile jusqu'à ce que le niveau du liquide coloré soit au niveau 0 dans la colonne graduée, Vider l'acide chlorhydrique sur le calcaire pur et sec en inclinant légèrement l'erlenmeyer, Agiter pour favoriser la réaction, Suivre la course du liquide coloré dans la colonne graduée en abaissant l'ampoule, Ajuster les deux niveaux (ampoule-colonne) A la fin de l'effervescence, noter le volume de  $\text{CO}_2$  dégagé en **ml = V**

#### *\*Dosage du $\text{CaCO}_3$ de l'échantillon de sol*

Remplacer le  $\text{CaCO}_3$  pur et sec par 1 g de sol (la prise d'essai P set variable suivant la richesse de l'échantillon en  $\text{CaCO}_3$  et on la détermine de telle sorte que le volume de  $\text{CO}_2$  qui s'en dégage, se rapproche du volume obtenu dans l'essai témoin), Puis opérer de la même façon que pour le témoin, A

la fin du bouillonnement, abaisser l'ampoule mobile pour ajuster deux niveaux du liquide coloré dans celle-ci et dans la colonne graduée, Noter le volume de CO<sub>2</sub> dégagé en **ml = v**

Les calculs se font comme suit

Le taux de **CaCO<sub>3</sub> total (%) =  $(p' \cdot V) / (P \cdot V) \cdot 100$**

Sachant que :

**P:** Poids de prise d'essai de l'échantillon.

**P':** Poids de CaCO<sub>3</sub>

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

**v :** Volume de CO<sub>2</sub> dégagé par CaCO<sub>3</sub>



**Figure III-9 :** Calcimètre de Bernard (utilisé pour analyse du calcaire total) (*photo original*).

#### III-3-3-4-Calcaire Actif

**Drouineau-Galet (1942)** Le taux du calcaire actif est plus important à connaître que celui du calcaire total C'est la forme de calcaire qui peut passer dans la solution du sol sous l'action de l'eau chargée de CO<sub>2</sub> et d'acides humiques . Sa détermination est faite selon la méthode **Drouineau-Galet (1942)**, utilisant l'oxalate d'ammonium pour complexer le calcium sous forme d'oxalate de calcium insoluble. L'excès d'oxalate d'ammonium est dosé par le permanganate de potassium en milieu sulfurique (**Zemoura , 2005**).

##### **\*Mode opératoire**

- Prélever 20 ml de la solution d'extraction (**filtrée**) ,les verser dans un bécher de 250 ml
- Ajouter 5 ml d'acide sulfurique concentré.

- Chauffer jusqu'à l'ébullition (70°C).
- Titrer avec la solution de permanganate de potassium jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistante (**Fig III-10**)
- Répéter les opérations précédentes mais sans sol, pour faire un témoin (20 ml d'oxalate d'ammonium + 5ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → Chauffer → Titrer avec le permanganate de potassium)

#### \*Calcul

$$\text{CaCO}_3 \text{ (Actif \%)} = (n' - n) \times \left(\frac{V}{v}\right) \times 0.01 \times \left(\frac{100}{P}\right)$$

- V = Volume d'extraction (250 ml)
- V = volume prélevé du filtrat (20 ml)
- P = prise d'essai de terre (2.5 g)



**Figure III-10 : Titrations lors de mesure du calcaire actif des sols analysés (photo original)**

#### III-3-3-5- Le gypse

Le gypse est présent dans les sols sous forme de sulfate de calcium dihydraté (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O). Une forme transitoire de sulfate de calcium semi-hydraté (CaSO<sub>4</sub> · 0,5H<sub>2</sub>O) se trouve parfois à la surface du sol dans des climats extrêmement secs. Les cristaux de gypse se dissolvent en partie dans l'eau pour atteindre une concentration à saturation d'environ 30 méq.

La vitesse de dissolution du gypse dans l'eau augmente à mesure que les particules deviennent plus fines. L'échantillon de sol doit donc être finement broyé avant l'analyse de la teneur en gypse. Diverses méthodes ont été développées pour la détermination de la teneur en gypse dans les sols (**FAO, 1990**).

Il existent plusieurs méthodes de détermination du gypse dans le sol qu'on cite :

La méthode **BaCl<sub>2</sub>** a été utilisée. Cette méthode est basée sur la détermination du taux de sulfate par calcination puis sur le calcul du taux de gypse.

- Peser 5g de sol sec et verser dans une fiole conique de 300ml
- Ajouter 100mL d'une solution de carbonate d'ammonium et chauffer 15mn à ébullition Filtrer, laver le filtre avec l'eau bouillante Acidifier par l'acide chlorhydrique, porter à ébullition à ce moment là précipiter par quelques mL d'une solution bouillante de BaCl<sub>2</sub> Laisser reposer Filtrer sur filtre, laver à l'eau jusqu'à élimination des ions Cl<sup>-</sup> Sécher, calciner à 900 °C puis peser Le taux de gypse se calcule comme suit :

$$\text{Donc \% de CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = p \cdot 1.476$$

### III-3-3-6-Les sels soluble

Il s'agit de :

#### a) Chlorure (méthode de Mohr)

La méthode de Mohr est utilisée pour le dosage direct des halogénures en solutions neutres ou faiblement alcalines. La solution d'halogénure est titrée par la solution de nitrate d'argent, en présence du chromate de potassium comme indicateur. Au point d'équivalence, le chromate de potassium forme avec l'ion d'argent (après la précipitation totale de l'halogénure d'argent), le chromate d'argent, précipité rouge-brique. Le virage se produit de jaune à jaune-brun pâle (beige, nuance du café au lait).

La titration est effectuée à froid dans des solutions neutres (pH = 6 - 10 ) parce qu'en milieu acide le chromate d'argent est soluble (**Sandulescu, 2020**).

si pH > 10, les ions Ag<sup>+</sup> qui constituent le réactif précipitent sous forme d'hydroxyde d'argent, dans ce cas, une quantité du réactif est consommée, ce qui conduit à des erreurs par excès. C'est pour ces raisons que le pH de la prise d'essai doit être corrigé.

Si l'échantillon est acide, on opère en présence de carbonate de sodium.

Si l'échantillon est basique, on acidifie au préalable par l'acide acétique (**Brisset et al, 2011**).

- Prélever 10 ml de la solution d'extraction.
- Ajouter 10 gouttes de la solution de chromate de potassium (K<sub>2</sub> Cr<sub>2</sub> O<sub>4</sub>) N 5 %.
- Titrer avec AgNO<sub>3</sub> 0.01 N jusqu'à l'apparition d'une couleur rouge (**Fig III-11**)



**Figure –III-11 : Titration de  $\text{Cl}^-$  par  $\text{AgNO}_3$  (photo original)**

### **b) Carbonate et bicarbonate**

Les ions carbonate dissous ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) dans le sol sont considérés comme très toxiques pour les plantes, et leur présence dans l'extrait aqueux du sol en toute proportion est la preuve de ses mauvaises propriétés. Cet ion se trouve dans les extraits de sol alcalins ou salins qui contiennent un pourcentage élevé de sodium adsorbé ( $\text{HCO}_3$ ) on le trouve dans la plupart des extraits de sol sous forme de bicarbonate des éléments alcalins  $\text{Na HCO}_3$   $\text{K HCO}_3$ , et alcalino-terreux 2 ( $\text{MEHCO}$ ),  $\text{Ca (HCO}_3)$ .

La présence de l'ion bicarbonate à un un taux supérieur à 1,4 méq dans 100 grammes de sol indique qu'il dépasse la limite critique.

La méthode utilisée (méthode de titrage) repose sur le titrage des carbonates d'abord dans un volume spécifique d'extrait de sol avec une solution d'acide sulfurique de concentration connue , et en présence de phénolphtaléine jusqu'à ce que la couleur passe du rose clair à l'incolore en fin de titrage quant au titrage du bicarbonate, il se fait dans le même béccher, par titrage à l'acide sulfurique, et en présence de méthyle orange , qui change de couleur à la fin du titrage du jaune à l'orange (**Odeh et Shamsham , 2008**).

#### **\*Mode opératoire**

- Prélever 10 ml de la solution d'extraction
- Ajouter 3 gouttes de phénolphtaléine : s'il y a une coloration rose , il y a les carbonates .
- Titrer avec l'acide sulfurique jusqu'à la disparition de la couleur rose.
- S'il n'y a pas une coloration de la solution ; il y a les bicarbonates . Ajouter des gouttes (3-4) de l'indicateur coloré méthyle orange et titrer avec l'acide sulfurique jusqu' à l'apparition de la coloration orange ( changement de la coloration : jaune =orange).

(**Fig III-12**) et on enregistre le volume déplacé d'acide sulfurique (**Mathieu et Pieltain , 2003**).

**\*Calcul**

$$\text{Bicarbonates (HCO}_3\text{)m}\acute{\text{e}}\text{q /l} = \frac{x \cdot 0.005 \cdot 1000}{y}$$

- x : volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> utilisé pour la titration .
- y : volume de la solution du sol ,10ml



**Figure III-12 : Titration de Carbonate et bicarbonate (photo original)**

**c) Sulfate**

Le sulfate soluble peut être titré sur l'extrait aqueux pour la détermination des sels solubles. Cet extrait ne rendra quantitativement compte du sulfate de calcium que dans le cas de faibles teneurs en sulfate. Il en va de même pour les sulfates de baryum ou de strontium précipités avec du carbonate de calcium. Sulfates basiques de fer et d'aluminium, coquebine (Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · 5H<sub>2</sub>O) et jacobite KFe(OH)(SO<sub>4</sub>) ne sont pas solubilisés et ne sont donc pas comptabilisés avec les sulfates solubles. Pour les études agronomiques, une gamme d'extraits salins peut également être utilisée pour caractériser les sulfates échangeables et solubles (**Pansu et Gautheyrou, 2007**).

- Préparer 50mL de la solution d'extraction.
- Chauffer jusqu'à 80°C ° une plaque chauffante.
- Ajouter goutte à goutte une solution de **BaCl<sub>2</sub>** à 10 % jusqu'à la précipitation totale des sulfates.
- Filtrer sur papier sans cendre. Laver le béccher avec 40 ml d'eau distillée.
- Chauffer et ajouter quelques gouttes de BaCl<sub>2</sub> puis filtrer sur le même filtre.
- Mettre le papier filtre sans cendre une capsule carrée numérotée dans un four à 550°C ° pendant 2 heures . Laisser refroidir puis peser la capsule (**Mathieu et Pielain, 2003**).
- Le taux de sulfate se calcule comme suit :

$$\text{SO}_4 \text{ meq/100g} = V' / V \cdot P' / P \cdot 100 D$$



Figure III-13: Capsule de sulfate (photo original)

### III-3-4-Analyse biologique

#### III-3-4-1- détermination du carbone organique (méthode de Walkley Black)

La détermination du carbone organique (méthode de Walkley Black) repose sur la décomposition des molécules organiques par une solution d'acide sulfurique  $H_2SO_4$  additionnée de bichromate de potassium.

Le carbone ainsi libéré se fixe au bichromate, si bien que la détermination du bichromate en excès par titration avec du sulfate de fer et d'ammonium permet de déduire la quantité de carbone présente dans l'échantillon (Soutter et Musy, 1991).

Dans un échantillon peut être déterminée par oxydation avec des solutions fortement oxydantes. L'oxydation rapide de la matière organique avec du bichromate est la méthode standard de chimie humide. La méthode **Walkley-Black** est la plus connue des méthodes d'oxydation rapide du dichromate et a été la méthode de référence pour d'autres méthodes dans de nombreuses études.

Elle est largement utilisée parce qu'elle est simple, rapide et nécessite peu d'équipement. De cette manière, 75% de la matière organique du sol est oxydée, où le processus d'oxydation a lieu au moyen d'une solution de bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) utilisant de l'acide sulfurique concentré comme assistant du processus d'oxydation. Pour estimer la matière organique, on prend un poids connu du sol (1 g), puis le carbone organique est oxydé par ajout de 10 ml de dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ), puis l'excès de dichromate est titré avec du sulfate ferreux [ $Fe(SO)_4 \cdot 7H_2O$ ] d'un calibre de 0,5 N, qui après l'ajout fonctionne pour changer la couleur de la solution en une couleur bleu-vert à la fin de la réaction montrée sur la (Fig III-14) et l'oxydation a lieu en présence d'acide sulfurique concentré (en tant qu'agent oxydant), qui, lorsqu'il est ajouté, agit pour élever la température de la suspension du sol et des dichromates, ce qui aide à compléter le processus d'oxydation. Pour le carbone organique sur la base

duquel le pourcentage de La matière organique est calculée après avoir multiplié la valeur en pourcentage de carbone organique par un facteur spécial de **(1,72)**, étant donné que la matière organique contient 58 % de carbone organique **(Knodel et al, 2007)**.



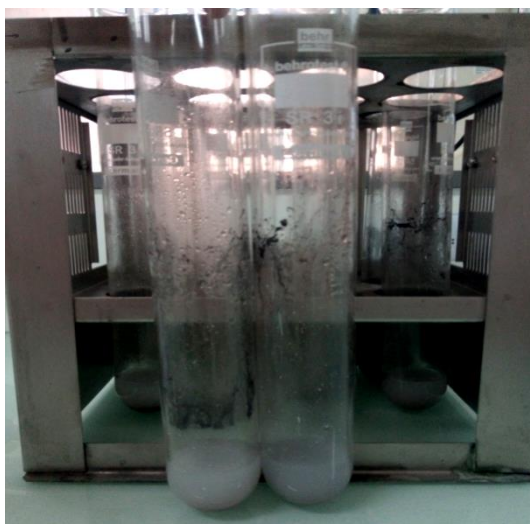
**Figure III-14:** Une des étapes de détermination du taux du MO dans nos sols analysés **(photo original)**

#### III-3-4-2- détermination l'azote total par la méthode de Kjeldahl

L'azote total est estimé par la méthode de Kjeldahl **(Fig III-18)** en trois étapes fondamentales

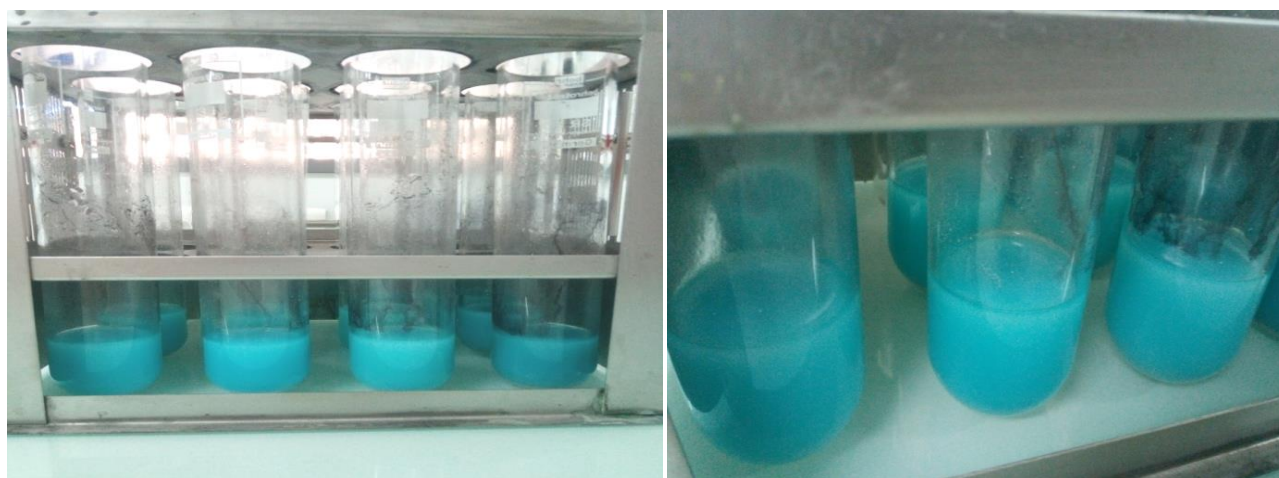
##### **Étape de digestion :**

Au cours de laquelle les formes azotées, qu'elles soient organiques ou nitrées, sont transformées en ammoniac en chauffant l'échantillon de sol avec un mélange d'acide sulfurique concentré. Les silicates existent en présence de sels tels que  $\text{KSO}_4^{-2}$  ou  $\text{NaSO}_4^{-2}$ , qui augmentent la température requise pour terminer le processus de digestion, ainsi que de catalyseurs tels que le mercure, le cuivre, le cuivre, le sélénium ,Ceux-ci augmentent le taux d'oxydation de la matière organique avant de commencer le processus de distillation, après l'achèvement du processus de digestion et après le refroidissement de les matras nous remarquons l'apparition de la couleur grise montrée sur **(Fig III-15 )**



**Figure III-15 :** les matras contenant la couleur grise (photo original)

Nous agitions les flacons pour mélanger les solutions précipitées et ajoutons de l'eau distillée à un à raison de 20 ml pour chaque matras et on remarque l'apparition d'une couleur bleue (Fig III-16) On attend que ça refroidisse et on fait le processus de filtration dans un flacon d'une contenance de 100 ml. Après filtration, on complète avec de l'eau distillée jusqu'à 100 ml. Ensuite, nous prenons 20 ml du filtrat et y ajoutons 20 ml d'hydroxyde de sodium, puis nous effectuons le processus de distillation avec de l'acide borique.



**Figure III- 16 :** L'apparition de la couleur bleue dans matras après ajout d'eau distillée (photo original)

### ***Distillation :***

dans cette étape, l'ammoniac est libéré par distillation du produit du processus de digestion (étape de digestion) dans un milieu alcalin en présence de HBO et l'ammoniac résultant est reçu dans l'acide borique, où l'ammoniac neutralise une partie de l'hydrogène dans acide borique.

**Étape de neutralisation :** du Na OH : où l'acide borique est à nouveau neutralisé avec une solution standard d'acide sulfurique 0,005N ( $H_2SO_4$ ) et en présence d'un indicateur mixte, et le point final de la

réaction est déduit en changeant la couleur de la solution au couleur violette montrée sur (Fig III-17) , alors mille équivalents d'acide borique peuvent être déterminés, soit mille équivalents de l'azote total présent dans l'échantillon



**Figure III-17** : L'apparition de la couleur violette après titrage avec de l'acide sulfurique (photo original)



**Figure III-18** : Appareil de Kjeldahl (مظفر احمد الموصلي. 2020.)

---

***CHAPITRE IV : Résultats***

***Et***

***discussion***

---

**IV-1- Introduction :**

Dans le troisième chapitre, nous avons présenté les travaux effectués au laboratoire (analyses physiques, chimiques et biologiques) de nos deux profils (**P1** et **P2**) de la zone d'étude Mezrir (commune de M'Sila) et les résultats trouvés sont présentés en détails dans le présent chapitre.

Pour les deux profils étudiés, on commence par la présentation et description morphologique puis on passe aux résultats et leurs éventuelles interprétations.

**IV-2- Description des profils de la zone de Mezrir (W de M'Sila) :****IV-2-1-Profil 1 :**

Pour l'environnement du premier profil, on a les données :

- Longitude : **4° 33' 08"**
- Latitude : **35° 38' 26 "**
- Exposition : Pente (en %) : **< 2%**
- Temps : Ensoleillé, ciel dégagé
- Géologie : Alluvion
- Végétation : Sol nu (presque dépourvu même.

En ce qui concerne sa description morphologique, on s'est basé sur l'observation et la description de certains caractères morphologiques (profondeur du profil ainsi des horizons, couleur, texture, structure, porosité et perméabilité, matière organique, présence ou absence des sels). A la fin on a déduit que le profil P1 se caractérise par la présence de cinq horizons (P1 H1, P1 H2, P1 H3, P1 H4 et P1 H5)

**(Fig VI-1)**

De l'observation et de la caractérisation détaillée des cinq horizons du premier profil, on a :



**Figure VI-1:** photo originale du P1

**P1 H1 (0-33cm):** La couleur est jaune orangé mat (**10YR (6/4)**, dull yellow orange), absence de cailloux et petits cailloux, peu de racines fines mortes, pas de signe d'activité biologique, résistance moyenne au pénétromètre (3), horizon uniforme avec des taches blanches probablement des sels, forte effervescence à l'acide hydraulique, grâce à un test tactile on pense que la texture est soit Argilo limoneuse ou limoneuse.

**P1H2 (33-54 cm):** La couleur est orange jaunâtre mat (**10YR (5/3)**, dull yellowish brown), cohésif, résistance plus élevée à l'introduction du pénétromètre par rapport à l'horizon précédent (4,4), absence des éléments grossiers et de système racinaire, ainsi que d'activité biologique, structure grumeleuse, présence de taches blanches, effervescence supérieur à l'acide hydraulique que le premier horizon, horizon comprimé, par test de toucher la texture est peut être argilo limoneuse

**P1H3 (54-65 cm):** La couleur est brun jaunâtre mat (**10YR (5/4)**, dull yellowish brown), intensité du pénétromètre est de 2,75, absence de racines fines et d'activité biologique, présence des taches blanches, du test tactile on propose que la texture est argilo limoneuse, avec effervescence plus élevée à l'acide chlorhydrique.

**P1H4 (65-87cm):** De couleur brun jaunâtre mat (**10YR (5/4)**, dull yellowish brown), intensité du pénétromètre est de 3.25, l'horizon est plus cohésif. effervescence à l'HCl, texture Argilo limoneuse (visqueuse et compacte).

Pour **P1H5 (87-112 cm)**, la couleur est aussi brun jaunâtre mat (**10YR (5/4)**, dull yellowish brown), de texture argilo limoneuse, structure granuleuse, forte effervescence à l'HCl, taches blanches probablement de sel moins que les horizons précédents, dureté 2,6, absence d'activité biologique on remarque aussi que c'est un horizon visqueux et comprimé.

On a remarqué aussi par le toucher des horizons qu'on a trouvé une sensation à l'humidité à partir du troisième horizon qui augmente au sens de la profondeur.

Comme interprétation éventuelle de ce qui a été évoqué on propose que notre profil est de type ABC.

L'horizon A, représente l'horizon superficiel. L'horizon B (appelé aussi horizon d'accumulation), résultant d'un processus de dépôt vertical de substances et qu'avec le temps est devenu compact (difficile à pénétrer). Au-dessous de la couche réelle et au-dessus du matériau d'origine se trouve l'horizon (C).

**IV-2-2-Profil 2 :**

Caractérisé par :

- Longitude : 4° 32' 48"
- Latitude : 35° 38' 58"
- Exposition : Pente (en %) : < 2%
- Temps : Ensoleillé à ciel dégagé
- Géologie : Alluvion
- Végétation : Sol dépourvu de végétation.

Pour la description et caractérisation morphologique on a remarqué :



**P2H1 (0-36 cm) :** la couleur est jaune orangé mat (**10YR (6/3)**, dull yellow orange), le test de toucher montre que la texture est argilo-limoneuse, la structure paraît grumeleuse, effervescence à l'HCl, traces de présence moyenne de matières organiques (représentées par quelques racines de végétation naturelle, porosité moyenne, horizon d'humidité faible, dureté (1,5 par utilisation du pénétromètre, pas d'éléments grossiers, présence des taches blanches (sel) et de calcaire.

**P2H2 (36 -61 cm) :** la couleur est la même que celle du premier horizon (**10YR (6/4)**, dull yellow orange), texture argilo limoneuse, effervescence grumeleuse à l'acide chlorhydrique, absence de matière organique, faible porosité, légère augmentation de l'humidité comparativement à l'horizon précédent, absence d'éléments grossiers, dureté de 1,5, peu visqueux, contenant sel et de la calcite.

**P2H3 (61-80cm) :** De couleur jaune brun mat (**10YR (5/3)**, dull yellow brown), texture argileuse ou Argilo limoneuse, forte effervescence à l'HCl, absence de matière organique, faible porosité, absence d'élément grossier, augmentation de l'humidité, quelques taches blanches, horizon visqueux et compact.

**P2H4 (80cm et plus):** la couleur jaune-orange terne (**10YR (6/3)**), compact et humide, texture argilo-limoneuse, effervescence à l'acide, dureté de 2,25, absence de matière organique et d'activité biologique, la présence continue de taches blanches.

**Figure VI-2 : photo original du deuxième profil**

En ce qui est du type sol du deuxième profil, on peut juger qu'il est de Type ABC aussi.

Les horizons P2H2 et P2H3 représentent l'horizon B, caractérisées par une présence abondante de matière minérale (argile), une faible porosité, fortement comprimé et une présence de sels. La présence de calcaire au dernier horizon (C) indique que la roche mère dans cette région d'étude est probablement calcaire.

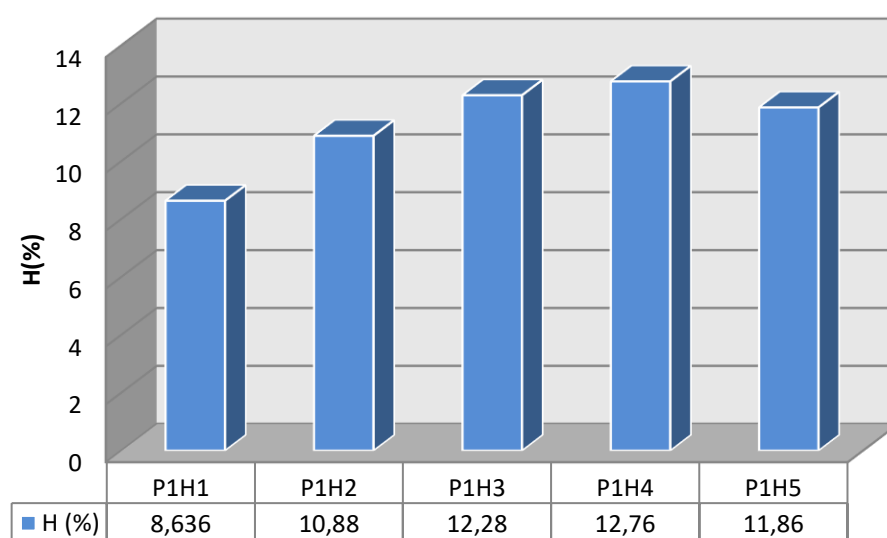
### IV-3-Caractérisation analytique du premier profil (P1) :

#### IV-3-1-Humidité :

Les résultats d'analyse de ce paramètre pour les cinq horizons sont présentés dans la (Fig IV-3).

On remarque que l'humidité augmente dans le sens de la profondeur du premier au quatrième horizon, avec les valeurs de **8,63%**, **10,88%**, **12,28%** et **12,76%** respectivement pour **P1H1**, **P1H2**, **P1H3** et **P1H4**. Puis affiche une faible diminution (**11,86**) au niveau de **P1H5**.

Cela est peut être dû à l'exposition de l'horizon superficiel aux conditions climatiques (élévation de température qui provoque l'évaporation et par conséquent la perte d'une certaine quantité d'eau), en contre partie, la présence de l'argile (qui est connu par sa grande capacité de rétention en eau) dans les horizons inférieurs, et l'un de ses avantages est la rétention d'humidité, ainsi qu'après les couches de la surface, où la température diminue et le taux de rétention d'humidité augmente.



**Figure IV-3:** Valeurs enregistrées de l'humidité dans les cinq horizons du premier profil (Mezrir)

#### IV-3-2-Porosité :

Comme on a déjà expliqué au troisième chapitre, on n'a pas de méthodes d'analyse par les quelles on trouve directement les valeurs de porosité des sols, on doit déterminer les deux densités ; apparente et réelle, qu'à partir de quelle on calcule la porosité.

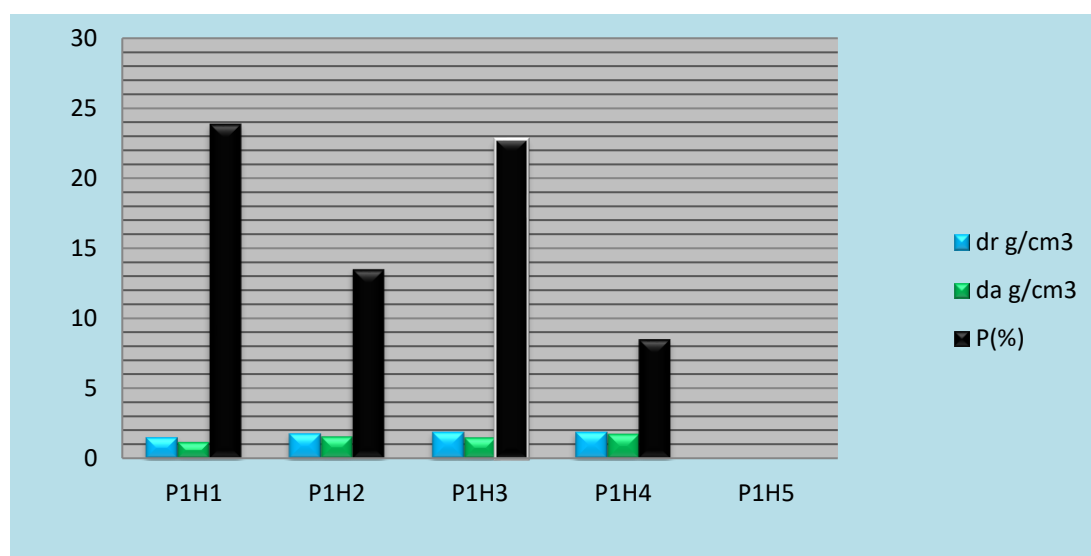
La mesure des densités (**da** et **dr**) de l'horizon P1 affiche les résultats mentionnés dans le tableau qui suit (**Tab IV-1**), et la figure (**Fig IV-4**)

**Tableau IV-1:** Résultats des densités apparente et densités réelle et aussi de la porosité de chacun des cinq horizons du premier profil

|                              | <i>P1H1</i> | <i>P1H2</i> | <i>P1H3</i> | <i>P1H4</i> | <i>P1H5</i> |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>dr (g/cm)<sup>3</sup></i> | 1.5107      | 1.78        | 1.89        | 1.89        | /           |
| <i>da (g/cm<sup>3</sup>)</i> | 1.15        | 1.54        | 1.46        | 1.72        | /           |
| <i>P (%)</i>                 | 23.88       | 13.48       | 22.75       | 8.51        | /           |

Les valeurs trouvées de la densité apparente dans nos horizons des sols caractérisés (**Tab IV-1 et Fig IV-4**) montrent quelle est (*da*); faible au premier horizon, modérée au deuxième et troisième et enfin à l'avant dernier horizon (selon les normes proposées par (**Hazelton et Murphy, 2007**) (**annexe I Tableau 05**))

Pour la densité réelle, les valeurs diminues de haut en bas dans un intervalle de **1.51 à 1.89**.



**Figure IV-4 :** Présentation de la porosité de chacun des horizons du premier profil

Ajoutant aussi que dans notre premier profil, on remarque que la porosité suit des rabattelements (tantôt élevée tantôt faible), passant d'une valeur de **23.88 %** qui est la plus élevée au niveau du premier horizon, à celle de **13.48% pour P1H2**, puis on trouve une augmentation (**22.75**) à **P1H3**. La plus faible valeur (**8.51**) est rencontrée aux derniers horizons **P1H4 et P1H5**.

Il ressort des travaux de terrain que ces valeurs sont relative à des fortes teneurs en argile qui a provoquer une compaction visible et ressentie lors de prélèvement des cylindre et des échantillons destinées à l'analyse. On ajoute aussi l'éventuelle richesse des horizons de ce profil en calcaire (voir description morphologique en haut). Sans oublier que lors de la description sur terrain, on a évoqué le point de la faible présence de matière organique.

Selon les normes d'interprétation de la porosité (**ENIB, 2000**), on trouve que les horizons du premier profil peuvent être classés comme :

\*Moyennement poreux pour au niveau de **P1H2 et P1H4** ;

\*Poreux pour **P1H1 et P1H3**.

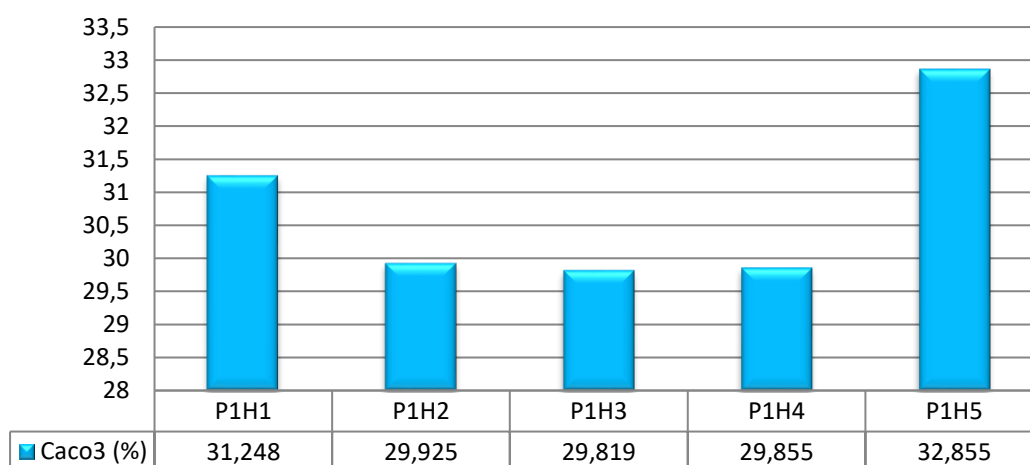
Il est à noter qu'on n'a pas de valeurs de porosité pour le 5<sup>ème</sup> horizon pour la simple raison qu'on a trouvé une très grande résistance à l'enfoncement du cylindre suite à la compaction et l'endurcissement de cette horizon.....

#### IV-3-3 -Calcaire total

A travers (**Fig IV-5**), nous remarquons que les valeurs des carbonates totaux varient en valeur au sein du profil avec des valeurs très proches les unes par rapport aux autres, elles suivent une trajectoire qui diminue dans le sens de la profondeur du premier au troisième horizon (**31.25%, 29.92%, 29.82%**), puis augmentent légèrement à nouveau avec des valeurs de 29.85% et 32.85% respectivement pour P1H4 et P1H5.

Avec ces valeurs comprises entre **25% et 50%** et par l'utilisation des normes proposées par (**Baize, 1988, annexe I Tableau 02**), notre sol est fortement calcaire dans les cinq horizons.

Nos résultats sont logiques, vu les deux conditions principales qui règnent au niveau de la zone d'étude ; le climat sec et la roche mère qui est calcaire (c'est ce qu'on a évoqué aussi dans le chapitre représentatif du milieu physique de la zone étudiée).



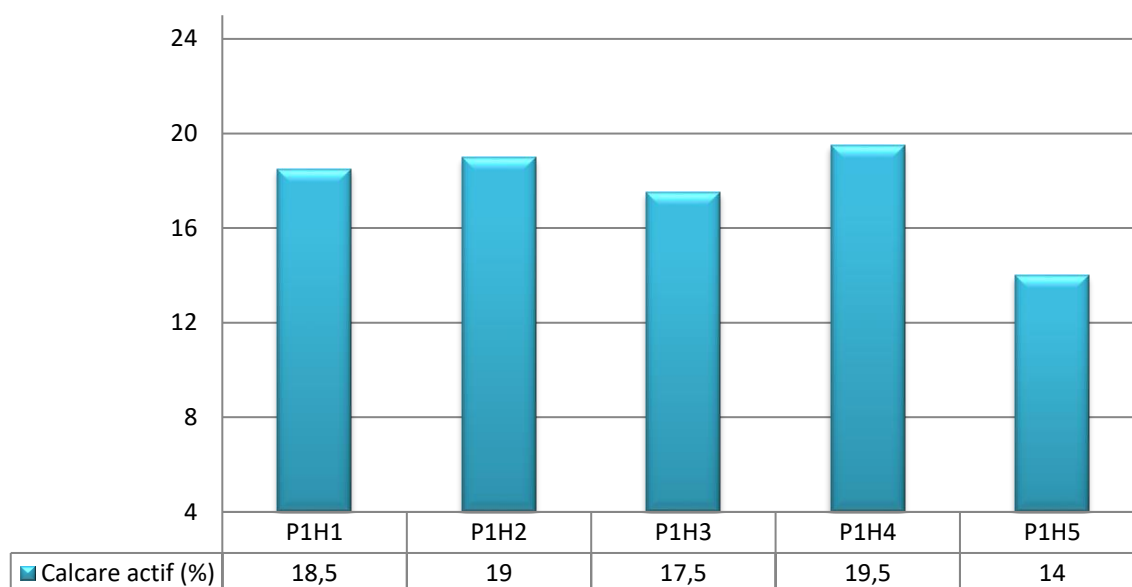
**Figure IV-5:** Représentation des teneurs en calcaire total des horizons du premier profil

#### IV-3-4-Calcaire actif

A travers les résultats précédents liés au pourcentage du calcaire total, qui était supérieur à 5%, nous avons ensuite procédé à l'analyse et au calcul du pourcentage de calcaire actif dans le sol. Les résultats

mentionnés à la figure (**Fig IV-6**) sont proches et sont aussi élevés si on les compare avec les normes adaptés par (**Baize , 1988**).

La présence modérée de calcaire actif améliore la "dureté" de l'argile- humique et stabilisant ainsi la structure, tandis que sa présence avec excès peut nuire à certaines plantes (par exemple les arbres fruitiers) (**Joseph, 2002**).



**Figure IV-6** : Les taux du calcaire actif au niveau des horizons du premier profil.

#### IV-3-5-Résultats de l'analyse granulométrique des sols du premier profil

L'ensemble des résultats des mesures des fractions granulométriques des cinq horizons du premier profil de la zone de Mezrir (commune de M'sila) sont représentés au tableau (**Tab IV-2**).

**Tableau IV-2:** Pourcentages des fractions granulométriques des horizons du premier profil

| Fractions granulométriques | P1H1 | P1H2  | P1H3 | P1H4 | P1H5 |
|----------------------------|------|-------|------|------|------|
| A (%)                      | 25   | 33    | 38.2 | 40   | 36.6 |
| Sf (%)                     | 6.04 | 4.3   | 9.9  | 5.2  | 6    |
| Sg (%)                     | 1    | 0.6   | 1.5  | 0.72 | 1.1  |
| L t (%)                    | 68   | 62.15 | 50.4 | 54   | 56.3 |

Des données précitées et en utilisant le triangle texture de (**Jamagne**), on remarque une prédominance de la fraction limoneuse Argileuse.

Texture Argileuses pour l'ensemble des horizons du premier profil est argileuse (**AL argile limoneuse**).

Ces résultats nous informent sur pas mal des éventuels comportements du sol du premier profil, qu'on cite :

\*Tenacité élevée en eau en période humide ce qui va provoquer une diminution de la fertilité physique, un éventuel engorgement en eau et une asphyxie des systèmes racinaires des plantes cultivées sans oublier la réduction des phénomènes d'activité biologique (si elle existe).

\*Toujours en période humide, nous allons remarquer une augmentation de l'élasticité et de la cohésion ce qui va rendre difficile de travailler le sol....

\*Risque la formation d'une croûte de battance...

\*Un durcissement des horizons du sol en période sèche ce qui va nuire à l'abondance et au développement des cultures....

#### IV-3-6- La réaction du sol (pH eau, pH KCl)

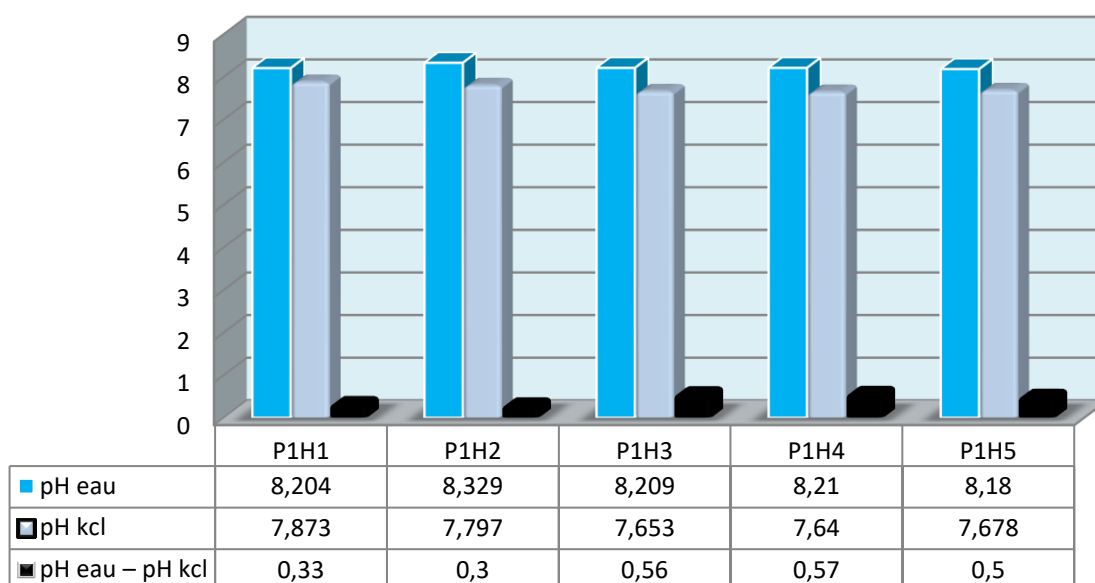
À partir de la (**Fig IV-7**), nous remarquons que les valeurs du pH de nos échantillons analysés dépassent la valeur 8. Ceci qui prouve le caractère alcalin (basique) dans l'ensemble des horizons (**Baize, 2000**).

La (**Fig IV-7**) montre la variation des valeurs de pH entre les horizons. Il s'agit d'une fluctuation (rabattements) entre augmentations et diminutions. De la surface en profondeur, le pH a marqué les valeurs de 8.20, 8.30, 8.20, 8.21 et 8.18 respectivement pour du premier au cinquième horizon.

Pour (**Cleeh, 2000**), la plante peut être gênée dans sa nutrition normale, l'assimilabilité des principaux éléments fertilisants et son développement lorsque le pH du sol dépasse 7.5. C'est le cas de notre sol étudié.

Si on se base sur la classification des sols et leurs spéculations agricoles en fonction du pH proposé par (**Gaucher, 1968**), nos sols peuvent être comme un support acceptable pour les cultures à l'exception des espèces calcifuges.

Le calcul de différence entre pH eau et pH KCl affiche des valeurs supérieures à 0.5, par lesquelles on déduit que nos sols sont dé-saturés ( $0.5 < \text{pH eau} - \text{pH KCl} < 1$ ) pour P1H3, P1H4, P1H5 et faiblement dé-saturés ( $\text{pH eau} - \text{pH KCl} < 1$ ) pour les deux profils.



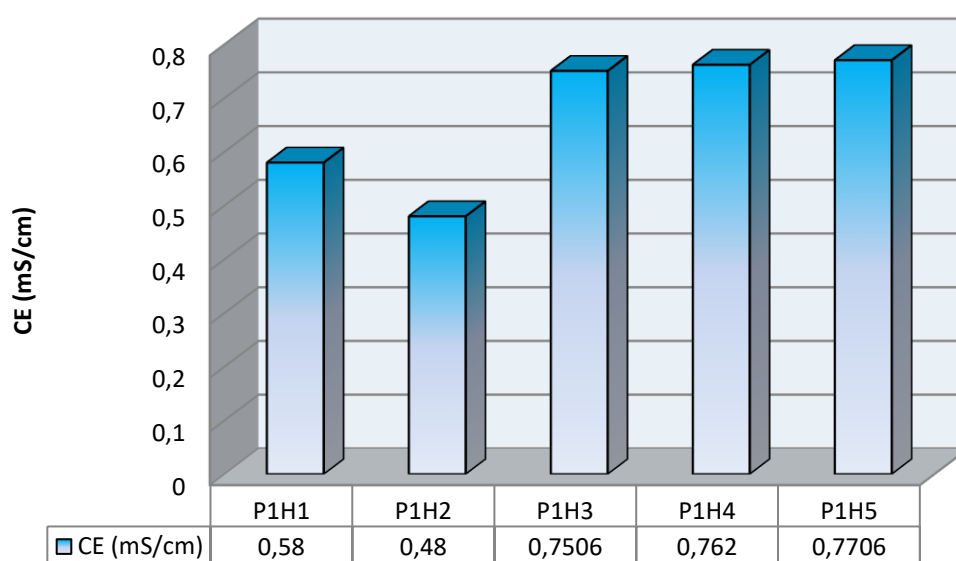
**Figure IV -7 :** Résultats du pH<sub>eau</sub> et pH<sub>KCl</sub> des horizons du premier profil.

#### IV-3-7-Conductivité électronique

L'analyse de la conductivité électrique a révélé les valeurs enregistrées dans le (Tab IV-3, Fig IV-8) qui sont les suivantes (0.58 ms/cm), (0.48ms/cm), (0.75ms/cm), (0.75 ms/cm), (0.77 ms/cm) respectivement pour P1H1, P1H2, P1H3, P1H4, P1H5 avec une valeur moyenne de (0.76 mS/cm).

**Tableau IV-3:** Représentation des résultats de la conductivité électrique (CE) des horizons du premier profil

| Horizons                      | P1H1     | P1H2     | P1H3     | P1H4     | P1H5     |
|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| CE (mS/cm)                    | 0.58     | 0.48     | 0.7506   | 0.762    | 0.7706   |
| Interprétation (Aubert, 1978) | Non salé | Non salé | Non salé | Non salé | Non salé |



**Figure IV-8:** Valeurs enregistrées de la conductivité électrique (CE) dans les horizons du premier profil

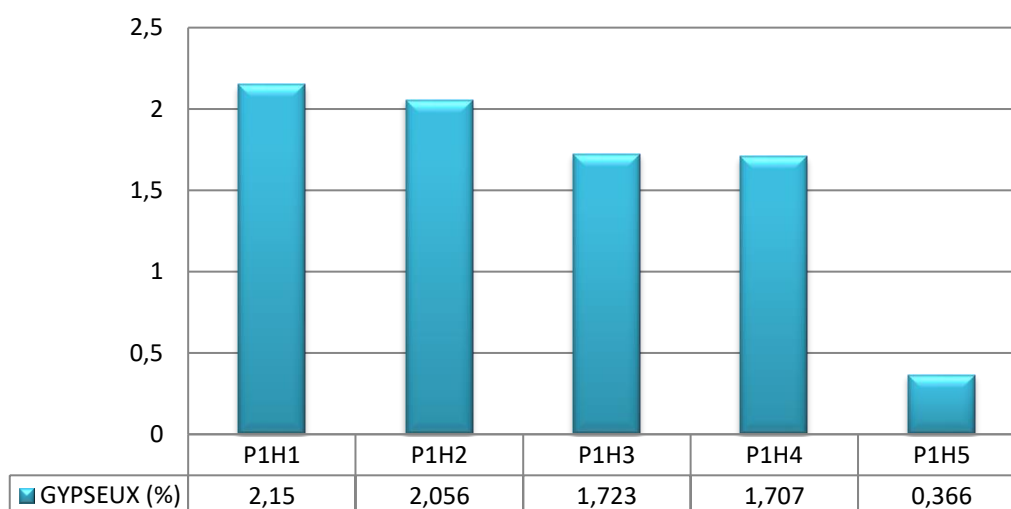
La salinité (CE) du premier profil augmente au sens de la profondeur (de haut en bas), le degré le plus élevé a été enregistré dans le dernier horizon (0.7706 mS/cm).

De nos valeurs de CE on déduit que le profil présente un sol non salé voir même non salés (normes proposées par **Aubert, 1987**).

En se basant sur le fait que notre zone étudiée n'a pas été utilisée comme support des cultures pendant plus que 4ans, donc n'a pas connu de période d'irrigation nous excluons donc la salinisation secondaire (résultante principalement de l'irrigation) ; On en déduit que salinité élevée est de l'origine des roches (salinisation primaire) et de la nature du climat sec de la région, ajoutant aussi. Et aussi la proportion élevée d'argile dans les horizons du profil surtout en période où l'humidité augmente aussi qui aide à retenir les sels et leur évaporations en périodes sèches.

#### IV-3-8- Gypse

A travers la figure (**Fig IV-9**), on constate la diminution progressive du gypse au fur et à mesure que l'on descend, d'où l'affichage d'une valeur de 2,150%, au premier horizon, arrivant au dernier horizon à une valeur de 0,36% dans le dernier horizon.



**Figure IV-9:** Représentation des pourcentages du gypse pour les horizons du premier profil

Ils existent plusieurs normes d'interprétation des valeurs de gypse enregistrées dans un horizon de sol.

\*D'après **Van Alphen et Rios Romero (1971)**, on désigne par sols gypseux, ceux à des pourcentages de gypse supérieurs à 2%. Dans ce cas, nos horizons sont considérés comme gypseux pour P1H1, P1H2 et non gypseux pour les trois horizons restants (P1H3, P1H4 et P1H5).

\*Le recours à la classification de (**Barzanji, 1973** en **annexe I Tableau 01**), nos horizons du profil P1 sont légèrement gypseux.

La majorité des chercheurs en science des sols, ainsi que ceux de la production végétale jugent que l'effet indésirable du gypse dans un sol commence à partir de 10%.

Donc on juge que notre sol (profil P1) avec son caractère légèrement gypseux n'exerce pas beaucoup d'effets négatifs (de point de vue gypse) sur son comportement, sa fertilité ainsi que sa productivité.

#### IV-3-9-Matière organique

Des analyses de la matière organique des cinq horizons de profil P1, nous avons obtenu les résultats suivants, qui sont présentés dans la figure (**Fig IV-10**)

Le pourcentage moyen de matière organique dans le premier profil était de 2,173 %. On remarque une augmentation (élévation) de pourcentage du premier (2.88%) au deuxième (3.35), suivit des valeurs 1.474, 1.608 et 1.54 pour P1H3, P1H4 et P1H5.

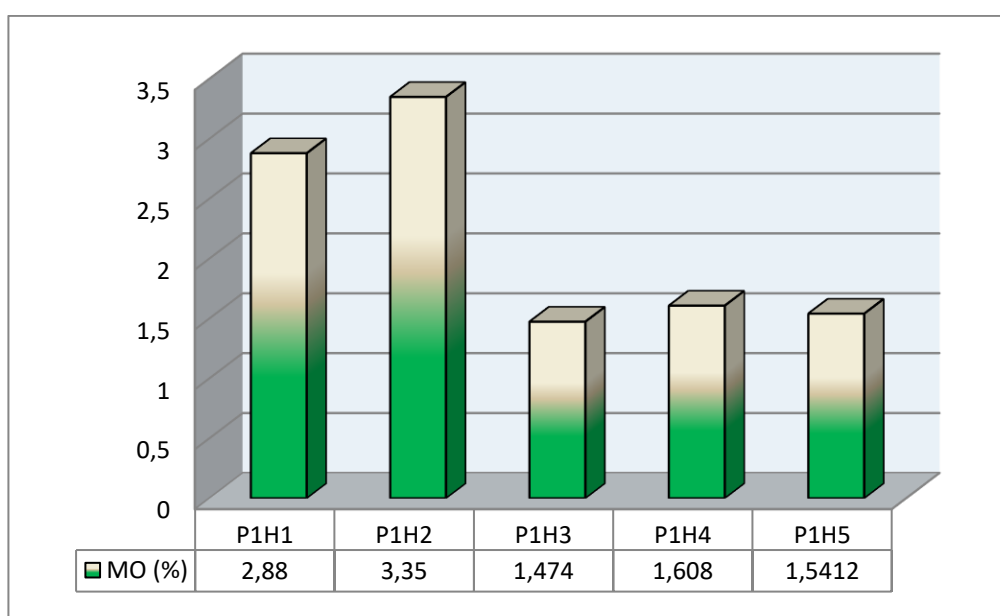
Selon les normes proposées par (**I'ITA, 1977**), on classe en fonction de présence de matière organique nos horizons en :

\*Moyennement riche en matière organique : P1H1 et P1H2 ;

\*Pauvres en matière organique : P1H3 et P1H4 et P1H5.

Cette répartition de matière organique dans les cinq horizons du profil paraît illogique de point de vue pédologique ce qui nous amène à proposer l'idée que ceci est peut être dû au retournement du sol lors du travail du sol (labours, enfouissement des engrais et des amendements avant 4ans.

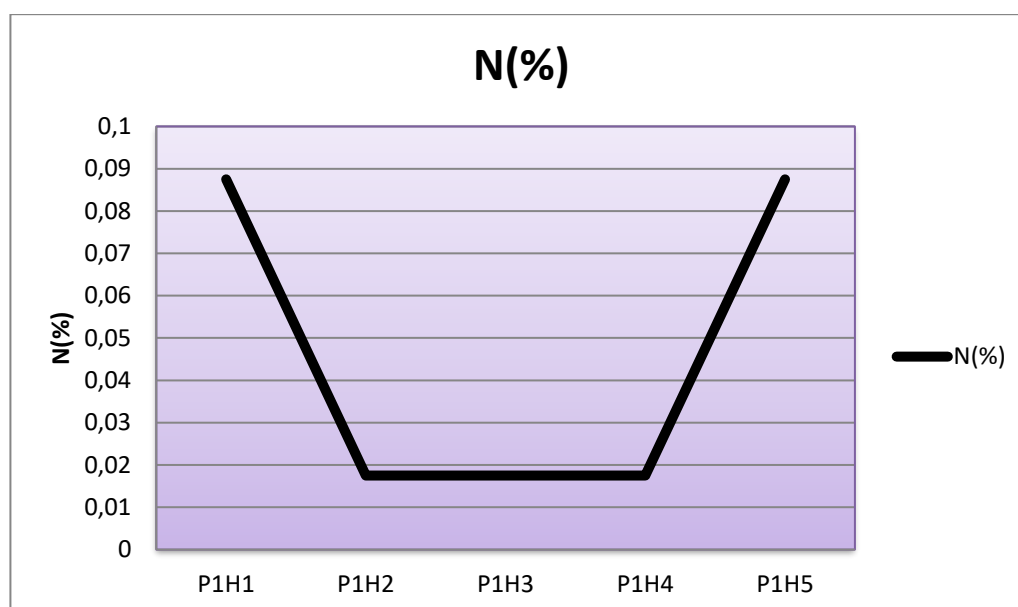
On note aussi une petite remarque, c'est que l'endroit de prélèvement était très proche de la zone où sont placés les engrais ou les engrais animaux non décomposables.



**Figure IV-10:** Taux de matière organique au premier profil

### IV-3-10-Azote total

Des analyses de l'azote total au laboratoire, on a trouvé les valeurs indiquées dans la figure ci-dessous :



**Figure IV-11:** Taux de l'azote total dans les horizons du premier profil.

On note que les valeurs d'azote affichent des pourcentages qui alternent entre 0.0875 % et 0.0175 % et ce sont plutôt faibles. C'est peut être dû au manque de la matière organique dans notre sol.

L'azote est considéré comme l'un des nutriments les plus vulnérables à la perte par lessivage surtout lorsqu'il se présente sous forme de nitrate qui se perd très rapidement en raison de sa solubilité rapide dans l'eau. Et vu que celui dernier (nitrate  $\text{NO}_3^-$ ) est un ion chargé négativement, son taux d'adsorption sur les surfaces des colloïdes est très faible (en raison de la répulsion avec la charge négative du composé humique-organique), ce qui aura comme conséquence son déplacement avec l'eau vers la profondeur, mais s'il est sous forme ammoniacal, il est adsorbé à la surface des granules d'argile extensible et résiste aux pertes par lessivage (ça ce peut qu'avec le temps, il se transforme en nitrate par l'action des micro-organismes et est donc devient exposé à la perte par lessivage).

D'après (**Calvet et Villemin, 1986**), on classe les horizons du profil P1 en:

\*H1 et H5 sol très pauvre en azote;

\*H2, H3, H4 sol pauvre en azote.

### IV-3-11-Rapport C/N

Les résultats liés à la valeur de l'activité biologique sont présentés dans le tableau (**Tab IV-4**) suivant :

**Tableau IV-4:** Résultat du calcul du rapport C/N

| Horizon | P1H1   | P1H2   | P1H3   | P1H4   | P1H5   |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N (%)   | 1.67   | 1.95   | 0.86   | 0.93   | 0.89   |
| C (%)   | 0.0875 | 0.0175 | 0.0175 | 0.0175 | 0.0875 |
| C/N     | 19.08  | 22.28  | 49.14  | 53.14  | 14.811 |

D'après (**Pierre, 2010**), en fonction du rapport C/N on trouve la classification suivante:

**\*C/N >20** : ce sont des substances organique pauvre azote. Les microorganismes du sol ont besoin d'azote, cette consommation (de l'azote par les micro-organismes) risque de se faire au détriment de la plante (phénomène de "faim d'azote").

**\*C/N <20** : des substances organique riche en azote ce qui pousse les microorganismes du sol à le dégradé (dans certaines conditions du milieu bien sure) et enrichissent le sol en azote.

De ce fait, ont déduit que notre est riche en substances organiques dans le premier et le dernier horizon, qui vont probablement être dégradées par les micro-organismes et enrichir le sol en azote. Alors que le deuxième, troisième et quatrième sont considérées comme pauvres en substances organiques.

### IV-3-12-Quelques sels solubles

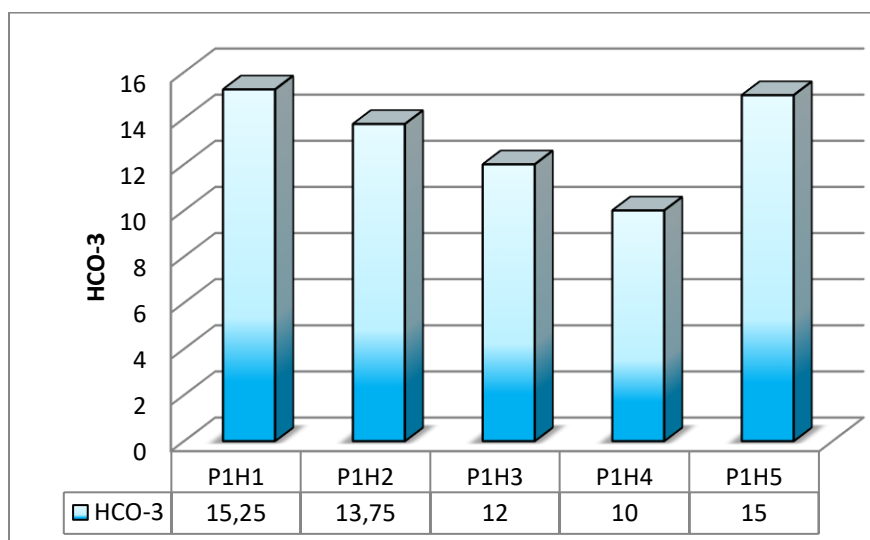
La classification des horizons du premier profil en fonction de la CE à fait ressortir la constatation qu'il s'agit des sol salés à très salés, donc normalement dans ce cas on doit analyser et déterminer ce qu'on appelle communément les sels solubles (anions et cations dérivant de la solubilité des sels existant dans un sol. Mais dans notre cas et suit au manque des produit au niveau du laboratoire ainsi que du matériel, on n'a pas pu effectuer l'ensemble des anions et cations solubles et on n'a analysé que les anions, carbonates, bicarbonates, chlorures et sulfates.....

#### a) Carbonate bicarbonate dans la solution du sol de chacun des horizons du premier profil

\*Malgré que les pH des horizons étudiées ce rapprochent de la valeur 8.3, et le taux élevés du calcaire total (qui indique forcément la probabilité de la présence des carbonates), les résultats n'ont pas fait ressortir des valeurs indiquant la richesse de notre sol en carbonates.

\*Les résultats de l'analyse du bicarbonate sont présentés dans la figure (**Fig IV-12**)

La valeur la plus élevée a été enregistrée à Horizon P1H1 (15,25) et la celle la plus basse au niveau de l'horizon P1H4 (10)



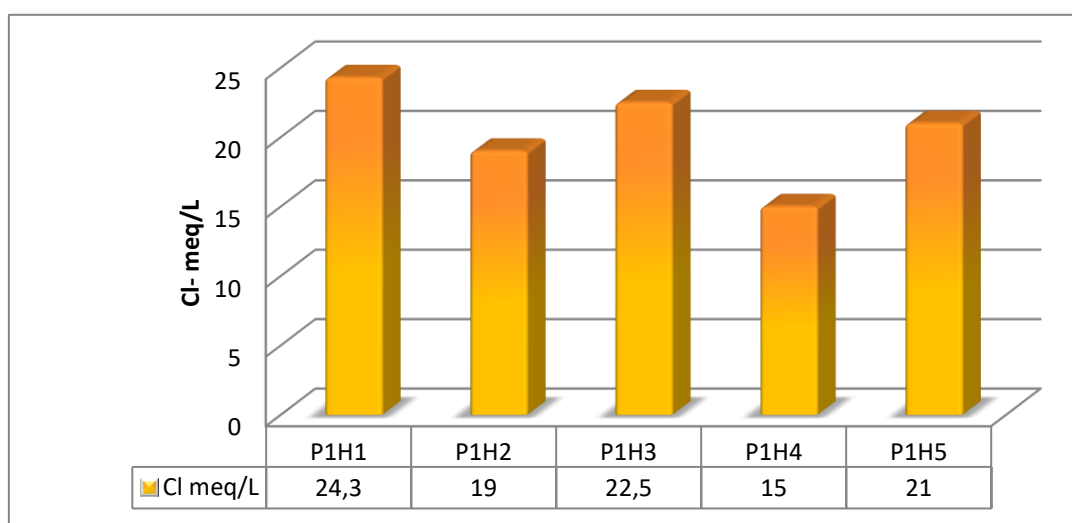
**Figure IV -12 :** Résultat obtenus des bicarbonates dans le premier profil

Les carbonates et bicarbonates dans notre cas peuvent être hérité de la nature géologique de la zone étudiée, que parmi ses sols (voir géologie de la région d'étude) des sols calcaires et calcimagnésiques (dolomitiques).

**b) Dosage du Cl<sup>-</sup> dans la solution du sol de chacun des horizons du premier profil**

Le chlore est considéré comme l'un des sels qui se solubilité rapidement dans la solution du sol, il est donc présent en grande quantité, notamment dans les sols affectés par les sels, et est inversement proportionnel à la conductivité électrique, ce qui le fait s'accumuler abondamment dans la solution du sol, provoquant toxique de la plante.

Les valeurs des chlorures (Cl<sup>-</sup>) enregistré au niveau des cinq (5) horizons du premier profil sont comprises entre (24.3 méq/L) pour le premier horizon et (22.5 méq /L) pour (P1H3) (**Fig IV-13**).



**Figure IV-13 :** Valeurs des chlorures (Cl<sup>-</sup>) dans les horizons du premier profil

### b) Sulfates

De l'analyse des sulfates, on a trouvés les Tableau suivantes :

**Tableau IV-5** :Résultats des sulfates du premier profil

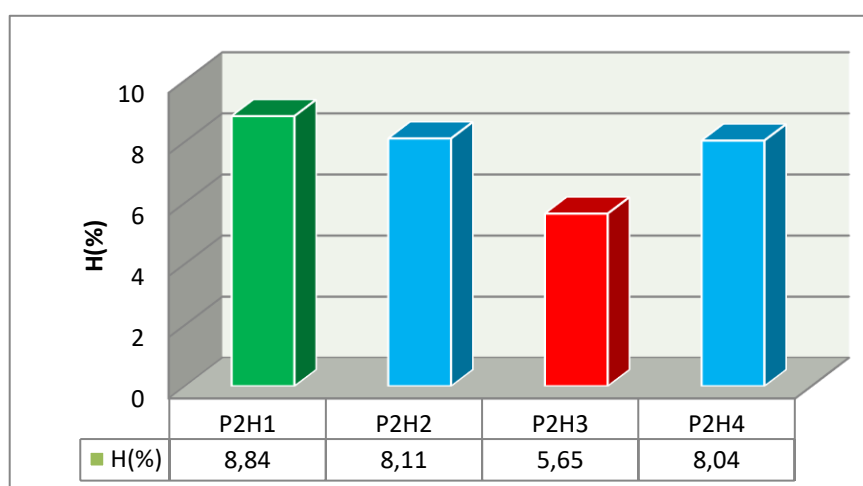
| Horizon               | P1H1 | P1H2 | P1H3 | P1H4 | P1H5 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| So <sup>4</sup> méq/L | 4.52 | 4.6  | 1.2  | 0.8  | 3.68 |

La valeur la plus élevée a été enregistrée à Horizon **P1H1 (4.52)** et la celle la plus basse au niveau de l'horizon **P1H4 (0.8)**

### IV-4- Caractérisations analytique des horizons du profil P2

#### IV-4-1-Humidité

A travers la figure (**Fig IV-14**) ci-dessous, on remarque que le pourcentage d'humidité atteint sa valeur maximale en P2H1 8,84, puis il commence à décroître au fur et à mesure que l'on progresse dans le profil, affichant les valeurs de 8,11 % (P2H2), 5,65% (P2H3) et enfin une augmentation relative de l'humidité atteignant la valeur de 8.04 %.



**Figure IV-14-** Résultats de l'humidité au niveau des quatre horizons du profil P2

#### IV-4-2-Porosité

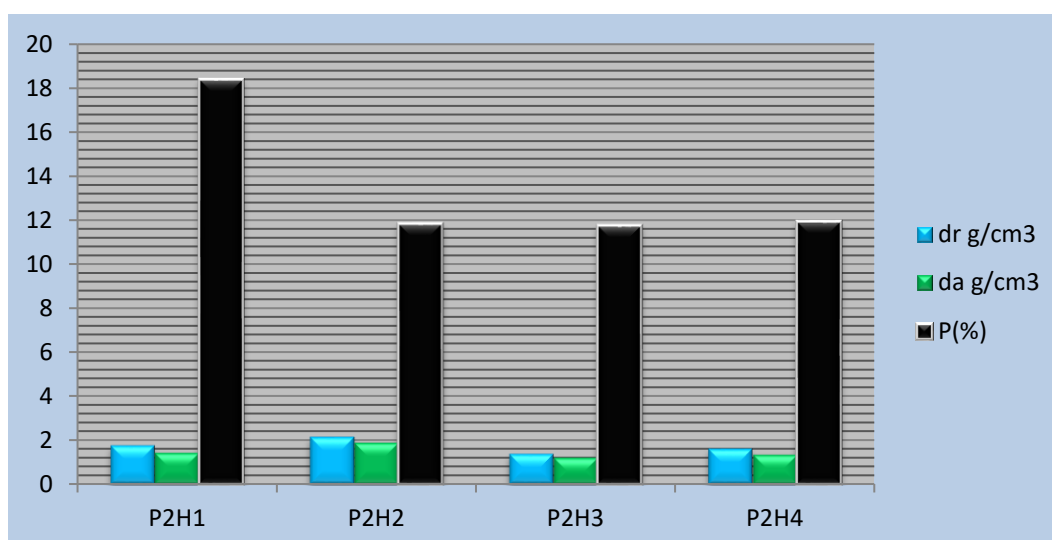
La mesure des densités (*da* et *dr*) des quatre horizons du deuxième profil donne les résultats mentionnés au tableau (**Tab IV-6**), et à la figure (**Fig IV-15**).

**Tableau IV-6** : Résultats des densités apparente et densités réelle et aussi de la porosité de chacun des cinq horizons du premier profil

|                            | P2H1         | P2H2  | P2H3         | P2H4  |
|----------------------------|--------------|-------|--------------|-------|
| <i>dr g/cm<sup>3</sup></i> | 1.74         | 2.12  | 1.36         | 1.59  |
| <i>da g/cm<sup>3</sup></i> | 1.42         | 1.86  | 1.20         | 1.33  |
| <i>P(%)</i>                | <b>18.40</b> | 11.85 | <b>11.76</b> | 11.95 |

Avec des valeurs de (11.85%, 11.76%, et 11.95%) respectivement pour (H2, H3 et H4) le sol est moyennement poreux

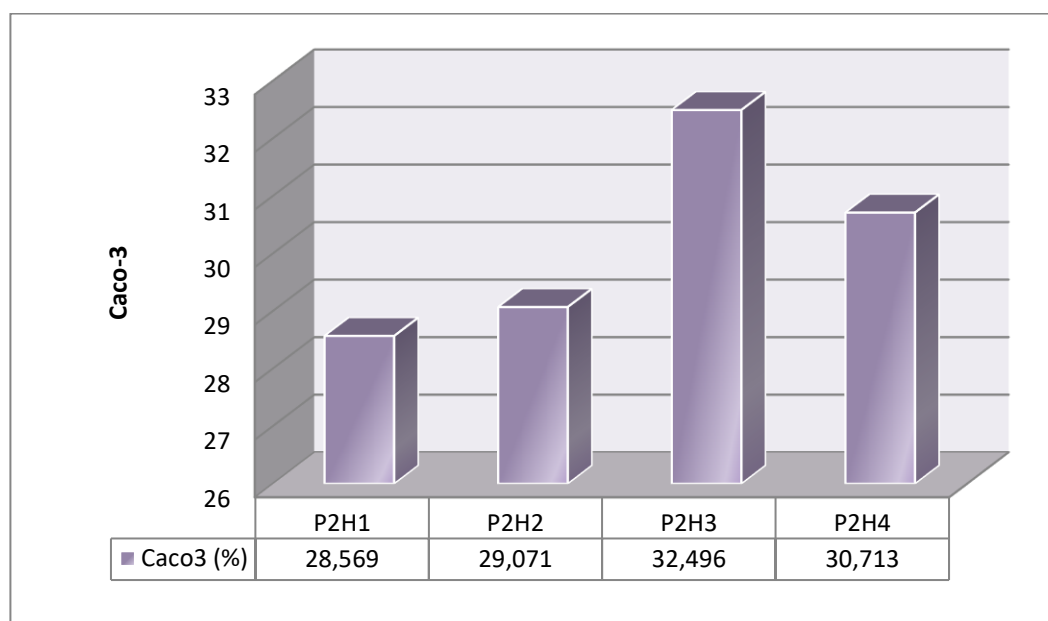
L'horizon P2H1 est poreux car la valeur de porosité est de **18.40%** selon les normes d'interprétation de la (ENIB, 2000)



**Figure IV-15:** Représentation des résultats de la porosité des horizons du profil P2

#### IV-3-Calcaire total

La figure (Fig IV-16) illustratifs des valeur (pourcentages) du calcaire total dans les horizons du deuxième profil indique l'ensemble des horizon (H1, H2, H3 et H4) sont fortement calcaire (Baize , 1988)

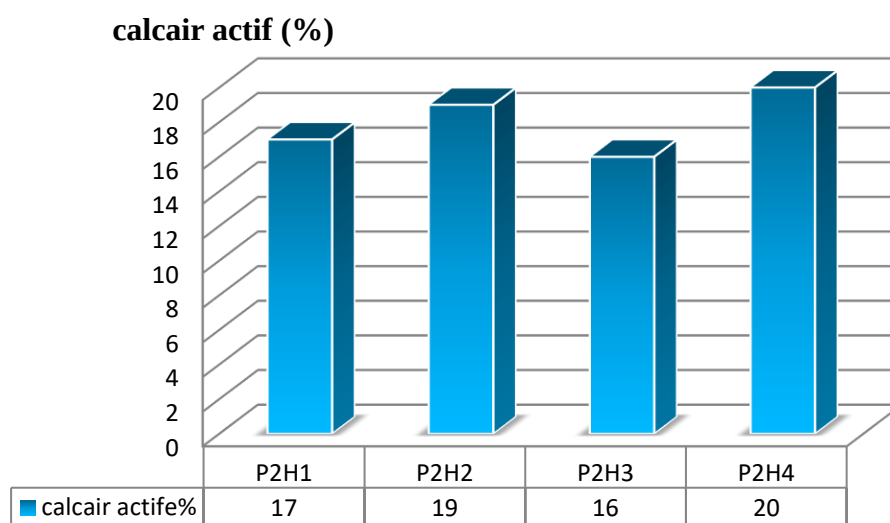


**Figure IV-16:** Représentation des teneurs en calcaire total des horizons du deuxième profil

#### IV-4-4-Calcaire actif

Les valeurs du calcaire actif sont indiquées à la figure ci-dessous (**Fig IV-17**)

La valeur la plus élevée a été enregistrée à Horizon P1H4 et celle la basse au niveau de l'horizon P1H3.



**Figure IV-17 :** Représentation des teneurs en calcaire actif des horizons du deuxième profil.

Ces valeurs sont considérées comme élevées selon les normes de (**Baize, 1988**).

Donc, on doit s'attendre à des problèmes d'assimilabilité et d'absorption des éléments nutritifs par les plantes en particulier du fer, provoquant ce qu'on appelle chlorose.

#### IV-4-5-Analyse granulométrique et texture du profil P2

Les résultats d'analyse granulométrique des quatre horizons du deuxième profil sont présentés dans la figure (**Fig IV-18**) et le tableau (**Tab IV-7**)

**Tableau IV-7 :** Les résultats d'analyse granulométrique dans les horizons du deuxième profil

| Fraction granulométrique | P12H1 | P2H2  | P2H3 | P2H4  |
|--------------------------|-------|-------|------|-------|
| A t (%)                  | 29    | 29    | 32   | 31    |
| S t (%)                  | 5     | 4.15  | 10   | 5     |
| Lt (%)                   | 66.76 | 66.78 | 58   | 64.28 |

Selon la figure ci-dessous, le limon enregistre les pourcentages les plus élevés atteignant 66.78% dans le premier horizon, le pourcentage le plus bas est enregistré dans le Troisième horizon 57.90 %

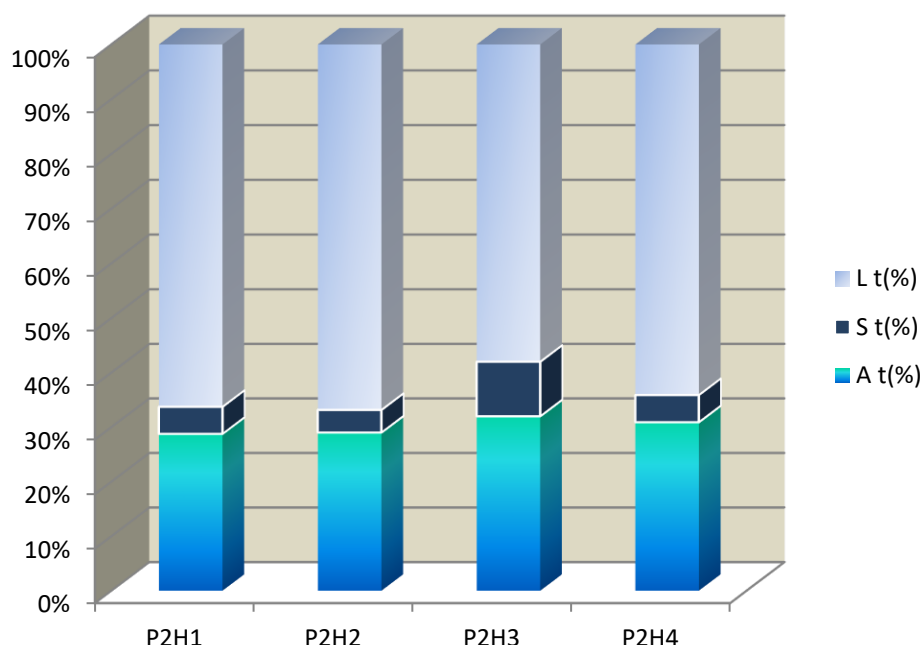
L'argile a enregistré sa valeur la plus faible (29%) au niveau des premiers et deuxièmes horizons, les horizons restants ont enregistrés des valeurs de 32% et 31% respectivement pour H3 et H4.

Enfin, le pourcentage de sable total affiche des valeurs faibles comparativement à celles du limon et argile. Ces pourcentages varient entre 4.15 % et 10%.

La projection de nos résultats des limons, argiles et sable sur le triangle textural de Jamagne, fait ressortir les classes texturale suivantes :

\*Texture limoneuses (**LA limon argileux**) pour les horizons P2H1 et P2H2 ;

\*Texture Argileuses (**AL Argilo limoneuses**) pour les horizons P2H3 et P2H4.



**Figure IV-18** : variation des fractions granulométrique du deuxième profil

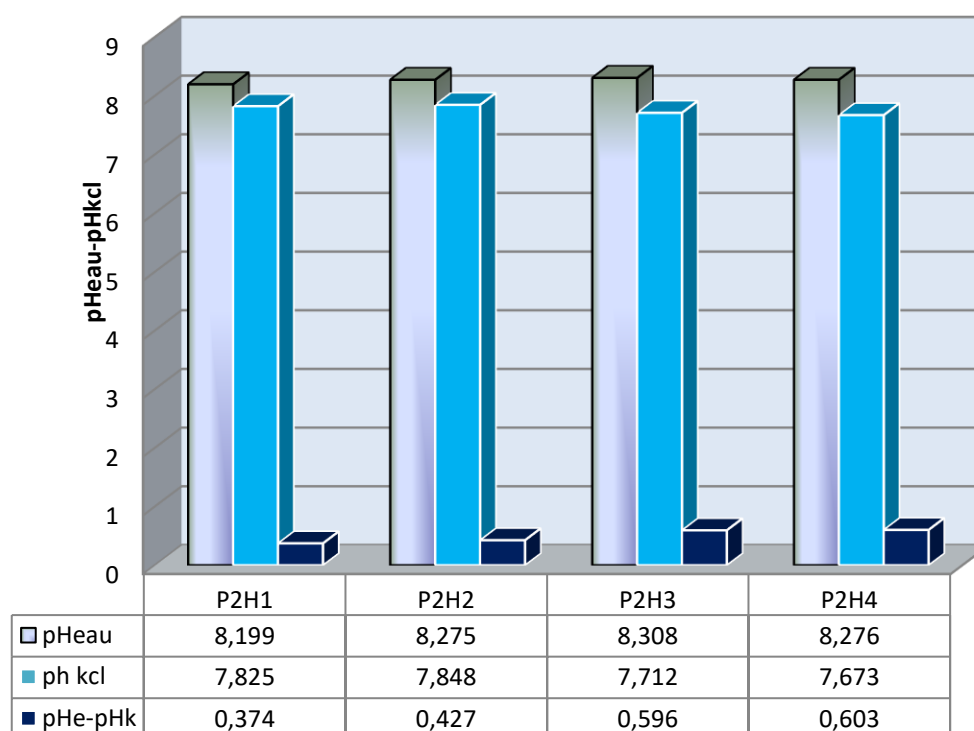
Donc, on doit s'attendre aux mêmes comportements, fertilité physique et problèmes déjà expliqués pour les sols du premier profil.

#### IV-4-6-La réaction du sol ( $\text{pH}_{\text{eau}}$ , $\text{pH}_{\text{KCl}}$ )

D'après les résultats des mesures du pH pour les horizons du deuxième profil (**Fig IV-19**), on constate que la valeur la plus élevée était de **8.308** au niveau de l'horizon (H3) alors que la valeur la plus faible était de **8.199** dans le premier horizon.

Selon les normes proposées par (**Baize, 1988**), les sols du deuxième profil présentent des pH basiques.

Le calcul de différence en  $\text{pH}_{\text{eau}}$  et  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  prouve que le sol dé-saturé en ce qui concerne les horizons P2H3 et P2H4 et faiblement dé-saturé pour P2H1 et P2H2.



**Figure IV-19 :** Représentation des résultats du  $pH_{eau}$  et  $pH_{KCl}$  des horizons deuxième profil

#### IV-4-7-La conductivité électrique

Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées au niveau des quatre horizons du deuxième profil (**Tab IV-8**) varient entre **0.52 (mS/cm)** et **0.8086 (mS/cm)**

Selon l'échelle de la salinité proposée par (**Aubert, 1978**) on classe nos sols comme Non salés dans l'ensemble des horizons du deuxième profil.

**Tableau IV-8:** Représentation des résultats de la conductivité électrique (CE) des sols du deuxième profil

| Horizons                      | P2H1     | P2H2          | P2H3     | P2H4        |
|-------------------------------|----------|---------------|----------|-------------|
| CE (mS/cm)                    | 0.7092   | <b>0.8086</b> | 0.7086   | <b>0.52</b> |
| Interprétation (Aubert ,1978) | Non salé | Non salé      | Non salé | Non salé    |

#### IV-4-8-Sels solubles au niveau du deuxième profil

Les résultats des sels solubles qu'on a pu déterminée (voir même explication du premier profil) sont résumés au tableau (**Tab IV-9**)

\*Les carbonates ne sont pas présents au niveau des quatre horizons du profil P2 ;

\*Les chlorures comparativement aux autres cations sont les plus abondants.

\*Les bicarbonates annoncent des proportions variables, la valeur la plus élevée se trouve à l'horizon H1 et la valeur la plus faible à l'horizon H3 ;

\*Les valeurs de sulfates plus faible en horizon(P2H1) et la valeur très élevé en horizon(P2H4)

**Tableau IV-9:** Les résultats des sels solubles

| Horizons           | P2H1 | P2H2  | P2H3 | P2H4 |
|--------------------|------|-------|------|------|
| Chlorures méq/l    | 30   | 21.5  | 17.8 | 8    |
| Sulfates méq/l     | 0.52 | 8.96  | 11.6 | 34.7 |
| Carbonates méq/l   | 0    | 0     | 0    | 0    |
| Bicarbonates méq/l | 14   | 11.25 | 10   | 10.5 |

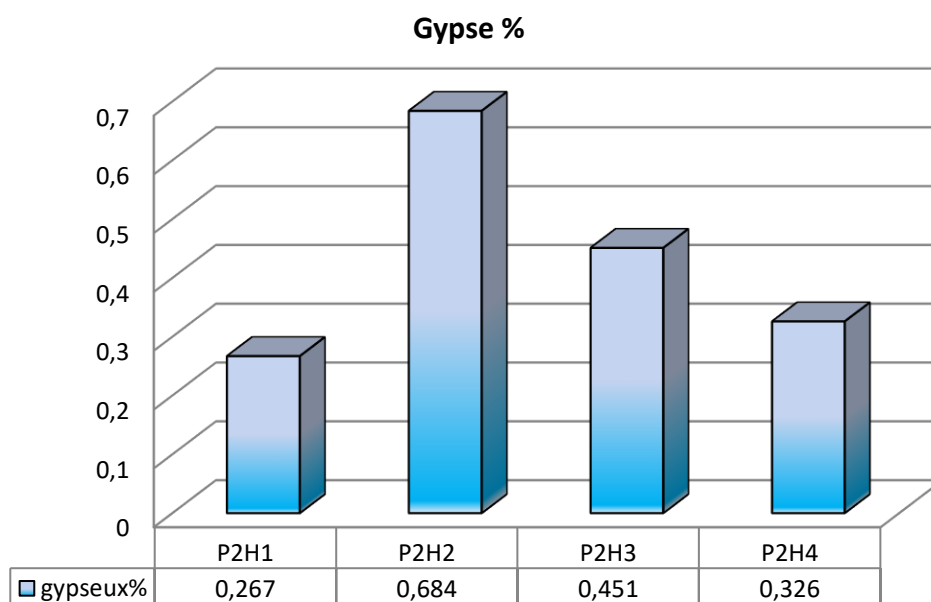
#### IV-4-9-Gypse

Les résultats du gypse au niveau des horizons du deuxième profil sont présentés dans la (**Fig IV-20**).

D'après l'échelle de **Barzanji (1973)** (**tableau 01, annexe I**), Nos horizons son classes comme :

\*Non gypseux pour le premier horizon ;

\*Modérément gypseux pour le reste des horizons (P2H2, P2H3 et P2H4).



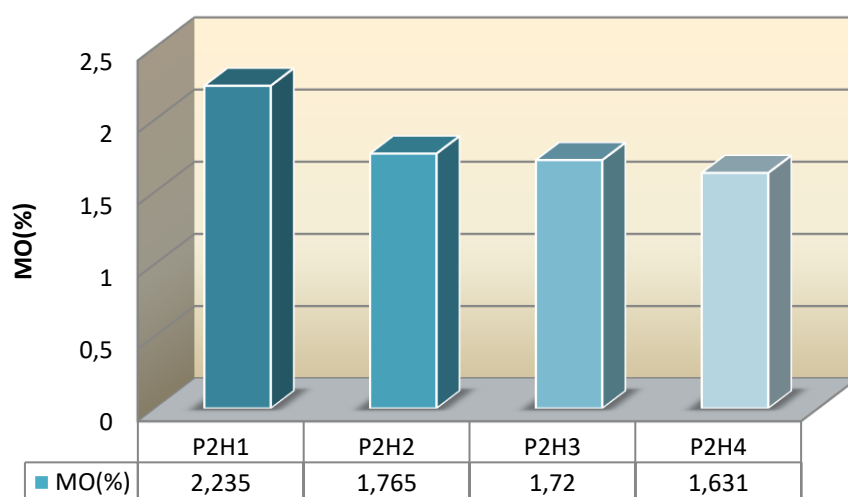
**Figure IV-20:** Résultat des analyses du gypse pour les quatre horizons du deuxième profil

#### IV-4-10-Matière Organique

Les résultats de la figure (**Fig IV-21**) nous montrent les valeurs suivantes de la matière organique :

\*Le pourcentage le plus élevé est enregistré au niveau du premier horizon (P2H1) ;

\*On assiste ici à des fluctuations des pourcentages et taux de matière organique avec les valeurs de 1,765%, 1,720% et 1,631% respectivement pour les horizons H2, H3 et H4.



**Figure IV-21** : Résultats de matière organique au deuxième profil de la zone (Mezrir commune de M'Sila)

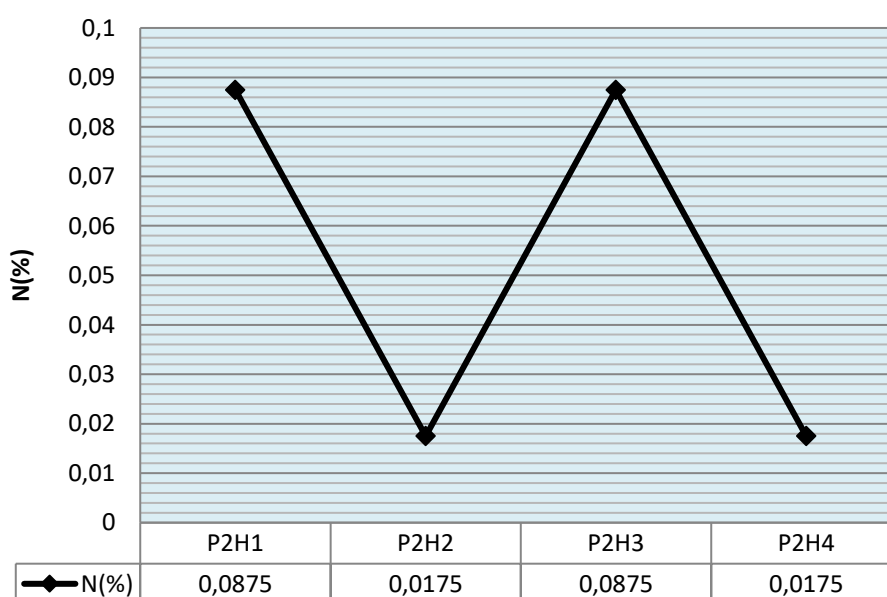
Selon (P.T.A, 1977), nos sols sont moyennement riches en matière organique pour le premier horizon mais pauvres pour le reste des horizons (P2H2, P2H3 et P2H4).

#### IV-4-11-L'azote total

L'analyse de l'azote total nous a donné les valeurs mentionnées à la figure (Fig IV-22).

Elles varient de 0.1% à 0.8 %.

D'après les normes de Calvet et villemain (1986) (tableau 03, annexe I), le sol du deuxième profil est pauvre en azote pour l'ensemble des horizons.

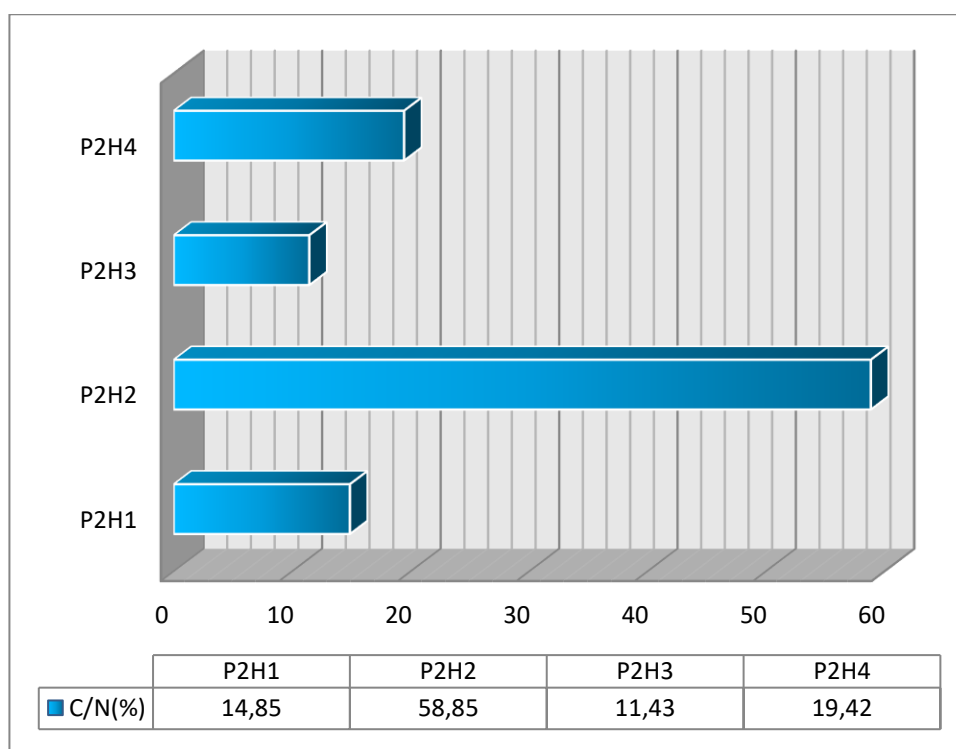


**Figure IV-22**: Représentation des valeurs d'azote au niveau du deuxième profil

#### IV-4-12- Rapport C/N

Selon la (**Fig IV-23**), les résultats liés à la valeur de l'activité biologique sont présentés dans le Figure suivant :

En se référant aux normes et explication de la valeur de C/N proposées par (**Pierre, 2010**), les horizons P2H1 et P2H3 sont riche en substances organiques, alors que ceux de P2H2 et P2H4 sont pauvres en substances organiques.



**Figure IV-23 :** Taux de l'activité biologique dans les quatre horizons du deuxième profil

---

# ***Conclusion***

## ***générale***

---

### ***Conclusion générale:***

Le présent travail a été réalisé dans la région de Mezrir (commune de M'Sila, située à environ 5 km au Sud de la ville de M'Sila), l'étude a été menée afin de déterminer et de caractériser les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ces sols.

La description des sols étudiés (P1 et P2) sur terrain ainsi que les analyses au laboratoire montrent les résultats suivant :

\*Le pH basique est basique dans l'ensemble des horizons. Cette forte alcalinité du sol est peut être due aux conditions climatiques et à la roche mère (nature géologique de la région d'étude).

L'alcalinité des sols est un des problèmes agricoles courants dans les régions arides. Lorsque la valeur du pH du sol augmente, la concentration en calcium, magnésium et potassium augmente, ce qui entraîne une augmentation de la dureté du sol et une difficulté à pénétrer les racines. De plus, un pH élevé entraîne une modification de la composition chimique des éléments du sol, ce qui affecte leur disponibilité et leur absorption par les plantes. On ajoute aussi qu'en raison de ces changements chimiques, l'activité microbienne du sol et la décomposition organique peuvent être affectées, affectant la santé et la productivité des plantes.

\* Les neuf horizons des deux profils sont fortement calcaire (pourcentage élevé du calcaire total), et affichent aussi des pourcentages élevés de calcaire actif. Ces valeurs élevées (calcaire total et actif), peuvent augmenter l'alcalinité du sol, ce qui affecte la disponibilité de certains nutriments pour les plantes. Cela conduit également à la précipitation de certains minéraux et nutriments dans le sol, affectant la capacité des plantes à les obtenir. Ajoutant aussi qu'ils peuvent engendrer des changements dans la composition chimique du sol, affectant l'activité des microbes et d'autres organismes du sol.

\*Contrairement au calcaire, le gypse est présent en proportions variables dans les deux profils en faible proportion sauf dans le premier profil (**P1H1**) qui a été classé comme sol gypseux.

\* Pour la matière organique, on remarque un décalage entre l'horizon A et l'horizon B, où l'on enregistre une augmentation de la matière organique dans les premier et deuxième horizons du premier profil, puis une décroissance graduelle s'amorce dans le reste des horizons inférieurs. deuxième profil, ses résultats étaient logiques, puisque l'on constate une augmentation du taux d'humus dans les premier et deuxième horizons du fait des résidus organiques des végétaux, et sa diminution dans le reste des horizons.

\*Les profils 1 et 2 marquent une faible porosité, une dureté et compaction ainsi que des niveaux élevés d'argile. Et c'est une vraie contrainte pour notre sol de Mezrir, car si la porosité du sol diminue et que le

niveau d'argile augmente, il sera difficile pour les racines des plantes de pénétrer dans le sol et d'obtenir l'eau et les nutriments nécessaires à leur développement et croissance, ce qui contribue également à la rupture des racines des plantes. Et cela conduit à l'accumulation d'eau au fond, ce qui augmente le risque de pourriture des racines et de propagation des maladies fongiques (en raison du manque d'oxygène dans le sol).

\*L'analyse granulométrique montre que le premier profil présente une texture LA. Alors que le deuxième présente des textures réparties entre LA et AL. Le fort taux de limon provoque un phénomène battance, qui favorise une augmentation du taux d'érosion et un appauvrissement de nos sols en éléments minéraux, ainsi que la migration des argiles vers les horizons inférieurs.

\*Les deux profils se caractérisent par un taux élevé de sels solubles dans la solution du sol, ce qui peut mettre en danger les cultures agricoles et empoisonner certaines plantes.

Comme solutions ou remèdes aux problèmes rencontrés au niveau des sols la région de Mezrir, on suggère :

1/Maintenir la porosité du sol en améliorant l'aération du sol et en évitant les sols lourds et compacts, ainsi qu'en ajoutant de la matière organique et des engrais et en retournant le sol

2/Maintenir une valeur de pH équilibrée dans le sol pour assurer une croissance saine des plantes et augmenter la productivité grâce à l'acidification du sol.

3/ Il paraît nécessaire de recouvrir le sol d'herbes ou de cultures agricoles pour réduire la vitesse de la pluie frappant la surface du sol, ainsi que d'ajouter de la matière organique au sol.

4/ Le taux élevé de sels dissous dans le sol, qu'il faut combattre par lixiviation (lavage) avant de s'accumuler et d'intoxiquer les plantes. En utilisant des techniques agricoles spécialisées dans l'amélioration de la qualité des sols, telles que l'ajout de matière organique et la couverture du sol avec de la végétation.

5/ Le taux élevé de calcaire total et actif, nécessite l'amélioration de la structure du sol par l'apport de matière organique et d'engrais destinés à améliorer la disponibilité des nutriments et d'améliorer l'activité des microbes dans le sol, ainsi que des opérations de labour profond pour briser les couches Al-Soma pour le calcaire et l'agitation du sol.

---

***Référence  
bibliographiques***

---

- **Ahmed B.I, gbadun , H.Nati - Bama , A. D.Traore , K. Oke , A.Zwart , Sander ,Ahmed , F.2022** - *Technologies d'irrigation à petite échelle et de gestion de l'eau pour la transformation agricole Africaine* . In french . International Water Management Institute ( IWMI ) ,20 p.
- **Amroune A ., 2018-** *Etude de l'apport hydrochimique dans la connaissance du fonctionnement de la nappe alluviale de la région nord du Hodna (Sud-Est algérien)*.Thèse doctorat Science, Université Moustapha Benboulaïd, Batna 2. 207p.
- **Angot A ., 1911-***Instructions météorologiques* Gauthier-Villars, Paris 60 p.
- **ANDI ., 2013-** *wilaya de M'sila* , 19p
- **ANONYME ., 2014** - *Wilaya de M'sila par les chiffres* , 135p.
- **ANRH ., 2023** - Agence Nationale des Ressources Hydrauliques du wilaya de m'sila
- **Aubert ., 1960** –*Les sols de la zone aride colloque de .Paris .communicatio*, N °5 ,30p.
- **Halitim ., 1988** – *Les sols des régions arides d'Algérie* .Ed .O .P.U Alger ,384p.
- **Aubret G., 1978-***Méthodes d'analyses des sols*. Marseille., Ed. C.R.D.P. Marseille, 189 p .
- **Baize D ., 1988-** *Guide des analyses courantes en pédologie, Choix .expression, présentation, interprétation* .I.N.R.A., Paris ,172 p.
- **Baize D ., 2000-** *Guide des analyses en pédologie 2e édition, revue et augmentée* .Quae .Paris 207 p.
- **Bamba Diaw El ., 2022-** *Hydrogéologie appliquée comprendre et appliquer l'hydrogéologie* .l'Harmattan – Sénégal , 28p.
- **Barzanj, A.F ., 1973-** *Gypsiferous soils of Iraq*. thesis .univ .Gent , 199 p.
- **Bastien Y et Gauberville C .,2011-***Vocabulaire forestier écologie, gestion et conservation des espaces boisés* .Institut pour le développement forestier. 155 p.
- **Benahmed M ., 2017-** *Effet des précipitations sur la distribution du Zn et du Pb issus de retombées atmosphériques dans le sol : Cas de la fonderie de Tiaret (ALFET)* Thèse de doctorat ,université djillali liabes de sidi bel abbes ,82 p.
- **Benguerai A., 2011-** *Évolution du Phénomène de Désertification dans le sud Oranais, Algérie*, Thèse de Doctorat, Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen ,152 p.
- **Boichard J., 1977-** *L'élevage bovin, ses structures et ses produits en Franche-Comté* .Les Belles Lettres . Paris 51 p.
- **Boris Stepanovich Maslov-2009-** *Agricultural Land Improvement: Amelioration and Reclamation - Volume II*. EOLSS Publications, Singapore ,168 p.
- **Bowen A et Pallister J , 2000** - *AS Level Geography* . Heinemann Educational ,12 p.
- **Brisset J , Addou A ,Draoui M, Moussa D, Abdelmalek F, 2011-***Chimie analytique en solution (2e éd)*.Lavoisier .Paris 482 p.
- **Bulletin Pédologique de la FAO, 1990-** *Etudes et prospections pédologiques en vue de l'irrigation* .Food & Agriculture Org, Rome ,Italie ,21 p.
- **Calvet G et Villemin P.,1986-***Interprétation des analyses des terres* .Ed. SCPA, 25 p.
- **CALVET., R 2003-** *Le sol Propriétés et fonction tom1*,France Agricole Edition ,Paris 455 p.
- **CALVET.,R 2013-** *Le sol 2e édition* .France Agricole , Paris. 678 p.
- **Chiu-Chung-Young -2015-***Soil and Fertilizer Concepts and Practice* .Airiti. Press, 201-202 p.
- **Chrnet F.,2018** -*Les sol forestiers* .Paris .CNPf-IDF,11 p.
- **Cible DE ., 2014** -*Fertilisation et amendements* .ducagri Editions, Paris .132 p.
- **CIRAD ., 2006-** *Mémento de l'agronome* .Gret .1691 p.
- **Claude F ., Ferra C , Medori P , Devaux J , Hemptinne J, 2011-***Ecologie: Approche scientifique et pratique 6<sup>e</sup> édition*, Lavoisier, Paris 95 p.
- **Clech ., 2000-** *Environnement et agriculture. 2<sup>ème</sup> Edition*. Synthèse agricole ,342p.

- **Collectif D'auteurs ., 2017-***L'agronome en action* ,Educagri Edition Paris 158 p.
- **Davet P., 1996 -***Vie microbienne du sol et production végétale* .Editions Quae, Paris 26 p.
- **Deblay S et Charonnat C ., 2005-***Croissance et développement des plants cultivées* ,Educagri Editions, Paris 97 p .
- **Dominique L et Gilles M .,2015-** *Mémento du forestier tropical* .Editions Quae, Paris, 334 p.
- **Drénou C ., 2006-***Les Racines :Face cachée des arbres* .CNPE-IDF, Paris 328 p.
- **DSA ., M'sila - 2021 + 2017**
- **Duchaufour PH ,Faivre P , Poulenard J ,Gury M ., 2018 –***Introduction à la science du sol végétation environnement* ,Dunod 7ème édition ,Paris. 442 p.
- **Duffaut P ., 2004-***Manuel de mécanique des roches Tome 2*,Presses des MINES, Paris 13 p.
- **FAO ., 2003 -***les engrais et leurs applications* .Food & Agriculture Org. Roma Italie ,13p.
- **FAO ., 2018 -***Carbone organique du sol ,Une richesse invisible* .Food & Agriculture Org , Rome, 1p.
- **FAO ., 2000-** *Manuel de pratiques intègres de gestion et de conservation des sols*.FAO 09 p.
- **FAO ., 1975-***Guide des ressources naturelles et expérimentation et démonstration agricole dans la région du Hodna*. Les sols du Hodna rapport technique, volume 5 ; 141p.
- **FAO ., 1986-***Le sol-Pisciculture Continentale Méthodes Simples pour l'aquaculture*.FAO.Rome 64 p.
- **FAO ., 1990 -***Management of Gypsiferous soils* ,Food and Agriculture Organization of the United Nations .Rome ,53 p.
- **Flammarion C ., 1872-***L'atmosphère: description des grands phénomènes de la nature*, ed 2 .Hachette, Paris ,543p.
- **Gaucher ., 1968-** *Traiter de pédologie agricole. Le sol et ces caractéristiques agronomiques*. Ed dunod, Paris ,579 p.
- **Georges Muyayabantu Mupala ., 2019-***Eléments de pédologie générale et intertropicale* ,L'Harmattan ,Paris ,24 p.
- **Girard , M , Schvartz C, Jabiol B ., 2011-***Étude du sol* .Dunod .Paris, 416 p.
- **Girard M , Watter ch ,Rémy J , Berthelin J , Morel J., 2005 -***Sols et environnement* .Grand-Argustins ,Paris , 36-38 p.
- **GOBAT, M , Aragno M , Matthey W , 2003 -***le sol vivant*. PPUR Presses polytechniques, Paris ,568 p.
- **Guechi N. O., 2022,** Études floristique et ethnobotanique du massif de Maadid (M'Sila, Algérie). Thèse de Doctorat 3ème Cycle (LMD), Université Mohamed Boudiaf - M'Sila, Algérie. 122 p .
- **Guet G ., 2003 -***Mémento d'agriculture biologique* .France Agricole Editions ,Paris, 72 p.
- **Guettoche M .,2003-***Du terrain à l'analyse numérique Essai d'une typologie systémique de l'espace géographique hodnéen (Algérie nord-orientale)* .diplôme de Doctorat. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene - Alger 243 p.
- **Guyot G ., 1999.** *Climatologie de l'environnement*. Éd. Dunod, Paris. 525 p.
- **Hadjab M ., 1998-** *Aménagement et protection des milieux naturels dans la cuvette centrale du Honda (Algérie)* , Thèse de Doct, Univ. D'Aix Marseille I-Univ. De Provence, résumé, pp1-6
- **Halimi A ., 1980-** *L'Atlas Blidéen : Climats et tages végétaux* .Ed .OPU ,Alger ,523 p.
- **Hazelton P et Murphy B ., 2007 –** *Interpreting soil test results . What do all the numbers mean?*.Department of Natural Resources ,152p .
- **Hoogeveen, J. Faurès, J-M. Peiser, L.Batchelor, C., 2020-***Recueil de comptabilité et d'audit de l'eau* .Food & Agriculture Org. Rome 71 p.
- **Hotyat M et Arnould P., 2003-***Eau et environnement: Tunisie et milieux méditerranéens* , 148 p.

- <https://agripsol-prjet-agroforestrie.net> Le 10/05/2023 à 10h30m (Am)
- <https://www.msilawilaya.dz/fr/la-wilaya/annuaire-statistique-de-la-wilaya-de-msila>(Annuaire Statistiques de la wilaya de M'sila 2008 )
- **Hveem B, Diallo D, Berge G ., 2005-***Les plantes sauvages du Sahel malien: les stratégies d'adaptation à la sécheresse des Sahéliens* ,KARTHALA Editions, ,Paris ,42 p.
- **Institut de technologie agriole ., 1977-** *Laboratoire du sol . Méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol .3Ed .I.T.A.Mostaganem* ,105 p.
- **Joly F et Bourrié G ., 2022-***L'homme et les déserts .Ite éditions. Niger* , 124 p.
- **Joseph Ph ,2009-***La végétation forestière des Petites Antilles. KARTHALA Editions, Paris.333 p.*
- **Knodel K .Lange G .V-Voigt H ., 2007-***Environmental Geology Handbook of Field Methods and case Studies .Springer Berlin Heidelberg. Berlin .873 p.*
- **Kris M. Havstad, Laura F. Huenneke, William H. Schlesinger., 2006-***Structure and Function of a Chihuahuan Desert Ecosystem: The Jornada Basin Long-Term Ecological Research site* ,Oxford University Press , 124 p.
- **Lagatu H et Sicard L .,1901-***Guide pratique et élémentaire pour l'analyse des terres et son utilisation agricole .Coulet et fils .Paris 144-143 p.*
- **Lamy M ,1995-***L'eau de la nature et des hommes* ,Presses Univ de Bordeau x,Presses Universitaires de Bordeaux ,49-50 p.
- **Langlois N et Amand L .,2004 -***Agriculture biologique les grands principes de production et l'environnement professionnel .Educagri Editions ,235 p.*
- **Leboeuf M .,2016-***Arbres et plantes forestières du Québec et des Maritimes –Réédition ,Éditions Michel Quinti ,Canadian 22 p.*
- **Legros J ,2007-***Les grands sols du monde. PPUR presses polytechniques, Espagne ,510 p.*
- **Mathieu C ., 2009 -***Les principaux sols du monde ,Lavoisier ,Paris 9 p.*
- **Mathieu C et Pieltain F.,2003-***Analyse chimique des sols .Lavoisier .Paris,387 p.*
- **Mauries M et Allard G .,1998-** *Produire du lait biologique, réussir la transition .France Agricole Editions, Paris. 26 p.*
- **Michaud L ., 2016 -***Le compost : pourquoi ? comment. Editions Multi Mondes ,5 p.*
- **Michelot P., 2010 -***La production en pépinière. Lavoisier, Paris ,32-33 pp.*
- **Michelot P., 2010 -** *La production en pépinière, Lavoisier, Paris , 39 p.*
- **Mimeche F., 2014-** *Ecology of the Algerian Barbel Luciobarbuscallensis (Valenciennes, 1842) (Pisces: Cyprinidae) in the El K'sob dam (M'Sila).Doctoral Thesis.National Superior School of Agronomy - EL- Harrach ,Algiers., 117p.*
- **Mokhtari D ., 2009-***Apport de la télédétection dans l'évaluation de la dégradation des états de surface en milieu salin .Université des sciences et de la Technologie Houari Boumediene Chélif, 99p.*
- **Nathalie L et Laurence ., 2009-***Agriculture biologique , Educagri édition , Paris, 70 p.*
- **Odeh M et Shamsham S ., 2008-***Fertilité des sols et nutrition des plantes. Université Al-Baath, Syrie, 82 p.*
- **Pansu M et Gautheyrou J ., 2007-***Handbook of Soil Analysis Mineralogical, Organic and Inorganic Methods .Physica-Verlag. Berlin ,870 p.*
- **Pousset J ., 2002 -***Engrais verts et fertilité des sols, France Agricole Editions, Paris ,53 p.*

- **Prévost , Ph .,2006**-*Les base des Agriculture 3<sup>e</sup> édition* ,Paris ,104 p.
- **Reynier A ., 2011** - *Manuel de viticulture 11<sup>e</sup> édition* , Lavoisier , Paris ,209 p.
- **Roger L ., 1996**-*Géographie du cycle de l'eau*..Presses Univ, du Mirail ,Paris ,118 p.
- **Rosa J ., 2011**-*Guide de l'expérimentation forestière Principes de base, prise en compte du changement climatique* .CNPFF-IDF .Paris, 93 p.
- **Sandulescu R .,2020**-*Chimie Analytique Quantitative Analyse Volumétrique Et Gravimétrique - Guide de travaux pratiques*. Analytical Chemistry Department. Napoca ,145 p.
- **Schwartz C , Muller J , Deroux J .,2005** -*Guide de la fertilisation raisonnée grandes cultures et prairies* .France Agricole Editions ,.Paris ,65p.
- **Segalen P ., 1970**-*La classification des sols , pédologie et de veloppement* . OVATY , 133 p.
- **Soutter M, Musy A .,1991** -*Physique du sol* PPUR presses polytechniques, 335 p.
- **TIR Ch ., 2007**-*Genese des sols a accumulation gypso-calcaire et salan dans la région de Ain Benmomi* –Bskra 128p.
- **Tir Ch ., Bouziane MT., Mimeche L., Alouani R., Madani Dj., Mimeche F., 2022**, Assessment of groundwater quality forirrigation use in the m'sila region (algeria) . *Revue natural ressources ans sustainable developement*, volume 12. 15p .
- **Vana Alphen J G, et Rios Romero F., 1971**-*Gypsiferrous soils. Notes on theirmanagement Bulletin 12 International insitute for land reclamation and improvement wageningen* .The Nether lands ,44 p.
- **Vignoles C et Cauchi A ., 2011**- *Petites installations d'assainissement* .Editions TECHNIP, Paris 441.42p.
- **Vilain ., 1997**- *la production végétal ,2 eme Ed* , tes doc ,Paris ,378p.
- **Willy H ., 2009**-*Land Use Land Cover and soil Scienes –Volume IV EOL SS Publication* , unesco ,99 -100p.
- **Zedam A ., 2015** -*Etude de la flore endémique de la zone humide de Chott El Hodna : Inventaire-Préservation*. Thèse de Doctorat en Science. Université de Sétif 1, Sétif, Algérie. 150 p + annexes.
- **Zemoura A ., 2005** - *etude comparative de quelques methodes de dosage du phosphore assimilable des sols calcaires en region semi-aride (w. de batna)* ,diplôme de magister ,université el hadj lakhdar de batna , 182 p.

المراجع باللغة العربية

- السعيد احمد المرسي ومحمد رمضان 2015/استصلاح و تحسين الأراضي .جامعة القاهرة 117 ص
- مظفر أحمد الموصللي .2020 .علم التربة الجنائي (سلسلة الموصللي لعلوم التربة الحديثة -2-) كتب يربط التحقيقات الجنائية بالتربة .دار الكتب العالمية .بيروت .55 ص

## **Annexe I: Normes d'interprétation de quelques paramètres du sol**

**Tableau 01** : Classes des sols gypseux

| <b>Gypse (%)</b> | <b>Classes</b>      |
|------------------|---------------------|
| < 0.3            | Non gypseux         |
| 0.3-10           | Légèrement gypseux  |
| 10-15            | Modérément gypseux  |
| 15-25            | Fortement gypseux   |
| 25-50            | Extrêmement gypseux |

**Barzangi , 1973**

**Tableau 02** : Echelle d'interprétation des valeurs du calcaire total ( $\text{CaCO}_3$ )

| <b><math>\text{CaCO}_3</math></b> | <b>Horizon</b>         |
|-----------------------------------|------------------------|
| $\text{CaCO}_3 < 1$               | Non calcaire           |
| $1 < \text{CaCO}_3 < 5$           | Peut calcaire          |
| $5 < \text{CaCO}_3 < 25$          | Modérément calcaire    |
| $25 < \text{CaCO}_3 < 50$         | Fortement calcaire     |
| $50 < \text{CaCO}_3 < 80$         | Très calcaire          |
| $80 > \text{CaCO}_3$              | Excessivement calcaire |

**Baize ,1988**

**Tableau 03** : Normes d'interprétation

| <b>N (%)</b>         | <b>Interprétions</b> |
|----------------------|----------------------|
| $N < 0.005 \%$       | Sol très pauvre      |
| $0.005 > N > 0.1 \%$ | Sol pauvre           |
| $0.1 > N > 0.15 \%$  | Sol moyen            |
| $0.15 > N > 0.25 \%$ | Sol riche            |
| $N > 0.25\%$         | Sol très riche       |

**Calvet et villemin, 1986**

**Tableau 04** : Echelle générale de densité apparente selon

| <b>Densité apparente</b> | <b>Evaluation</b> |
|--------------------------|-------------------|
| <1.0                     | très faible       |
| 1.0-1.3                  | Faible            |
| 1.3-1.6                  | Modérée           |
| 1.6-1.9                  | Elevée            |
| >1.9                     | très élevée       |

**Hazelton et Murphy, 2007**

**Tableau 05** : Normes d'interprétation de la porosité

| <b>Porosité total</b> | <b>Porosité total estimée</b> |
|-----------------------|-------------------------------|
| < 2%                  | Non poreux                    |
| 2 à 5                 | Peu poreux                    |
| 5 à 15                | Moyennement poreux            |
| 15 à 40               | Poreux                        |
| >40 %                 | Très poreux                   |

**(E N I B ,2000)**

## **Annexes II**

**Tableau 1** : Facteur de correction  $F(\lambda)$  par le quel il convient de multiplier selon le mois et la latitude les valeurs de L'ETP non corrigée pour obtenir l'évapotranspiration corrigée  
(Halimi ,1980)

| <b>LN</b>  | <b>Janvier</b> | <b>Février</b> | <b>Mars</b> | <b>Avril</b> | <b>Mai</b>  | <b>Juin</b> | <b>Juillet</b> | <b>Aout</b> | <b>Septembre</b> | <b>Octobre</b> | <b>Novembre</b> | <b>Décembre</b> |
|------------|----------------|----------------|-------------|--------------|-------------|-------------|----------------|-------------|------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| <b>20°</b> | 0.95           | 0.90           | 1.03        | 1.05         | 1.13        | 1.11        | 1.14           | 1.11        | 1.02             | 1.00           | 0.93            | 0.94            |
| <b>25°</b> | 0.93           | 0.89           | 1.03        | 1.06         | 1.15        | 1.14        | 1.17           | 1.12        | 1.02             | 0.99           | 0.91            | 0.91            |
| <b>26°</b> | 0.92           | 0.88           | 1.03        | 1.06         | 1.15        | 1.15        | 1.17           | 1.12        | 1.02             | 0.99           | 0.91            | 0.91            |
| <b>27°</b> | 0.92           | 0.88           | 1.03        | 1.07         | 1.16        | 1.15        | 1.18           | 1.13        | 1.02             | 0.99           | 0.90            | 0.90            |
| <b>28°</b> | 0.91           | 0.88           | 1.03        | 1.07         | 1.16        | 1.16        | 1.18           | 1.13        | 1.02             | 0.98           | 0.90            | 0.90            |
| <b>29°</b> | 0.91           | 0.87           | 1.03        | 1.07         | 1.17        | 1.16        | 1.19           | 1.13        | 1.03             | 0.98           | 0.90            | 0.89            |
| <b>30°</b> | 0.90           | 0.87           | 1.03        | 1.08         | 1.18        | 1.17        | 1.20           | 1.14        | 1.03             | 0.98           | 0.89            | 0.88            |
| <b>31°</b> | 0.90           | 0.87           | 1.03        | 1.08         | 1.18        | 1.18        | 1.20           | 1.14        | 1.03             | 0.98           | 0.89            | 0.88            |
| <b>32°</b> | 0.89           | 0.86           | 1.03        | 1.08         | 1.19        | 1.19        | 1.21           | 1.15        | 1.03             | 0.98           | 0.88            | 0.87            |
| <b>33°</b> | 0.88           | 0.86           | 1.03        | 1.09         | 1.19        | 1.20        | 1.22           | 1.15        | 1.03             | 0.97           | 0.88            | 0.86            |
| <b>34°</b> | 0.88           | 0.85           | 1.03        | 1.09         | 1.20        | 1.20        | 1.22           | 1.16        | 1.03             | 0.97           | 0.87            | 0.86            |
| <b>35°</b> | <b>0.87</b>    | <b>0.85</b>    | <b>1.03</b> | <b>1.09</b>  | <b>1.21</b> | <b>1.21</b> | <b>1.23</b>    | <b>1.16</b> | <b>1.03</b>      | <b>0.97</b>    | <b>0.86</b>     | <b>0.85</b>     |
| <b>36°</b> | 0.87           | 0.85           | 1.03        | 1.10         | 1.21        | 1.22        | 1.24           | 1.16        | 1.03             | 0.97           | 0.86            | 0.84            |
| <b>37°</b> | 0.86           | 0.84           | 1.03        | 1.10         | 1.22        | 1.23        | 1.25           | 1.17        | 1.03             | 0.97           | 0.85            | 0.83            |
| <b>38°</b> | 0.85           | 0.84           | 1.03        | 1.10         | 1.23        | 1.24        | 1.25           | 1.17        | 1.04             | 0.96           | 0.84            | 0.82            |
| <b>39°</b> | 0.85           | 0.84           | 1.03        | 1.11         | 1.23        | 1.24        | 1.26           | 1.18        | 1.04             | 0.96           | 0.84            | 0.81            |
| <b>40°</b> | 0.84           | 0.83           | 1.03        | 1.11         | 1.24        | 1.25        | 1.27           | 1.18        | 1.04             | 0.96           | 0.83            | 0.80            |
| <b>41°</b> | 0.83           | 0.83           | 1.03        | 1.11         | 1.25        | 1.26        | 1.27           | 1.19        | 1.04             | 0.96           | 0.82            | 0.79            |
| <b>42°</b> | 0.82           | 0.83           | 1.03        | 1.12         | 1.26        | 1.27        | 1.28           | 1.19        | 1.04             | 0.95           | 0.82            | 0.78            |
| <b>43°</b> | 0.81           | 0.82           | 1.02        | 1.12         | 1.26        | 1.28        | 1.29           | 1.20        | 1.04             | 0.95           | 0.81            | 0.77            |
| <b>44°</b> | 0.81           | 0.82           | 1.02        | 1.13         | 1.27        | 1.29        | 1.30           | 1.20        | 1.04             | 0.95           | 0.80            | 0.76            |
| <b>45°</b> | 0.80           | 0.81           | 1.02        | 1.13         | 1.28        | 1.29        | 1.31           | 1.21        | 1.04             | 0.94           | 0.79            | 0.75            |
| <b>46°</b> | 0.79           | 0.81           | 1.02        | 1.13         | 1.29        | 1.31        | 1.32           | 1.22        | 1.04             | 0.94           | 0.79            | 0.74            |
| <b>47°</b> | 0.77           | 0.80           | 1.02        | 1.14         | 1.30        | 1.32        | 1.33           | 1.22        | 1.04             | 0.93           | 0.78            | 0.73            |
| <b>48°</b> | 0.76           | 0.80           | 1.02        | 1.14         | 1.31        | 1.33        | 1.34           | 1.23        | 1.05             | 0.93           | 0.77            | 0.72            |
| <b>49°</b> | 0.75           | 0.79           | 1.02        | 1.14         | 1.32        | 1.34        | 1.35           | 1.24        | 1.05             | 0.93           | 0.76            | 0.71            |
| <b>50°</b> | 0.74           | 0.78           | 1.02        | 1.15         | 1.33        | 1.36        | 1.37           | 1.25        | 1.06             | 0.92           | 0.76            | 0.70            |

## الملخص

أجريت هذه الدراسة بهدف تحديد خصائص تربة مزير (ولاية المسيلة). تم استهداف تربتين (P1 و P2 تتكونان من 5 و 4 أفاق على التوالي) والتي استقادت من الوصف المورفولوجي والتحليلي. فحصلنا على النتائج التالية تتميز معظم الأفاق المدروسة للملفين الجانبيين بنسيج (طيني سلتي) أو (سلتي طيني)، فهي غير جبسية باستثناء الأفق الأول للملف الأول، الأس الهيدروجيني أساسي للمظهر الجانبي، نسبة عالية من الأملاح الذائبة، مسامية منخفضة (خاصة في الأفق الأخير من المظهر الجانبي الأول)، مع نسبة عالية من الحجر الجيري الكلي والنشط سيؤدي هذا في النهاية إلى انخفاض في توافر العناصر الغذائية، ومشكلة الإصابة بالكلور وخطر تسمم النبات وانخفاض في المحصول. كإقتراح، نقدم

زيادة مسامية التربة بإضافة المواد العضوية، خاصة إلى تربة P1

\*العناية بالحرث العميق لكسر طبقات الكلس الصلبة

\*محااربة ظاهرة الانجراف وترشح الطين.

\*ضبط جودة مياه الري للتحكم في الملوحة مع إنشاء شبكة تصريف مناجل تصريف الأملاح.

\*اختيار المحاصيل التي تتحمل الملوحة

**الكلمات المفتاحية:** مزير، خصائص التربة، الحجر الجيري، الملوحة

## Résumé

Cette étude a été menée dans le but de déterminer les caractéristiques des sols de Mezrir (Wilaya de M'sila). Deux sols ont été ciblés (P1 et P2 qui sont constitués respectivement de 5 et 4 horizons) et qui ont bénéficié d'une caractérisation morphologique et analytique. Nous avons obtenu les résultats suivants :

La plupart des horizons étudiés des deux profils sont caractérisés par une texture (Argilo limoneuse) ou (limono argileuse), ils sont non gypseux à l'exception du premier horizon du premier profil, de pH basique pour les deux profils, un taux élevé de sels solubles, de faible porosité (surtout dans le dernier horizon du premier profil), avec un taux élevé de calcaire total et actif.

Ce qui va engendrer une diminution éventuellement de la disponibilité des nutriments, problème de chlorose et des risques de toxication des plantes et diminution du rendement.

Comme suggestion, on propose:

\*D'Augmenter la porosité du sol en apportant de la matière organique notamment au sol du P1;

\*De veiller à des labours profonds pour casser les croûtes dures ;

\*De lutter contre le phénomène de Battance et lessivage d'argile

\*De contrôler la qualité d'eau d'irrigation pour contrôler la salinité, avec l'installation d'un réseau de drainage pour drainer les sels ;

\*De choisir des cultures tolérantes à la salinité.

**Mots-clés :** Mezrir, caractérisation des sols, calcaire, salinité

## Summary

This study was conducted with the aim of determining the characteristics of the soils of Mezrir (Wilaya of M'sila). Two soils were targeted (P1 and P2 which are made up of 5 and 4 horizons respectively) and which benefited from a morphological and analytical characterization. We obtained the following results:

Most of the studied horizons of the two profiles are characterized by a texture (clayey silty) or (silty clayey), they are non-gypsum with the exception of the first horizon of the first profile, of basic pH for the two profiles with and a high rate of soluble salts, low porosity (especially in the last horizon of the first profile), with a high rate of total and active limestone.

This will eventually lead to a reduction in the availability of nutrients, a problem of chlorosis and the risk of plant toxicity and a reduction in yield.

As suggestion, we offer:

\*To increase the porosity of the soil by adding organic matter, particularly to the soil of P1;

\*To take care of deep plowing to break the hard crusts;

\*To fight against the phenomenon of Battance and clay leaching

\*To control the quality of irrigation water to control salinity, with the installation of a drainage network to drain salts;

\*Choose salinity-tolerant crops.

**Keywords:** Mezrir, soil characterization, limestone, salinity