



**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de L'Enseignement supérieur et la Recherche**



**Université de Chahid Larbi Tébessi-Tébessa**

**Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie**

**Département : de Biologie des êtres vivants**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master**

**Domaine : Science de la nature et de la vie**

**Filière : Science biologiques**

**Option : Écophysiologie -végétale**

**Thème :**

***La variabilité de quelques paramètres physico-chimiques du sol agricole de la région nord de Tébessa***

**Présenté par :**

**Bouhouche Amani**

**Menaceur Sihame**

**Devant le Jury :**

<b>Dr. Guênez Radja</b>	<b>MCA</b>	<b>Université de Larbi Tébessi</b>	<b>Présidente</b>
<b>Dr. Gheddabnia Karima</b>	<b>MAA</b>	<b>Université de Larbi Tébessi</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>Pr. Rezkallah Chafika</b>	<b>PR</b>	<b>Université de Larbi Tébessi</b>	<b>Promotrice</b>

**Année universitaire : 2023/2024**

## *Remerciements*

*On commence par exprimer notre gratitude envers Dieu le tout-puissant, qui nous a donné la force et nous a remplis de patience pour accomplir cette tâche et accomplir ce modeste travail. Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers notre encadrante, Pr. Rezkallah Chafika , enseignante à l'université Laarbi Tébessi-Tébessa, pour sa gentillesse, son humilité et son professionnalisme, aussi pour ces conseils et les orientations prodigués tout au long de la préparation de ce travail, ainsi que les remarques pertinentes nécessaires pour finaliser notre mémoire.*

*Nous tenons également à remercier chaleureusement et à respecter les membres du jury : Mme. Gheddabnia Karima et Dr. Gènez Radja, pour leur immense privilège d'accepter d'étudier notre travail. Nous exprimons aussi notre gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail, que ce soit de près ou de loin. Nous exprimons également notre profonde gratitude envers tout le personnel des laboratoires pédagogiques de notre université pour leur assistance.*

# DEDICACE

الحمد لله الذي يسر البدايات وأكمل النهايات وبلغنا الغايات الذي ما تم جهد إلى بعونه وما ختم سعي

إلا بفضلته

اهدي ثمرة جهدي المتواضع إلى من لهما الفضل الأول في بلوغي مقامي هذا... إلى من بذل جهد السنين وصنع من الأيام سلالماً لأرتقي بها " إلى من لا فخر يعلو فخري بحمل اسمه إلى أعظم وأعز رجل في الكون والدي العزيز محمود "

إلى جزء من روحي و قطعة من قلبي مصدر الحنان و الحب في هذا العالم إلى ذلك النور الذي يضيء طريقتي إلى أعظم وأحن امرأة أمي العزيزة عانس

إلى من وهبني الله نعمة وجودهم في حياتي إلى من كانوا عوناً و سنداً لي في أيامي ورحلة دراستي إخوتي ابتسام- سيف الإسلام- شعيب

إلى كل من شجعني و ساعدني في شق طريقتي هذا إلى كل عائلتي وأحبتي

محمد- أمين - حياة- ياسمين- سماح - نصيرة- سارة- زكية

إلى من لم يفارقني دعائهم بالتوفيق و النجاح جدي عبد الله- جدي المرحوم صالح

إلى من كان سنداً لي وسيبقى جزءاً من حياتي وفرحتي أشرف

إلى من قضيت معهم أجمل أيام حياتي وعشت معهم ذكريات لا تنسى صديقاتي ورفيقاتي

سائلة المولى عز وجل أن يجزي الجميع خير الجزاء في الدنيا والآخرة.

سماح

## *DEDICACE*

Je consacre ce modeste travail à mes parents décédés qui demeurent dans mon cœur. Que Dieu ait pitié d'eux

A celui que j'aime beaucoup et qui m'a soutenu tout au long de ce projet Mon Mari Abdelghafour, et bien sûr A mes frères Housseem et Taki sans oublier ma belle mère Karima et soûla et farouha

A mes amis Amina, Aya, Farah, a mon binôme Sihem. Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

*Amani*

## **Résumé**

### **La variabilité de quelques paramètres physico-chimiques du sol agricole de la région nord de Tébessa**

Les caractéristiques du sol varient en fonction de son emplacement dans la zone d'étude, avec les conditions géologiques, topographiques, climatiques et les ressources en eau jouant un rôle important dans le diagnostic des propriétés du sol et de sa capacité à être utilisé pour l'agriculture.

L'étude a inclus des quelques mesures physiques et chimiques du sol pour neuf échantillons dans la partie nord de la wilaya du Tébessa (el Aouinet, Morsott, Boukhadra), réparties dans différentes zones de l'étude et selon différentes orientations. Les échantillons ont été prélevés au début du mois de mars et analysés pour déterminer leurs caractéristiques physiques telles que l'humidité du sol, la densité réelle et la porosité du sol, ainsi que leurs propriétés chimiques incluant l'azote, la matière organique, oxyde phosphore, le carbone et le calcaire totale.

Ces résultats témoignent que les sols de la zone d'étude sont sans pas agricole. Pour améliorer ou amender le sol, on peut utiliser les méthodes suivantes : les méthodes biologiques, mécaniques et chimiques.

**Mots-clés:** sol agricole, propriétés physiques et chimiques du sol, nord du Tébessa.

## **Abstract**

### **The variability of some physico-chemical parameters of agricultural soil of the northern region of Tébessa**

Soil characteristics vary depending on its location in the study area, with geological conditions, topography, climatic and water resources playing an important role in diagnosing soil properties and its ability to be used for agriculture.

The study included some physical and chemical measurements of the soil for nine samples in the northern part of the wilaya of Tébessa (el Aouinet, Morsott, Boukhadra), distributed in different areas of the study and according to different orientations. The samples were collected in the beginning of March and analyzed to determine their physical characteristics such as soil moisture, actual density and porosity, as well as their chemical properties including nitrogen, organic matter, phosphorus oxide, carbon and total limestone.

These results show that the soils of the study area are not agricultural. To improve or amend soil, the following methods may be used: biological methods, mechanical and chemical.

**Keywords:** agricultural soil, physical and chemical properties of soil, north of Tébessa.

## ملخص

تباين بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة الزراعية لمنطقة شمال تبسة

تختلف خصائص التربة تبعاً لموقعها في منطقة الدراسة، حيث تؤدي الظروف الجيولوجية والطوبوغرافية والمناخية والموارد المائية دوراً هاماً في تشخيص خصائص التربة وقدرتها على استخدامها في الزراعة

تضمنت الدراسة بعض القياسات الفيزيائية والكيميائية للتربة لتسع عينات في الجزء الشمالي من ولاية تبسة (العوينات، مرسط، بوخضرة)، موزعة في مناطق مختلفة من الدراسة ووفقاً لتوجهات مختلفة تم جمع العينات في بداية شهر مارس وتحليلها لتحديد خصائصها الفيزيائية مثل رطوبة التربة والكثافة الفعلية والمسامية، بالإضافة إلى خصائصها الكيميائية بما في ذلك النيتروجين والمواد العضوية وفوسفور الأوكسيدو الكربون والحجر الجيري الكلي.

تظهر هذه النتائج أن تربة منطقة الدراسة ليست زراعية، ولتحسين التربة وتعديلها يجب استخدام الطرق التالية: الطرق البيولوجية والميكانيكية والكيميائية.

**الكلمات الرئيسية:** التربة الزراعية، الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، شمال

تبسة.

01	<i>station géographique</i>	<b>08</b>
02	<i>Moyenne des Températures mensuelles</i>	<b>09</b>
03	<i>Moyenne des températures annuelles</i>	<b>10</b>
04	<i>Moyenne de Précipitations mensuelles</i>	<b>11</b>
05	<i>Précipitations moyennes annuelles (2014-2024)</i>	<b>13</b>
06	<i>Moyennes des résultats des analyses des sols (Mars 2024)</i>	<b>19</b>

***Liste des cartes***

01	<i>Situation géographique et carte topographie de la zone d'étude</i>	<b>06</b>
02	<i>satellite montrant les différents oueds de la région d'étude (Source: Google 2024, CNRS/Spot image)</i>	<b>07</b>
03	<i>Carte d'échantillonnage de sol de la région d'étude</i>	<b>14</b>
04	<i>la densité R du sol de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>20</b>
05	<i>l'humidité du sol de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>21</b>
06	<i>la porosité du sol de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>22</b>
07	<i>le P2o5 du sol dans la région d'étude (mg/l)</i>	<b>23</b>
08	<i>le carbone du sol de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>24</b>
09	<i>la matière organique du sol de la région d'étude (mg/l)</i>	<b>24</b>
10	<i>L'azote du sol dans la région d'étude (mg/l)</i>	<b>25</b>
11	<i>la carte d le calcaire total du sol dans la région d'étude</i>	<b>26</b>

### ***Liste des graphiques***

01	<i>Variation des températures moyennes mensuelles (2014-2024)</i>	<b>09</b>
02	<i>Variations des températures moyennes inter annuelles (2014-2024)</i>	<b>10</b>
03	<i>Variations des précipitations moyennes mensuelles (2014-2024)</i>	<b>11</b>
04	<i>Variations des précipitations moyennes inter annuelles (2014-2024)</i>	<b>12</b>
05	<i>Variation des valeurs de la densité R dans le sol de la région d'étude</i>	<b>20</b>
06	<i>variation des taux d'humidité dans le sol de la région d'étude</i>	<b>21</b>
07	<i>Variation des valeurs de la porosité dans le sol de la région d'étude</i>	<b>22</b>
08	<i>Variation des valeurs de le P2O5 dans le sol de la région d'étude</i>	<b>23</b>
09	<i>Variation des valeurs du carbone dans le sol de la région d'étude</i>	<b>24</b>
10	<i>Variation des valeurs de la matière organique dans le sol de la région d'étude</i>	<b>24</b>
11	<i>Variation des valeurs de l'azote dans le sol de la région d'étude</i>	<b>25</b>
12	<i>Variation des valeurs du calcaire dans le sol de la région d'étude</i>	<b>26</b>

### ***Liste des figures***

---

<i>01</i>	<i>Des photos d'échantillonnages des sols</i>	<i>14</i>
<i>02</i>	<i>Des photos de la région d'étude</i>	<i>15</i>
<i>03</i>	<i>des photos du Quelques appareiller utiliser au laboratoire</i>	<i>16</i>

*Liste des abréviation*

---

<b>ACP</b>	<b>Analyse en composantes principales</b>
<b>MO</b>	<b>Matière organique</b>
<b>(N)</b>	<b>L'azote</b>
<b>( C)</b>	<b>Carbone organique</b>
<b>(Ca CO3)</b>	<b>Calcaire total</b>
<b>(P2O5)</b>	<b>Oxide phosphore</b>

## *Table des matières*

<b>Chapitre I : Recherche bibliographique</b>	<b>03</b>
1. <i>le sol agricole</i>	<b>03</b>
2. <i>Les paramètres chimique du sol</i>	<b>03</b>
2.1. <i>La Matière organique</i>	<b>03</b>
2.2. <i>Le Calcaire total</i>	<b>03</b>
2.3. <i>Le Carbonne</i>	<b>03</b>
2.4. <i>l'azote</i>	<b>04</b>
2.5. <i>Le P2O5</i>	<b>04</b>
3. <i>les paramètres physiques du sol</i>	<b>04</b>
3.1. <i>La densité réelle</i>	<b>04</b>
3.2. <i>L'humidité</i>	<b>05</b>
3.2. <i>Porosité</i>	<b>05</b>
4. <i>La situation géographique de la région d'étude</i>	<b>05</b>
5. <i>Le couvert végétal de la région d'étude</i>	<b>05</b>
6. <i>L'hydrographie de la région d'étude</i>	<b>07</b>
7. <i>Climatologie de la région d'étude</i>	<b>08</b>
7.1. <i>Paramètres climatologiques</i>	<b>08</b>
7.1.1 <i>Température</i>	<b>08</b>
7.1.2 <i>Précipitation</i>	<b>11</b>
<b>CHAPITE II : Matériel et Méthodes</b>	<b>13</b>
1. <i>Matériel</i>	<b>13</b>
1.1. <i>Description du la région des études</i>	<b>13</b>
1.2. <i>Lieu et conditions de l'expérimentation</i>	<b>13</b>

1.3.	<i>Matériel utilisé pour l'échantillonnage</i>	<b>13</b>
1.4.	L'échantillonnage	<b>13</b>
1.5.	<i>Etude statistique des données</i>	<b>16</b>
1.6.	<i>Caractéristiques initiales du sol étudié</i>	<b>16</b>
2	<i>Méthodes</i>	<b>17</b>
2.1	<i>Les protocoles utilisés</i>	<b>17</b>
<b>CHAPITRE III: Résultats</b>		<b>19</b>
1.	<b><i>Caractérisation des paramètres physico-chimiques des sols prélevés</i></b>	<b>19</b>
1.1.	<i>La densité</i>	<b>20</b>
1.2.	<i>L'humidité</i>	<b>21</b>
1.3.	<i>La porosité</i>	<b>22</b>
1.4.	<i>Le P2O5</i>	<b>23</b>
1.5.	<i>Le Carbone et la matière organique</i>	<b>24</b>
1.6.	<i>l'azote</i>	<b>25</b>
1.7.	<i>.Le calcaire totale</i>	<b>26</b>
2.	<b><i>Analyse statistique des éléments physico-chimiques :</i></b>	<b>27</b>
2.1.	<i>Corrélation inter-éléments</i>	<b>27</b>
	<b><i>Discutions</i></b>	<b>30</b>
	<b><i>Conclusion</i></b>	<b>32</b>
	<b><i>Références bibliographiques</i></b>	
	<b><i>Annexe</i></b>	

# **Introduction**

## Introduction Générale

Les zones arides et semi-arides occupent 30% des terres émergées de la planète. La moitié de cette superficie, formée de terres pastorales ou agricoles, est consacrée à la production économique (**Gratzfel, 2004**).

Le sol agricole est une couche superficielle qui recouvre la surface de la terre. Cette couche est constituée de débris rocheux suite à leur exposition à divers facteurs. Ce processus conduit à la formation de la couche superficielle agricole, contenant les spécifications et les éléments qui en font un sol propice à l'agriculture, offrant un environnement favorable à la croissance des racines des plantes qui y sont cultivées.

Le nord de Tébessa d'une zone semi-aride. selon Fortier (**2024**), ce climat reçoivent de 250 à 500 mm de pluie par an, c'est très variable avec des sécheresses, ainsi que des épisodes irréguliers de précipitations supérieures à la moyenne, ce qui rend la rareté de l'eau et la salinité des problèmes particulièrement insidieux dans ces climats. Ils ont tendance à intervenir à proximité des déserts arides ou à l'intérieur des terres, à des altitudes plus élevées.

Les propriétés physiques du sol sont déterminées par la nature et la proportion de ses constituants, connus sous le nom de texture, et la disposition spatiale de ces constituants, appelée structure, et les propriétés chimiques du sol sont essentielles pour la croissance des plantes et la santé du sol. Le carbone organique améliore les propriétés physiques du sol, améliorant la capacité d'échange cationique et la rétention d'eau (**Combeau, 1970**).

Les analyses des caractéristiques physiques et chimiques du sol Grâce à cette étude l'agriculteur peut mieux connaître ses terres et déterminer ainsi avec précision le mode d'exploitation qui est le mieux adapté.

Les études sur les caractéristiques physico-chimiques du sol se concentrent sur des aspects tels que la texture du sol, la composition minérale, la matière organique, le carbone, calcaire et les et bien d'autres paramètres. Ces caractéristiques interagissent du manière complexe pour influencer la structure du sol, sa rétention d'eau, sa capacité à fournir des nutriments aux plantes, et sa réponse aux activités humaines et aux changements environnementaux (**Ronald et al, 1996**).

L'objectif principal de ce travail consiste à étudier la variabilité de quelques paramètres physico chimique du sol agricole dans la région nord de Tébessa.

Notre travail comporte deux parties :

Une partie théorique qui est composée :

- La recherche bibliographique
- Zone d'étude, Description du milieu physique

Une partie expérimentale qui est subdivisée en deux chapitres:

- Le premier chapitre présente le matériel et les méthodes utilisés dans notre travail.
- Le deuxième chapitre consiste les analyses et descriptions des résultats obtenus.

Enfin ce travail se termine par une discussion et conclusion générale et quelques perspectives.

# **CHAPITRE I**

## **Recherche bibliographique**

## 1. le sol agricole

Le sol agricole est une couche superficielle qui recouvre la surface de la terre. Cette couche est constituée du débris rocheux qui se sont accumulés au fil des ans et se sont transformés en petits grains, suite à leur exposition à divers facteurs tels que la pluie et les températures variées. Ces grains se mélangent aux matières organiques présentes dans le sol, décomposées par les organismes vivants tels que les bactéries. Ce processus conduit à la formation de la couche superficielle agricole, contenant les spécifications et les éléments qui en font un sol propice à l'agriculture, offrant un environnement favorable à la croissance des racines des plantes qui y sont cultivées (**Shakir, 2020**).

## 2. Les paramètres chimique du sol

### 2.1. La Matière organique

C'est un matériau hétérogène provenant de la décomposition de la matière d'origine végétale animale et bactérienne (**Roxane, 2016**). Elle sert de nourriture et du milieu de vie à la flore et à la faune du sol (**Parnpuu et al, 2022**).

Dans le sol, elle évolue constamment et est modifiée par différents processus géochimiques au fil du temps (**Roxane, 2016**).

### 2.2. Le Calcaire total

C'est la quantité de calcaire sous forme de carbonates, mesurée en utilisant l'acide chlorhydrique pour la décomposer. **Selon Es-Skalli (2015)**, évaluer le carbonate de chaux total permet de déterminer son taux. Les sols peuvent être classés en différentes catégories : sols non calcaires, sols calcaires, franchement calcaires.

### 2.3. Le Carbone

Le Carbone organique des sols est principalement issu des apports végétaux vers le sol. La matière organique des sols est à l'origine de propriétés fondamentales pour le fonctionnement des sols. Elles influencent la structure du sol, limitent l'érosion et augmentent la rétention de l'eau, et filtre les eaux de pluie avant leur arrivée dans les nappes, atténuant les pollutions aquatiques (**Zamanian et al, 2021**).

Le Carbone présent dans les matières organiques des sols représente la majeure partie du carbone présent sur terre (**Pellirin et al, 2020**).

## 2.4. L'azote

D'après **Pousset (2000)**, l'azote est le macro-élément indispensable à la croissance et au bon Développement des végétaux. En effet, il entre dans la composition des protéines et participe au métabolisme spécifique des végétaux, il est à la base de la synthèse des acides aminés et des acides nucléiques dans le sol (**Boulal et al, 2007**).

## 2.5. Le P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

L'oxyde de phosphore P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> est un élément formateur de réseau vitreux avec le silicium dans le cas de mélange de ces deux oxydes ou de dopage d'une composition. (**Remy; Catteaux. 2015**)

Dans l'écorce terrestre, la teneur moyenne de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dans les formations est estimée entre 0,16 % et 0,24%. Les espèces minéralogiques, des phosphates naturels les plus importants Appartiennent à la famille d'apatite Cas (PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (F, Cl), qui cristallisent dans les systèmes Hexagonaux.

-La Fluor apatite (3-8 % de F et 42,3 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>).

-La chlore apatite (6-8 % de Cl et 47% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (**Notholt, 1985**).

## 3. Les paramètres physiques du sol:

### 3.1 La densité réelle

La densité correspond à la relation entre la masse et le volume, et elle est exprimée en < mg/l >. L'industrie pétrolière utilise cette propriété afin de différencier les hydrocarbures légers des hydrocarbures plus lourds élevés. La température a peu ou pas d'influence sur elle (**Archambault et al, 2017**).

### 3.2 l'Humidité

C'est est un élément considérable de l'environnement, représentant la quantité d'eau qu'un Sol, non saturé, accumule. Elle renseigne sur la disponibilité d'eau indispensable à la Croissance de la végétation (**Jonard et al, 2018**).

### 3.3 La porosité

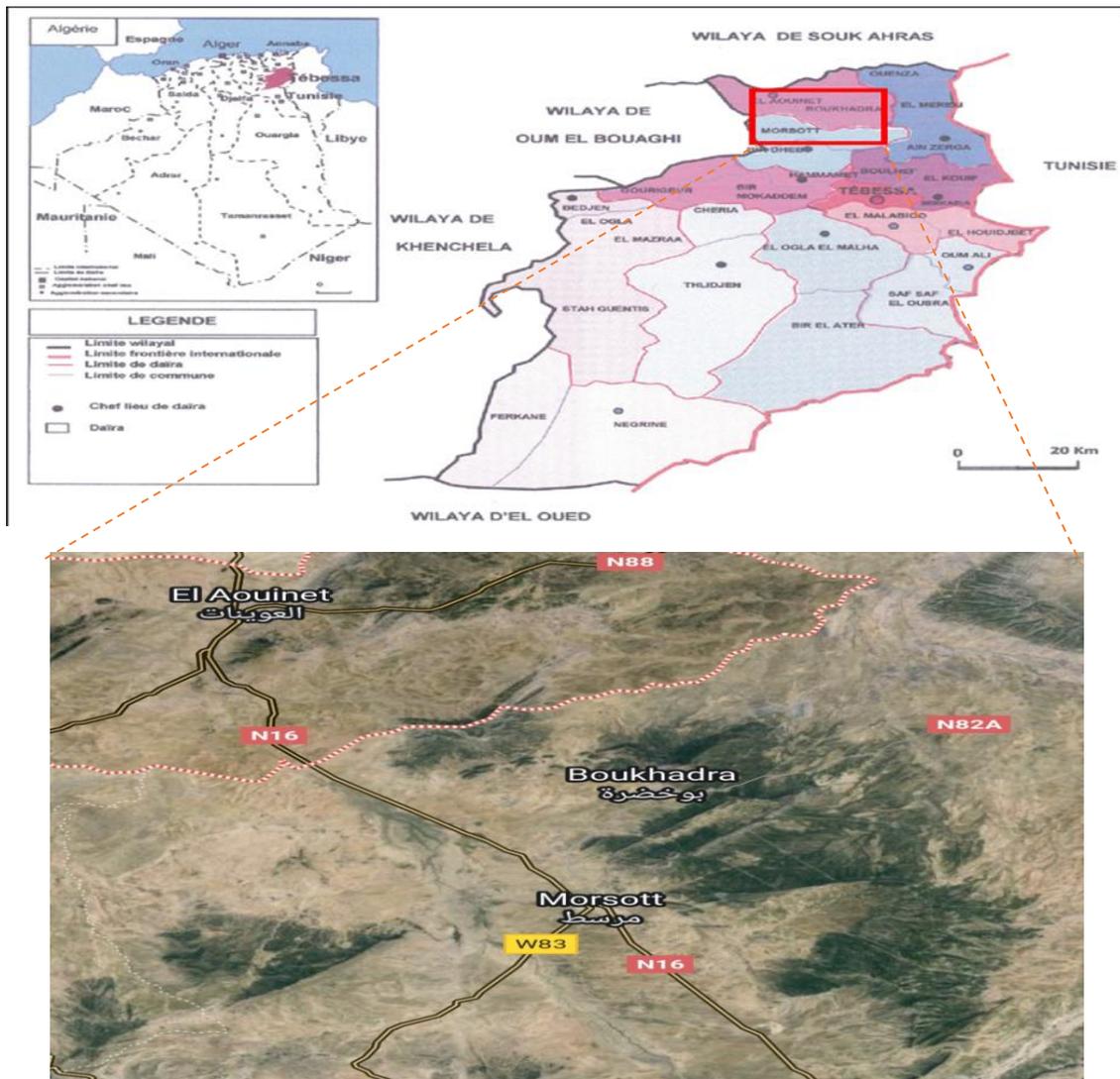
La porosité d'un sol est une grandeur physique qui exprime le rapport entre le volume Occupé par ses pores et son volume total (**Calvet, 2013**). Elle concerne la réserve en eau, en air et les possibilités d'enracinement. Les propriétés de ces vides ne sont pas véritablement accessibles à la description macromorphologique sur le terrain. La porosité est quantifiée par des techniques physiques appropriées par des mesures au laboratoire (**Benslama, 1998**).

### 4. La situation géographique de la région d'étude

La zone d'étude fait partie des zones semi-arides de l'Algérie. Cette zone est située à une 50 Km au Nord de la ville de Tébessa et à 260 km de la mer Méditerranée, à la frontière Algéro-Tunisienne.

Elle appartient entièrement au bassin versant saharien et fait une partie intégrante des hauts plateaux qui forment un réseau serré de montagnes de moyenne à forte altitude plus ou moins séparées par des dépressions. Elle s'étend sur presque 140 Km<sup>2</sup> depuis Morsott au Sud jusqu'à El Aouinet au Nord.

Géographiquement la région d'étude est située à l'extrême Nord-Est de l'Atlas saharien, entre les coordonnées suivantes : une longitude et une latitude respectivement entre 7°- 8° 00 E et entre 35 ° et 45 ° N (**Rezkallah, 2017**).



**Carte 01:** Situation géographique de la zone d'étude ( source google 2024)

Cette région est limitée au Nord par la ville d'El Aouinet, au Sud se trouve le bassin d'effondrement Tébessa-Morsott, à l'Est est limitée par la commune de Boukhadra et à l'Ouest par le bassin de Meskiana (carte 01).

Selon **Rezkallah (2017)**, la région d'étude présente une allure de dépression fermée. Son altitude varie entre 690m (au centre de la cuvette) et 1400m vers le sud de la région étudiée (le sommet le plus haut de la région est le Djebel Boukhadra situé à l'est et qui présente une altitude de 1402m).

La partie centrale de la région est constituée d'un fossé tectonique enserré par des montagnes escarpées à l'est et à l'ouest (carte 01).

Au Nord au Sud, Les reliefs se caractérisent par leur organisation en éléments quasiment parallèles, que l'hydrographie a souvent entrecoupés de manière perpendiculaire.

## 5. Le couvert végétal de la région d'étude

La partie nord de la région d'étude présente une humidité relativement élevée, ce qui entraîne une densité légère des forêts. Cependant, les zones cultivables sont généralement basses et plus sèches.

La ligne de crête, communément appelée la haute chaîne, est souvent caractérisée par une forte pluviométrie.

Le pin d'Alep, les dis, les lentisques et les chaînes vertes épineuses forment un véritable maquis, en particulier à Djebel Boukhadra, Hod Seghir et Hod Kebir. **(Rezkallah, 2017)**.

## 6. L'hydrographie de la région d'étude

Le réseau hydrographique est bien développé et représenté avec des petits cours d'eau temporaires aux larges vallées bien élaborées, se déversant dans des grands oueds dont les plus importants sont oued Mellegue et oued Chabro (Carte 02).

L'oued Chabro coule le long de la partie d'étude, il a un écoulement pérenne, il est soutenu principalement par le système aquifère de la zone d'étude, son écoulement est lié aussi aux précipitations, notamment orageuses, qui coïncident avec la fin du printemps et de l'été, l'écoulement du système hydrographique se fait du Sud vers le Nord, caractère typique des oueds de toute la région. **(Ghalmi, 2019)**.



**Carte 02** : satellite montrant les différents oueds de la région d'étude (Source : Google 2024, CNRS/Spot image)

## 7. Climatologie de la région d'étude

Les deux principaux paramètres qui déterminent le climat sont : les précipitations et la température. Ces paramètres varient en fonction de l'altitude, de l'orientation des chaînes de montagnes et donc de l'exposition. Les régions climatiques diffèrent par la présence ou l'absence de périodes sèches, selon la durée et la sévérité de ces périodes. Lorsqu'il s'agit de classer les différents types de climats, il est essentiel de prendre en compte la répartition annuelle de la chaleur et de l'eau, ainsi que la combinaison de ces deux facteurs est plus importante que les quantités de chaleur et d'eau (**Bagnouls et Gaussen, 1957**).

Les données de la période (2014-2024) de nord du Tébessa (Boukhadhra, Morset, Al Aouinet) à partir du site suivant : <https://climatecharts.net/> (**Zepner ; Karrasch ; Wiemann ; Bernard, 2020**).

Le Tableau 01. Fait l'état de la station géographique des données climatologiques disponibles s'étalant de 2014-2024.

**Tableau 01 : station géographique**

Nom de la station	Altitude Z(m)	Longitude X (km)	Latitude Y (km)	Période d'observation
Nord du Tébessa	880	35,635	35,653	2014-2024

### 7.1. Paramètres climatologiques

#### 7.1.1 Température

La température est, de tous les paramètres climatiques, le plus important d'aller c'est celui dont il faut l'examiner en tout premier lieu (**Dreux, 1975**).

Elle représente un facteur limitant de toute première importance car elle contrôle l'ensemble du phénomène métabolique et conditionne de ce fait la répartition de la totalité des espèces et des communautés d'êtres vivants dans la biosphère (**Erard, 2003**).

Les paysages les plus divers sont créés par la croissance, la reproduction, la survie et la répartition géographique des espèces végétales.

### a- Variation mensuelle des températures

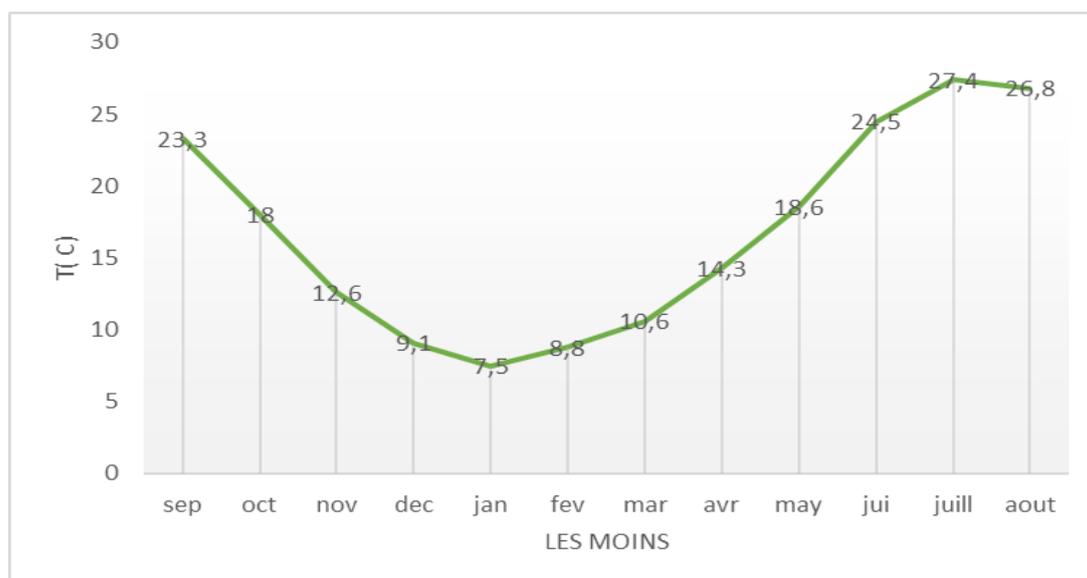
**Tableau 02 : Moyenne des Températures mensuelles**

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Ma.	Avr.	Mai.	Juin.	Juill.	Août	Moy
T ( C )	23,3	18	12,6	9,1	7,5	8,8	10,6	14,3	18,6	24,5	27,4	26,8	14,5

Les températures moyennes mensuelles sont représentées dans le tableau ci-dessous

L'analyse de la courbe des variations des moyennes mensuelles des températures (Graphique 01) montre que :

- ✓ Le mois le plus froid est le mois de Janvier avec une température moyenne mensuelle (7.5C°).
- ✓ Le mois le plus chaud est le mois de Juillet avec une température moyenne mensuelle (27.4C°).

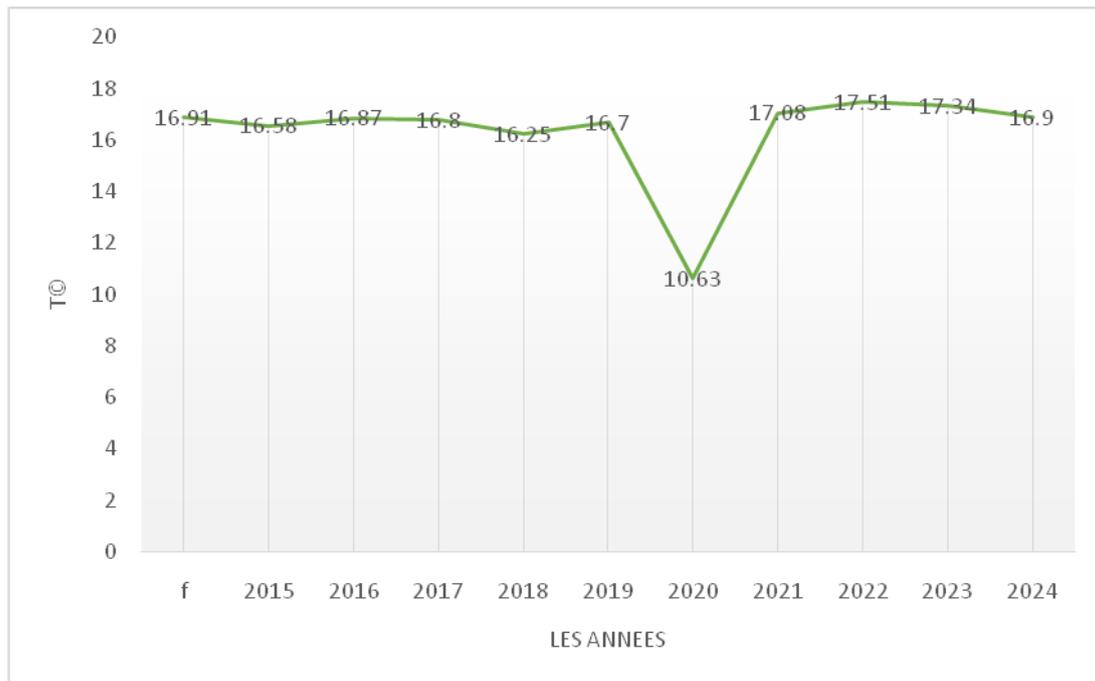


**Graphique 01 : Variation des températures moyennes mensuelles (2014-2024)**

### b- variation inter annuelle des températures

L'analyse de la courbe des variations des moyennes annuelles des températures (Graphique 02) montre que :

- ✓ L'année la plus froide est l'année 2020 avec une température moyenne annuelle de 10,66C°.
- ✓ L'année la plus chaude est l'année 2022 avec une température moyenne annuelle de 17,51C°.



**Graphique 02 :** Variations des températures moyennes inter annuelles (2014-2024)

Températures moyennes annuelles sont représentées sur le tableau suivant :

**Tableau 03 :** Moyenne des températures annuelles

Années	T (°C)
2014	16,91
2015	16,58
2016	16,87
2017	16,8
2018	16,25
2019	16,7
2020	10,66
2021	17,08
2022	17,51
2023	17,34
2024	16,9

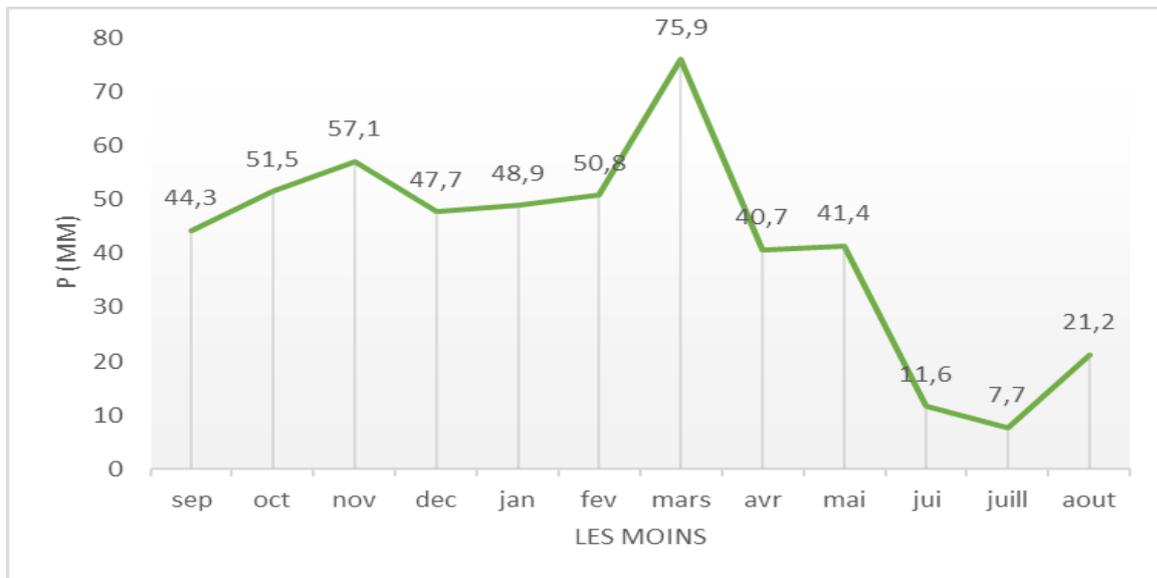
### 7.1.2 Précipitation

Les précipitations désignent l'eau qui tombe sur le sol sous forme de pluie, de neige, de grêle ou de grésil. Elles sont mesurées par un appareil appelée "pluviomètre" qui permet de connaître l'épaisseur d'eau tombée à un endroit, généralement se mesure en millimètres. Une épaisseur de précipitation d'un millimètre équivaut à un volume d'un litre d'eau réparti uniformément sur une surface plane d'un mètre carré (Berkal, 2016).

Selon Djbail (1978), les précipitations sont le principal facteur déterminant le type de climat. En effet, elles déterminent d'une part le maintien de la répartition du couvert végétal et d'autre part la dégradation du milieu naturel due aux phénomènes d'érosion.

#### a-Variation mensuelle de la précipitation

L'appartenance à une zone à faible pluviométrie atmosphérique s'explique par l'analyse des données pluviométriques de la zone sur une série d'observations bien définies (Graphique 03).



**Graphique 03:** Variations des précipitations moyennes mensuelles (2014-2024)

(Tableau 04) Montre les valeurs moyennes mensuelles durant cette période d'observation, nous pouvons admettre que la précipitation est très faible dans l'ensemble et présente une grande irrégularité de moyennes mensuelles.

**Tableau04: Moyenne de Précipitations mensuelles**

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Ma	Avr.	Mai	Juin	Juill	Août	Moy
P (mm)	44,3	51,5	57,1	47,7	48,9	50,8	75,9	40,7	41,4	11,6	7,7	21,2	41,56

Nous constatons un maximum de pluie au mois de mars (75,9mm) et un minimum de pluie au mois de Juillet (7,7mm).

### b- Variation inter –annuelle des précipitations

L'analyse de la courbe des variations inter annuelle des précipitations sur une période de 10 ans (2014-2024) (Graphique 01.) montre que l'année 2019 est la plus arrosés avec (661,1mm).



**Graphique 04 :** Variations des précipitations moyennes inter annuelles (2014-2024)

Utiliser les données de la station la plus proche de la zone d'étude, et qui est celle de Tébéssa. Dans cette station, nous avons une série d'observation de 10 ans (2014-2024). D'après la courbe de répartition inter annuelle de la précipitation, l'année (2019) est la plus pluvieuse (661.1mm) contre (256,22mm) pour l'année (2023), (Tableau 05.)

**Tableau 05: Précipitations moyennes annuelles (2014-2024)**

---

<b>Années</b>	<b>P (mm)</b>
<b>2014</b>	<b>465,4</b>
<b>2015</b>	<b>609,6</b>
<b>2016</b>	<b>522,8</b>
<b>2017</b>	<b>433,6</b>
<b>2018</b>	<b>603,3</b>
<b>2019</b>	<b>661,1</b>
<b>2020</b>	<b>537,6</b>
<b>2021</b>	<b>330,7</b>
<b>2022</b>	<b>325,7</b>
<b>2023</b>	<b>256,22</b>
<b>2024</b>	<b>56,64</b>

---

# **CHAPITRE II**

## **Matériel et Méthodes**

## **1. Matériel**

### **1.1. Description de la région des études**

La zone d'étude fait partie des zones semi-arides de l'Algérie. Méditerranée, à la frontière Algéro-Tunisienne. Elle appartient entièrement au bassin versant saharien et fait une partie intégrante des hauts plateaux qui forment un réseau serré de montagnes de moyenne à forte altitude plus ou moins séparées par des dépressions. Elle s'étend sur presque 140 Km<sup>2</sup> depuis Morsott au Sud jusqu'à El Aouinet au Nord.

### **1.2. Lieu et conditions de l'expérimentation**

Les analyses du sol ont été menées au laboratoire à la faculté de science, département de géologie (Université de Tébessa), l'expérimentation a été réalisée au cours de l'année universitaire 2023/2024.

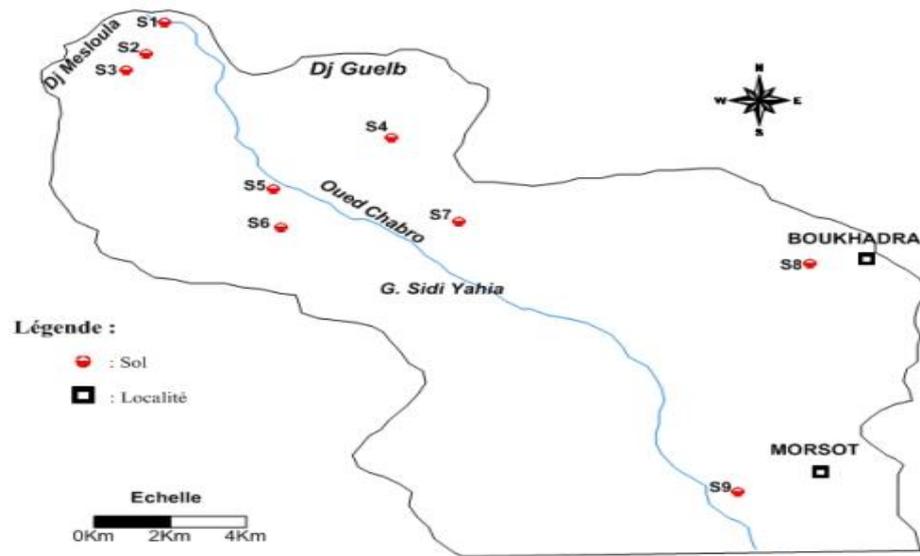
#### **- Sur le terrain**

### **1.3. Matériel utilisé pour l'échantillonnage**

- Une pelle.
- Des sachets en plastiques.
- Des étiquettes.
- Altimètre : pour mesurer l'altitude.
- GPS : pour déterminer les coordonnées géographiques des stations.
- Une tarière.

### **1.4. L'échantillonnage**

Une série de prélèvements des échantillons de sol ont été effectués sur une campagne dans toute la région d'étude ; durant le 09 mars 2024.



**Carte 03 :** Carte d'échantillonnage de sol de la région d'étude



**Figure 01 :** Des photos d'échantillonnages des sols ( Photo personnelle 2024)

L'échantillonnage de sol dans cette étude consiste à exploiter les principaux paramètres qui caractérisent chaque type de sol souterrain et qui sont représentés sur la carte d'échantillonnage de la région (Carte03), les prélèvements de sol ont été effectués sur une profondeur de (0-30 cm) (Figure 01). Le choix de cette profondeur est destiné aux analyses ont été prélevés au niveau de la couche superficielle à l'aide de tarière ; ces échantillons ont été recueillis dans des sacs. Les neuf échantillons du sol ont été séchés, broyés et tamisés à 2 mm.



**Figure 02:** Des photos du la région d'étude ( Photo personnelle )

## 1.5. Etude statistique des données

Dans les différentes zones d'échantillonnage ont été soumises à une analyse de corrélations ainsi qu'à une analyse en composantes principales (ACP) sur les moyennes des variables évaluées et en utilisant le logiciel XLSTAT et les cartes par logiciel du Surfeur.

## 1.6. Caractéristiques initiales du sol étudié

Des analyses chimique-physique du sol utilisé dans cette étude, ont été effectuées au niveau du laboratoire du géologie. 250 g du sol ont été séchés à l'air pendant 20 jours.

Par la suite, ils furent broyés à l'aide d'un mortier, tamisés (2mm), homogénéisés et conservés jusqu' au moment des analyses. Les caractéristiques chimiques et physiques des sols sont déterminées comme suite :

### 1.6.1. Les protocoles utilisés

#### 1.6.1.1 Matière organique (MO)

Sa teneur a été évaluée selon la méthode Walkey et Black, qui consiste à une oxydation à froid de la fraction organique du carbone par le bichromate du potassium ( $K_2Cr_2O_7$  à 1N) en milieu acide et un titrage en retour par sel du Mohr ( $SO_4Fe$ ,  $SO_4(NH_4)_2,6H_2O$  à 0,5N). Le résultat exprimé en fonction du C% par %. (**Annexe 01**)

#### 1.6.1.2. Carbone organique (C)

Est déterminé par la méthode à Anne., Bouneau et al. 1994, On oxyde le carbone organique d'un échantillon avec le bichromate du potassium en excès (en milieu acide) l'excès du bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par le carbone organique est alors titré par une solution du sel d Mohr (le sulfate ferreux). (**Annexe 01**)

#### 1.6.1.3. Azote (N)

Sa teneur a été évaluée selon la méthode Kjeldahl (NTK).

Après minéralisation du l'azote organique, l'ammoniac déplacé par une solution concentrée d'hydroxyde du sodium est entraîné par un courant du vapeur d'eau puis dosé par titrimétrie ou spectrophotométrie d'absorption moléculaire selon la méthode décrite pour le dosage du l'ammonium. (**Annexe 01**)

#### 1.6.1.4. Calcaire total (Ct)

Est déterminé par la méthode titrimétrique HCl 0.54 à l'aide à l'aide et une solution basique Na OH à 0.25 N et en utilisant le réactif de la phénophtaléine. (**Annexe 01**)

### **1.6.1.5. Phosphore assimilable (P2O5)**

Est déterminé par la méthode OLSEN dans la quelle l'extraction est faite par hydrogénocarbonate de sodium à pH égal à 8,5, cette méthode est basée sur la formation et la réduction d'un complexe l'acide ortho phosphorique et de l'acide molybdique (coloration bleu ciel), La lecture de la teneur de phosphore s'effectuée à l'aide d'un flame photomètre UV Visible-modèle JENWAY 6405 PFP 7. Le résultat exprimé en ppm.(Annexe 01)

### **1.6.1.6. Humidité**

La méthode consiste à sécher l'échantillon de terre à l'étuve à 105°C (ou à défaut avec l'alcool) jusqu'à un poids constant : la différence de poids avant et après séchage correspond à la quantité d'eau. (Annexe 01)

### **2.1.7. Porosité**

Permet d'estimer le volume total accessible à l'atmosphère du sol (aération) ou aux transferts et stockage d'eau (réservoir et réserve hydrique), la porosité dépend de la densité. (Annexe 01)

### **2.1.8. Densité réelle**

On mesure la densité réelle par détermination du poids sec et du poids du volume d'eau déplacée par les particules solides correspondant au volume des particules solides. (Annexe 01)

**CHAPITRE III**  
**Résultats**

## 1. Caractérisation des paramètres physico-chimiques des sols prélevés

Dans la partie Nord de Tébessa, le sol s'exprime avec des paramètres différents, on les étudiera de manière générale et on les illustrera par des situations typiques reconnues sur le terrain.

**Tableau 06 : Moyennes des résultats des analyses des sols (Mars 2024)**

Sol	Azote (ppm)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	MO (%)	Carbone (%)	Calcaire (%)	Humidité	Densité R	Porosité
S1	0,332	0,100	0,830	0,498	5,800	1,781	2,340	1,720
S2	0,448	0,000	1,120	0,672	4,340	3,440	2,320	6,163
S3	0,612	0,000	1,530	0,918	19,970	1,781	2,820	2,695
S4	0,290	0,000	0,730	0,440	7,140	0,125	2,500	3,160
S5	0,212	0,100	0,530	0,318	24,210	3,093	2,270	5,242
S6	0,224	0,000	0,560	0,336	35,000	0,376	2,140	2,383
S7	0,024	0,000	0,540	0,306	26,000	0,750	2,270	5,541
S8	0,024	0,100	0,060	0,036	38,730	1,010	2,380	5,126
S9	0,468	0,200	1,170	0,702	29,200	0,670	2,170	2,119

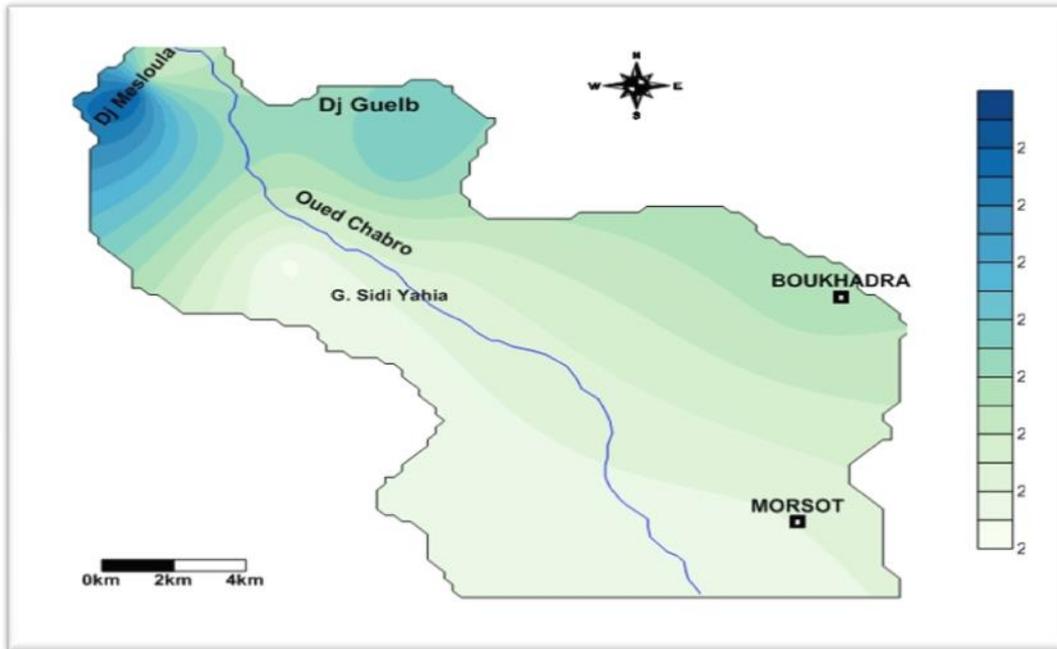
L'étude cartographique détaillée n'a pu être réalisée, ce qui aurait permis un recensement plus détaillé de quelques éléments physico-chimique étudiée de sol et de leur situation dans le paysage géo- pédologique. Cependant, la prospection de terrain a été longue et minutieuse, ce qui a permis d'observer de très nombreux profils et de présenter une synthèse des paramètres étudiée.

### 1.1. La densité réelle

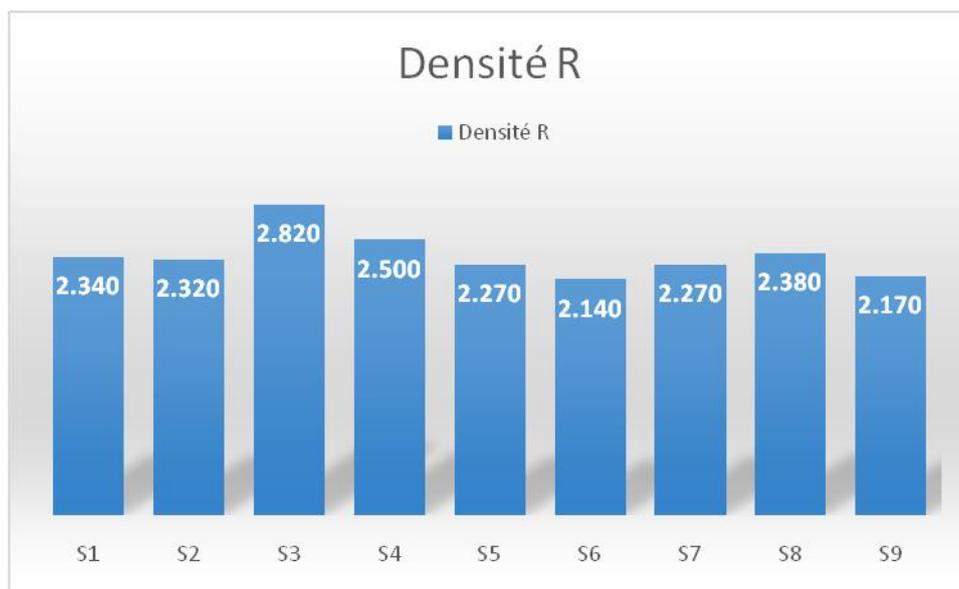
Dans la région d'étude, la densité réelle sont très proche d'une zone à l'autre entre (2.17 mg/l – 2.82mg/l).

Montre l'évolution des teneurs de la densité réelle a long d'un profil Sud-Nord dans la région d'étude.

Les sols du la région d'étude d'une texture argileuse depuis la densité réelle et ne sont pas agricoles.



**Carte 04:** la densité R du sol de la région d'étude (mg/l)



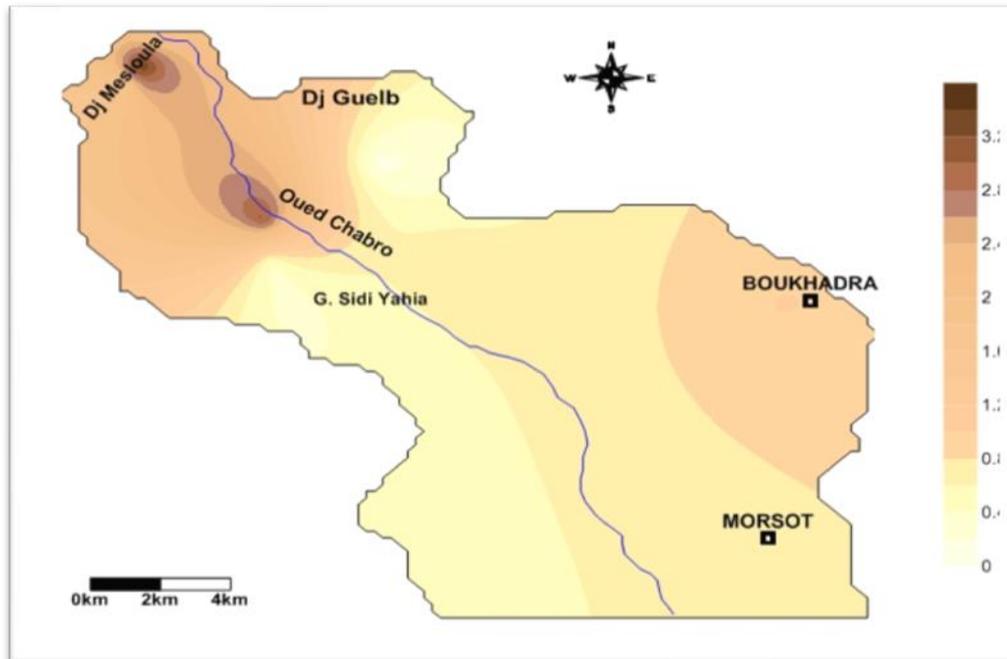
**Graphique 05 :** Variation des valeurs de la densité R dans le sol de la région d'étude

## 1.2. L'humidite

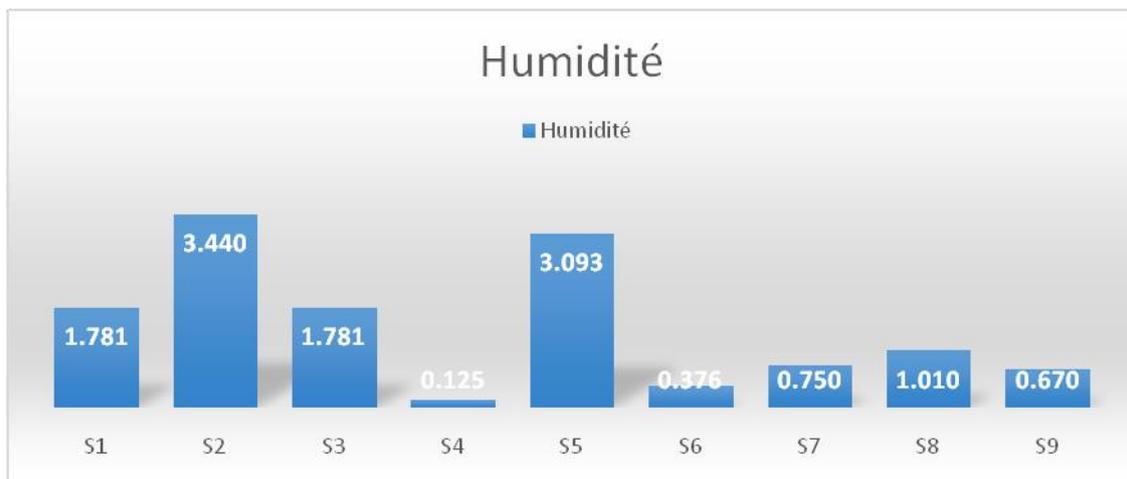
Au niveau de la région d'étude les teneurs de l'humidité sont très variables, un minimum à S4 (0.12 mg/l) et un maximum à S2 (3.44 mg/l).

les plus grandes teneurs se localisent dans le Nord-ouest de la région d'étude.

les plus faibles teneurs de humidité au niveau de Centre et le Sud de la région



**Carte 05** : l'humidité du sol de la région d'étude (mg/l)

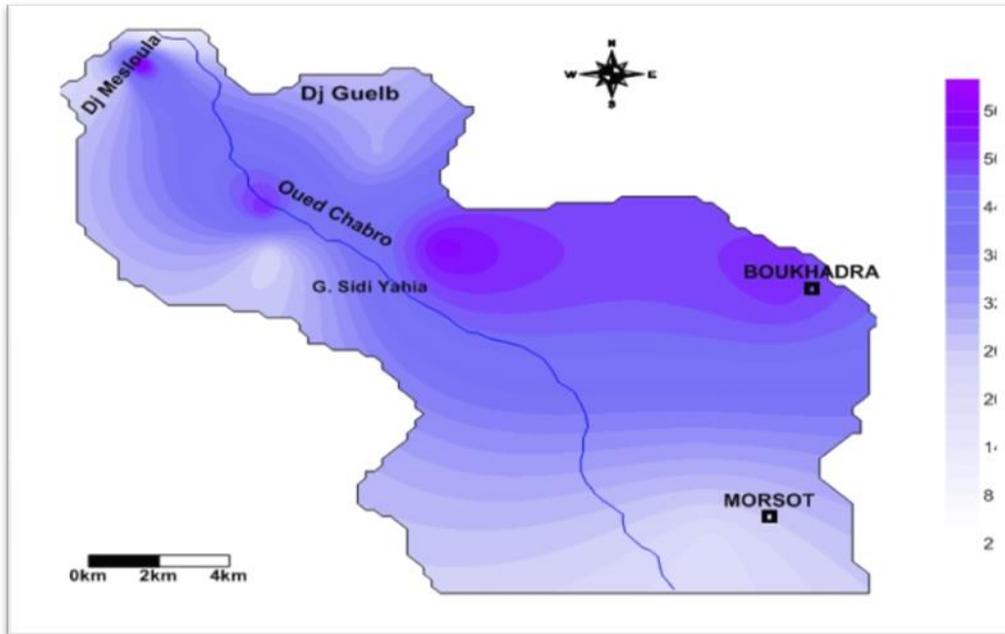


**Graphique 06** : variation des taux d'humidité du sol de la région d'étude

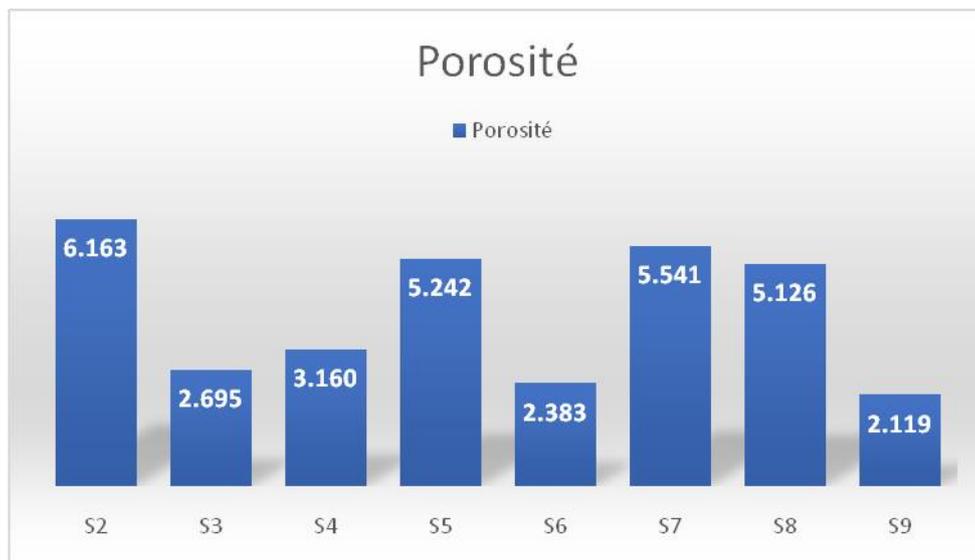
### 1.3. La porosité

Dans la région d'étude la porosité est le plus répandu, ses teneurs dans les échantillons des sols analysés varient entre S1(1.72 mg/l) et S2(61.63 mg/l) avec une moyenne au niveau de S3(26.83 mg/l) et S8(51.26 mg/l)

On remarque que les plus grandes valeurs au Nord-Est et Nord-Ouest de la région d'étude.



**Carte 06:** la porosité du sol de la région d'étude (mg/l)

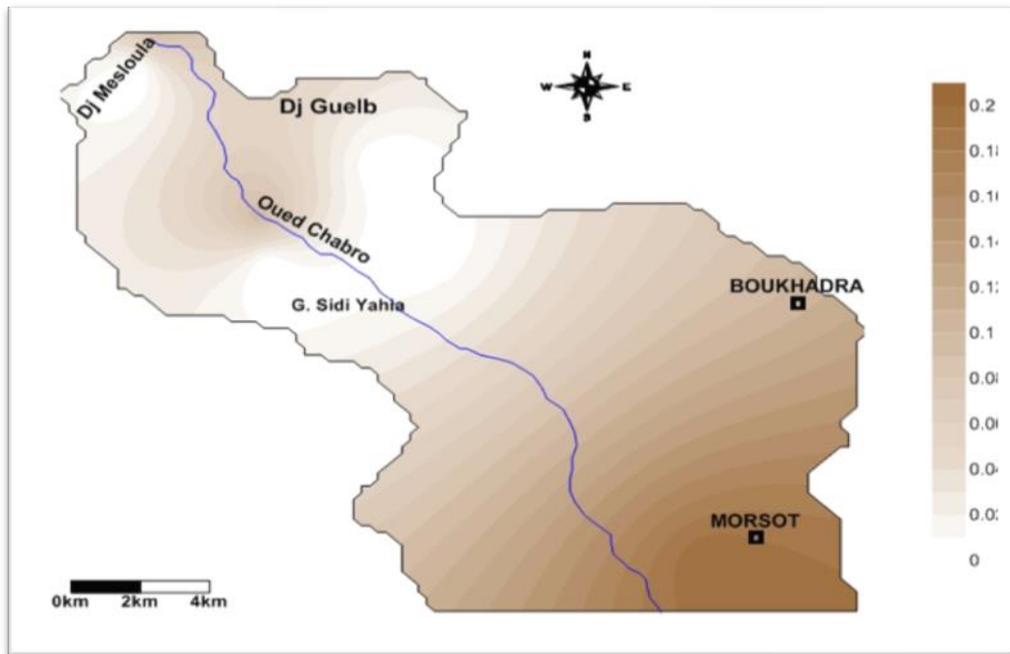


**Graphique 07:** Variation des valeurs de la porosité du sol de la région d'étude

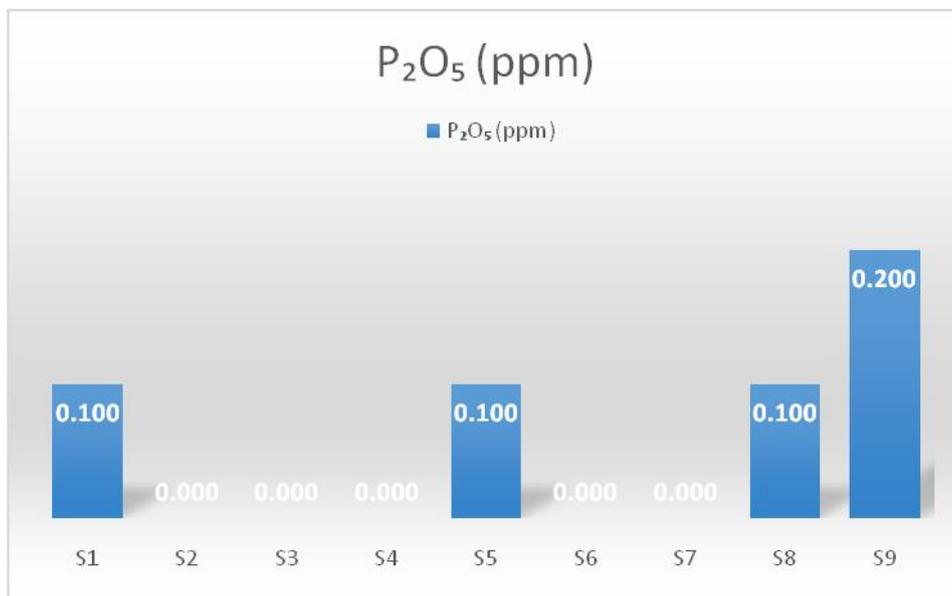
### 1.4. Le P2O5

Les concentrations de p2O5 c'est très nul au niveau de la région d'étude.

sauf les concentrations des échantillons S1 (0.100 mg/l) , S5(0.100 mg/l) ,S8 (0.100 mg/l), S9 (0.200 mg/l).



**Carte 07 :** le P2o5 du sol dans la région d'étude (mg/l)

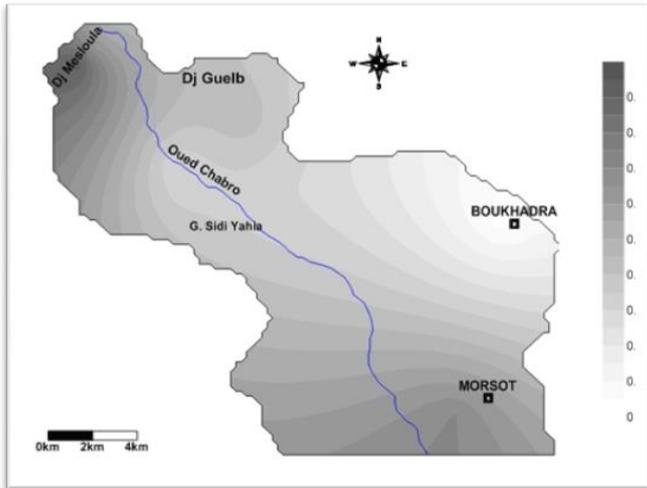


**Graphique 08:** Variation des valeurs de le P2O5 du sol de la région d'étude

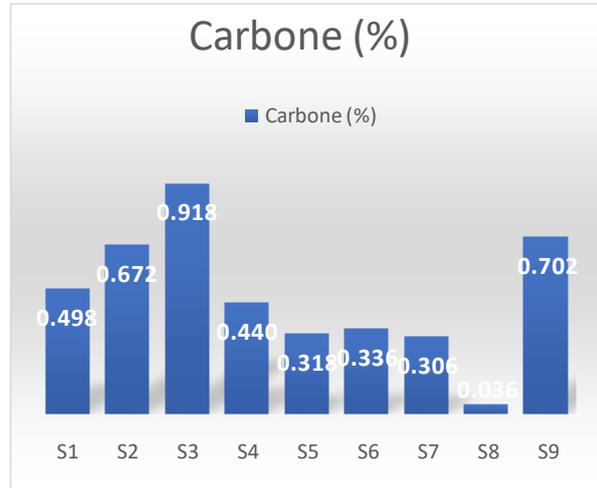
### 1.5. Le carbone et la matière organique

Dans la région d'étude, les concentrations de la matière organique des sols étudiés est évaluée à partir de taux de carbone total.

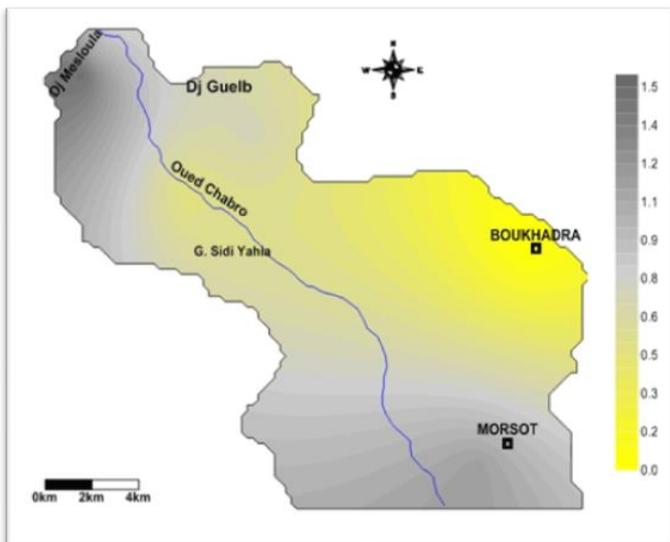
On remarque les teneurs les plus élevées de la matière organique et le carbone sont observées au niveau de Sud-Est et Nord-Ouest sont S3 (1.53 mg/l), S3 (0.91mg/l)



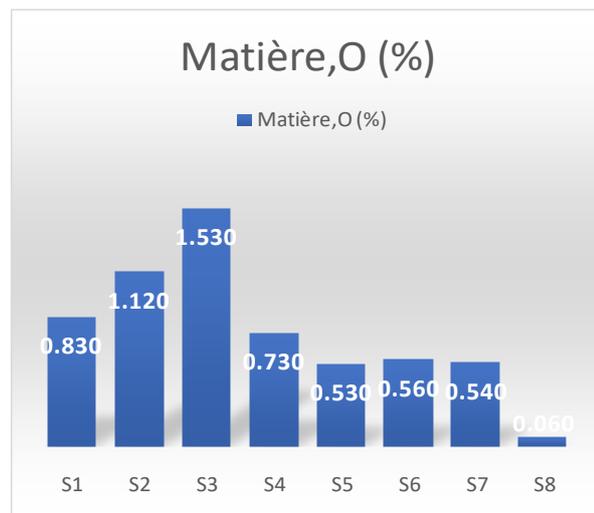
**Carte 08:** le carbone du sol de la région d'étude (mg/l)



**Graphique 09 :** Variation des valeurs du carbone dans le sol de la région d'étude



**Carte 09:** la matière organique du sol de la région d'étude (mg/l)

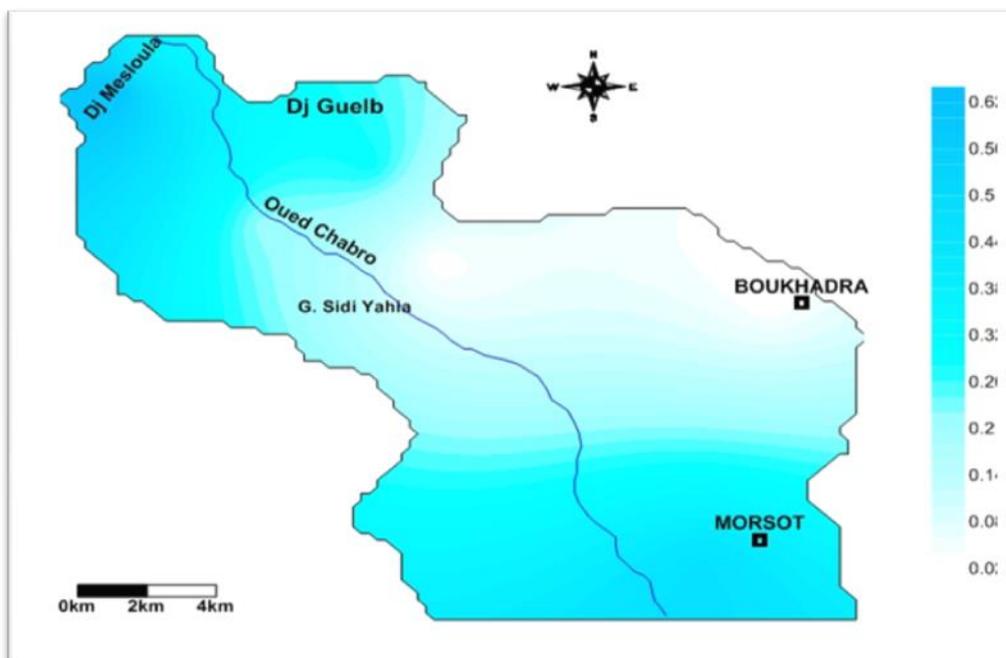


**Graphique 10 :** Variation des valeurs de la matière organique dans le sol de la région d'étude

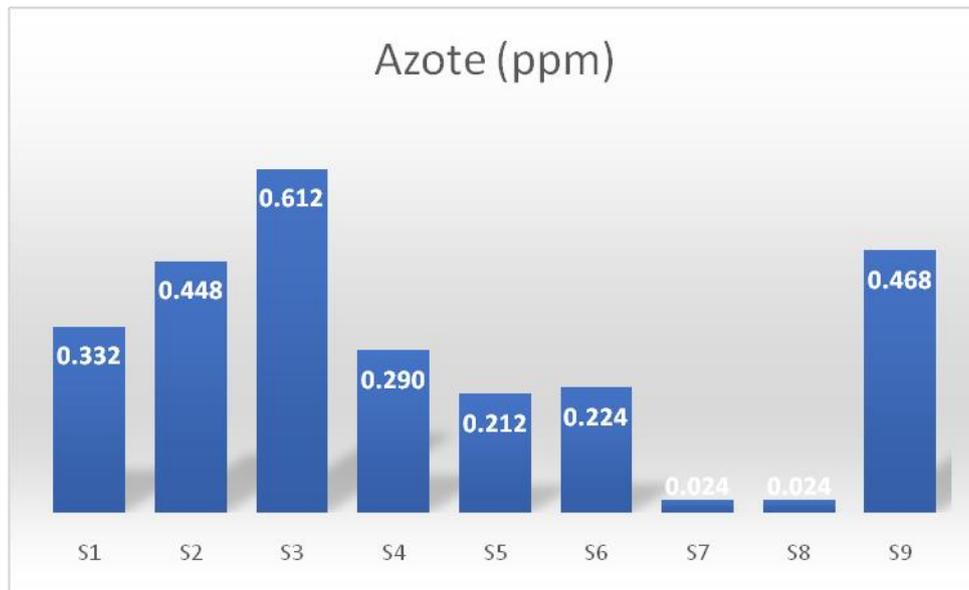
### 1.6. L'azote

Dans la région d'étude, Les concentrations d'azote les plus élevées sont observées au niveau des points des échantillons au Sud-Est et Nord-Ouest de la région d'étude S3(0.61mg/l), S9(0.46 mg/l).

Les faibles teneurs de l'azote (0.02 mg/l) dans les échantillons S7, S8 respectivement, peuvent être attribuées au faible processus surtout dans la région de Boukhadra, G.sidi yahia.



**Carte 10 : L'azote du sol dans la région d'étude (mg/l)**



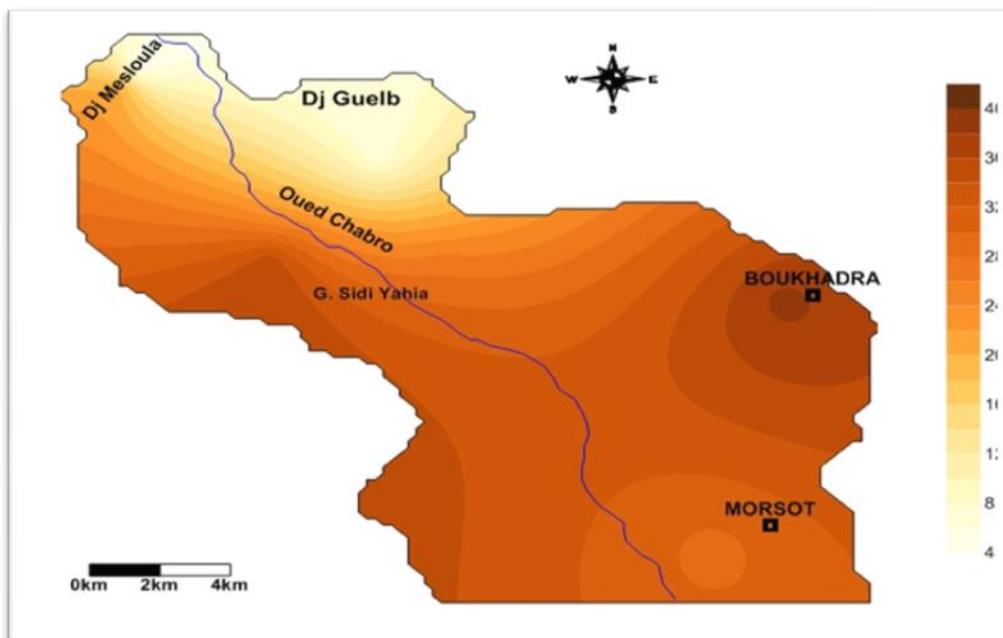
**Graphique 11:** Variation des valeurs de l'azote dans le sol de la région d'étude

### 1.7. Le calcaire total

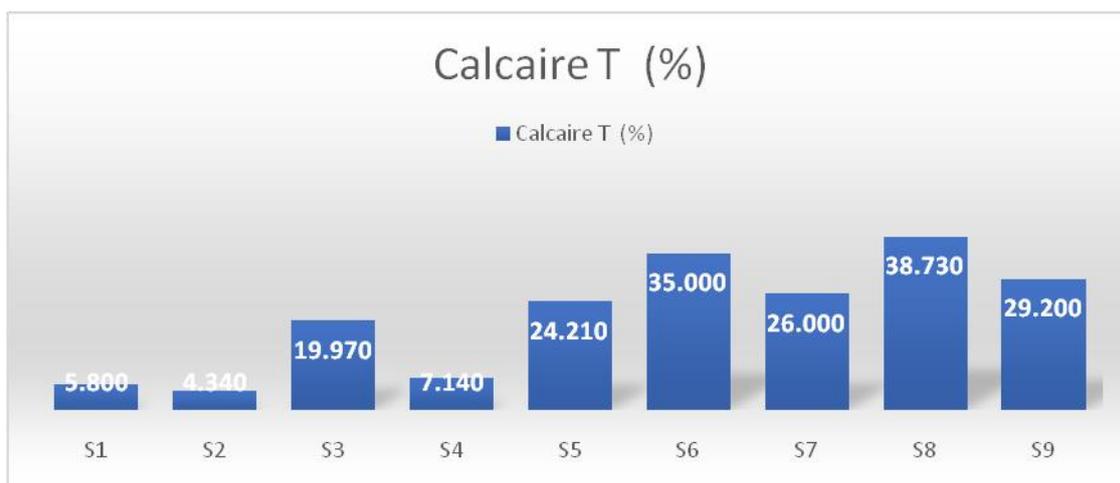
Au niveau de la région d'étude les concentrations de calcaire total sont très élevées sauf le Ouest-Nord.

Les faibles teneurs des échantillons de calcaire total sont S1(5.80 mg/l), S2(4.34 mg/l).

La forte valeur est localisée au niveau de l'échantillon S8(38.73 mg/l).



**Carte 11:** la carte d le calcaire total du sol dans la région d'étude



**Graphique 12:** Variation des valeurs du calcaire dans le sol de la région d'étude

## 2. Analyse statistique des éléments physico-chimiques

### 2.1. Corrélation inter-éléments

Les facteurs climatiques tels que l'élévation de l'évaporation et les précipitations faible et la nature de la roche mère, ainsi que les conditions édaphiques, influent sur les mécanismes chimiques et physiques des sols.

Pour une meilleure caractérisation de ces mécanismes et leurs évolutions, on a procédé à l'analyse statistique par corrélation des différents paramètres analysés durant toute la période d'investigation (les éléments physiques-chimiques).

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis d'établir une corrélation entre les paramètres étudiés, les coefficients de corrélation de l'azote, P205, la matière organique, le carbone, Calcaire total, L'humidité, la densité réelle et la porosité ont été calculés et les résultats sont présentés dans le Tableau 01.

**Tableau 08 : les coefficients de corrélation de l'analyse du sol**

Variables	Azote (ppm)	P2O5 (ppm)	Matière. O (%)	Carbone (%)	Calcaire T (%)	Humidité	Densité R	Porosité
Azote	1	-0.337	0.943	0.950	-0.588	0.408	0.642	-0.339
p205	-0.337	1	-0.497	-0.489	0.172	0.283	-0.202	-0.120

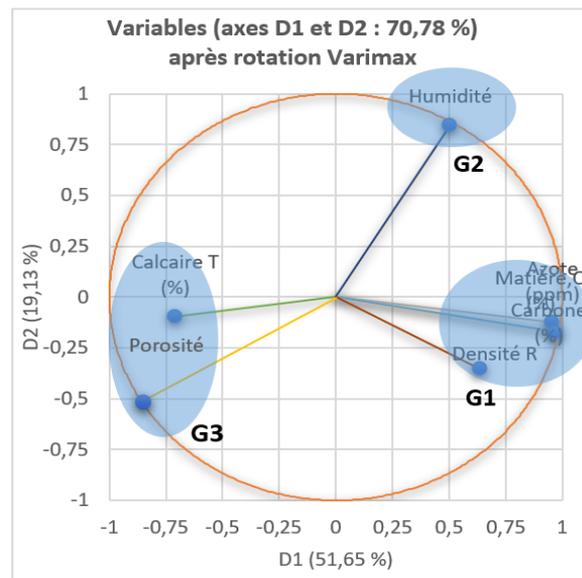
<b>Matière O</b>	<b>0.943</b>	-0,497	<b>1</b>	<b>1.000</b>	-0.601	0.360	0.646	-0.253
<b>Carbone</b>	<b>0.950</b>	-0.498	<b>1.000</b>	<b>1</b>	-0.603	0.363	0.649	-0.260
<b>Calcaire T</b>	-0.588	0.172	-0.601	-0.603	<b>1</b>	-0.357	0.249	0.225
<b>Humidité</b>	0.408	0.283	0.360	0.363	-0.357	<b>1</b>	0.005	0.348
<b>densité R</b>	0,642	-0.202	0,646	0.649	-0.249	0.005	<b>1</b>	-0.194
<b>Porosité</b>	-0,339	-0,120	-0,253	-0,260	0.225	0.348	-0.194	<b>1</b>

Les éléments chimiques-physiques des différents échantillons, montre une bonne corrélation avec le carbone et la matière organique (1.000), et entre le carbone et la matière organique et l'azote où le coefficient de bonne corrélation est égal à 0.943, 0,950 indique que l'azote augmente au fur et à mesure avec l'augmentation du matière organique et carbone, pour la plus part des échantillons analysés.

Le Tableau 08 montre une faible corrélation entre (Matière organique, Carbone, Densité R, Azote), dont les coefficients décorrélation sont égale à 0.642, 0.646 et 0.649, ce qui indique la diversité des origines géologiques de ces éléments.

Le Tableau 08 montre que la relation entre la densité réelle et l'azote marque une faible corrélation égale 0.642 et une moyenne corrélation de 0.649 entre le carbone et la densité réelle. L'Humidité, le Calcaire total, Porosité et P2O5 ne sont pas corrélable avec tous les éléments physico-chimiques.

Graphique 13, subdivisée en deux axes, permet la vérification d'une corrélation entre les paramètres physico-chimiques des échantillons du sols étudiés. Les axes (1) F1 et F2 présentent, respectivement, 52 ,71 % et, 18,07 %. Nous signalons qu'il y'a de fortes et de faibles corrélations entre quelques éléments, ce qui explique leurs origine différentes (géologie) et qui sont parfois soumis à des facteurs qui ne les affectent pas de même degré. Ainsi ces éléments se repartissent en trois (03) groupes différentes (G1, G2 et G3), en fonction de leur degré de corrélation.



**Graphique 13:**Corrélations entre les variables et les facteurs après rotation Varimax.

Le groupe (G1) est représenté par les variables identiques MO%, N%, C%, Densité R % qui sont positivement corrélées à l'axe F1. Contrairement le groupe (G2) qui est représenté par la variable d'Humidité % qui est positivement corrélée à l'axe F1 et Le Carbone total et la porosité classé au groupe (G3) ils sont négativement corrélés à ceux du l'axe.

# | Discussion

---

## Discussion

Le suivi est porté sur un certain nombre de paramètres physico-chimiques du sol, les résultats obtenus de l'étude sur les variables mesurées, nous ont permis de constater qu'au fur et à mesure, quand quelques valeurs physico-chimiques évoluent également dans le même sens, les concentrations de la matière organique des sols étudiés et évaluées à partir de taux de carbone total ce résultat d'analyses physico-chimiques s'accorde avec ceux obtenus (**Pellerin et al,2020**) et selon **Hubert et Schaub (2011)** la matière organique joue un rôle physique dans le sol pour la cohésion, la structure, la porosité la rétention ou le stockage de carbone, etc..

On a marqué une relation entre le phosphore, l'azote et le carbone nos résultats s'accordant avec ceux de (**Cleveland et Liptzin, D. 2007**) ont trouvé des rapports C, N et P remarquablement cohérents dans les réservoirs totaux de sol et dans la biomasse microbienne du sol.

On a obtenu des résultats négatifs pour le calcaire total qui est avec des valeurs très évolués dans toute la région d'étude entre (5,800mg/l \_38,730mg/l), D'après ce qui précède, concernant la variation des paramètres du sol en fonction de la salinité, d'effets des plantes étudiées, on peut conclure que l'accentuation de la salinité affecte l'ensemble des composantes physicochimiques mesurées du sol, mais avec une intensité, plus ou moins, variable (**Rezkallah, 2017**).

Ont constaté aucune relation entre l'humidité et le carbone, nos résultats ne concordent pas avec les résultats de (**Moyano et al, 2012**) qui ont montré une relation entre humidité du sol et les facteurs environnementaux les plus importants qui déterminent la productivité et le cycle du carbone dans les écosystèmes terrestres. On s'attend également à ce qu'il change de manière significative à l'échelle mondiale en raison du changement climatique au cours des prochaines décennies, ce qui pourrait entraîner des changements à grande échelle dans les stocks de carbone du sol dans différentes régions. L'humidité du sol va beaucoup jouer sur l'accessibilité des composés organiques par les décomposeurs et vice-versa (**IPCC, 2007 ; Burke and Brown, 2010**).

Selon **Duchaufour et al (2018)** qui montre une relation entre humidité et la porosité, Contrairement a nos résultats qui ont montré aucune relation entre les paramètres physiques étudiés (Densité réelle, Porosité, humidité) et cela remonte au climat semi-aride de la zone.

# | **Conclusion**

**Conclusion:**

Les résultats d'analyse des caractéristiques physiques et chimiques des sols étudiés ont montré que les sols ont une texture argileuse (depuis la densité réelle et la porosité). Les valeurs généralement sont très pauvres depuis les normes OMS et qui ne sont souvent pas pour l'agriculture, ces résultats témoignent que les sols de la zone d'étude sont sans pas agricoles.

Pour améliorer et amender ce sol, on a utilisé les méthodes suivantes:

- ✓ Les méthodes biologiques: culture des espèces halophytes.
- ✓ Les méthodes mécaniques: labour du sol et l'irrigation intensif.
- ✓ Fertilisation organique et minérale azoté et phosphaté.
- ✓ Les méthodes chimiques: quelques produits chimiques.

**Références  
Bibliographiques**

- Archambault, P., Schloss, IR., Grant, C. (2017).** Les hydrocarbures dans le golfe du Saint-Laurent - Enjeux sociaux, économiques et environnementaux. Notre Golfe, Rimouski, Qc, Canada : 324 p.
- Berkal, I. (2016).** École nationale supérieure agronomique (ENSA, A.) "Dynamique spatiotemporelle de la salinité de sols sableux irrigués en milieu aride. Application à une palmeraie de la cuvette de Ouargla en Algérie", p. 200.
- Boulal, H; Zaghouane, O; Mourid, M; Rezgui, S. ( 2007).** Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blé et orge) dans le maghreb (Algérie. Maroc. Tunisie), 176p.
- Benslama-zanache, H. (1998).** Contribution à l'étude de la diversité des microorganismes (champignons saprophytes) des sols du complexe humide d'el Kala, Nord-Algérien. « Cas des stations d'El-Khoubzi, Righia et Lac Noir ». Thèse magister.  
Université Annaba.
- BAGNOULS, Fr et GAUSSEN, H. (1957)** – Les climats biologiques et leur classification. In : Annales de géographie. Armand Colin, p. 193-220.
- Calvet, R. (2013).** Le sol : Constitution, propriétés physiques, physicochimiques et chimiques. Organismes vivants. Qualité des sols (20<sup>e</sup> Éd.). France Agricole Editions, 738 p.
- COMBEAU, A ; SEGALEN, P ; BACHELIER, G. (1970).** Etude du sol au laboratoire caractéristique physiques, chimiques, minéralogiques et biologiques.
- Cleveland, C ; Liptzin, D. (2007).** C: N: P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass? Biogeochemistry, 85(3), 235-252.
- Djebaili, S. (1990).** Syntaxonomie des groupements pré forestiers et steppiques de l'Algérie aride. In : *Ecologia mediterranea*, tome 16, pp. 231-244.
- Dreux, P. (1975).** Précis d'écologie. Ed. Univers France paris, 231 pages.
- ES-Skalli A. (2015).** Analyse physico-chimique des sols Agricoles. Mémoire de licence en sciences et techniques, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah de Fès, Maroc : 43 p.
- Erard, Ch; Ramade, F. (2003).** Eléments d'écologie. Ecologie fondamentale. 3e édition. Dunod, Paris. 2003. In : Revue d'Écologie (La Terre et La Vie), tome 58, n°4, p. 457.

---

**Fortier ; J-J. (2024).** Aqua Portail site d'aquariophilie et biologie créé et fondé en décembre 2006-2024.

**Jonard, F; Bogena, H; Caterina, D; Garré, S; Klotzsche, A; Moneris, A; Schwank, M; Von-Hebel, C. (2018).** Ground-based soil moisture determination. Springer International Publishing, 43p.

**Hubert, G ; Schaub, C. (2011).** *Lafertilisation* des sols. L'importance de la matière organique. Chambre d'Agriculture, Bas-Rhin. Service.

**IPCC.(2007).** The physical science Basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge university press, Cambridge, united Kingdom and New York, NY, USA.

**Gratzfeld, J. (2004).** Industries extractives dans les zones arides et semi-arides : Planification et gestion de l'environnement. Traduit par Danièle et Richard Dévitré. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni. + 112 p.

**Ghalmi, S. (2019).** Impact des sites miniers abandonnés sur l'environnement. Cas de la région Nord de Tébessa. (Extrême est Algérien), thèse de doctorat. Université de Tébessa.

**Moyano, F ; Vasilyeva, N ; Bouckaert, L ; Cook, F ; Craine, J ; Curiel Yuste, J ; Don, A ; Epron, D ; Formanek, P ; Franzluebbers, A ; Ilstedt, U ; Kätterer, T ; Orchard, V ; Reichstein, M ; Rey, A ; Ruamps, L ; Subke, J.-A ; Thomsen, I.K ; Chenu, C. (2012).** The moisture response of soil heterotrophic respiration: interaction with soil properties, *Biogeosciences* 9, 1173–1182.

**Notholt A.J.G.(1983).** Phosphorites. Six th International Field-Workshop and seminar on Phosphorites. I.G.C.P. 156. Maroc-Sénégal, oct.-nov. Strasbourg : Institut de Géologie Université Louis-Pasteur. pp. 18-21.

**Pärnpuu, S; Eastover, S.T; Pneu, P; Kauer, K. (2022).** Soil organic matter qualification with FTIR spectroscopy under different soil types in Estonia, *Geoderma Regional* 1, 10p.

**Pousset, J. (2000).** Engrais verts et fertilité des sols. Ed. Agri décisions, Paris. 287p.

**Pellirin, S ; Bamiere, L ; Launay, C ; Martin, R ; Schiavo, M ; Angres, D ; et Rechauchère, O. (2020).** Stocker du carbone dans les sols français. Doctorat dissertation, INRA.

**Remy ; Catteaux. (2015).** Etude de bio verres sol-gel à base de SiO<sub>2</sub>, CaO, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et dopés à l'argent, thèse de doctorat de sciences de la Matière du Rayonnement et de l'Environnement spécialité Molécules et Matière condensée, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis-France.

**Rezkallah,Ch.(2017).** Réhabilitation des sols salés du Nord de Tébessa (Morsott-El Aouinet-Boukhadra) par la plantation des espèces halophytes du genre atriplex (A. halimus- A. nummularia), thèse de doctorat. Université de BADJI MOKHTAR-ANNABA.

**Roxane,P. (2016).** Distribution spatiale du carbone organique et de l'azote dans lessols en fonction des zones de récurrence d'inondation Thèse de Doctorat. Université du Québec à Trois-Rivières,124p.

**Ronald, G; McLaren,Dr ;Keith,C ;Cameron. (1996).** Soil Science: An Introduction to the Properties and Management of New Zealand Soils Oxford University Press - 294 p.

**Shakir;M.(2020).** Phd Agricultural Geography, Wasit university, Article on soil characteristics and their impact on agricultural production in Al-Muwafaqiya district, Egypt.

**Zamanian, k ; Zhou, J et Kuzyakov, Y. (2021).** « Soil Carbonates: The Unaccounted, Irrecoverable Carbon Source », Geoderma, vol. 384, p. 114817, 2021, doi: 10.1016/j.geoderma.2020.114817.

**Zepner,L; Karrasch,P ; Wiemann ,F; Bernard; L. (2020).** ClimateCharts.net – an interactive climate analysis web platform, International Journal of Digital Earth.

<https://www.tutiempo.net/>

# | Annexes

## **ANNEXE 1**

### **Les protocoles utilise**

#### **Dosage du calcaire total (Méthode titrimétrique HCl 0.54).**

L'évaluation du calcaire totale a été réalisée à l'aide et une solution basique Na OH à 0.25 N et en utilisant le réactif de la phénophtaléine.

- ✓ Introduire 5g de terre fine ajouter exactement 50 ml de Hcl (0.5 N) dans une erlan pendant 5 minute et agiter pendant 2 heures à l'aide d'un agitateur avec une vitesse de 1 tour/seconde
- ✓ Filtrer la solution et lavée avec l'eau distillée jusqu' a 100 ml.
- ✓ Prendre 20ml dans un bécher + 3 goutts de phénophtaléine et titrer avec NaOH 0.25 N jusqu'la couleur rose.

$$\% \text{ de calcaire total} = 50 \times (N \text{ Hcl}) - (V_0 - V') \times (N \cdot \text{NaOH}) / 5g$$

<b>Calcaire totale</b>	<b>Classe du sol</b>
<b>&lt;1</b>	<b>Très faibles</b>
<b>1-3</b>	<b>Faible</b>
<b>4-12</b>	<b>Bien pourvu</b>
<b>13-25</b>	<b>Elevé</b>
<b>&gt;25</b>	<b>Très élevé</b>

#### **Dosage du phosphore (Méthode Joret-Herbert)**

- ✓ Prise d'essai 2g de sol broyé et tamisé
- ✓ Ajouter 4ml de perchlorique ( HCl 04) à 72 % ou 6 ml si sa concentration est 60 %
- ✓ Bien fermer l'erien et faire chaufferjusqu' à l'obtention d'une couleur blanchâtre
- ✓ Ajouter 30ml eau distillée, filtrer

- ✓ Rincer l'eren et compléter jusqu'à 100ml
- ✓ Prendre 2ml du filtrat dans une fiole de 100ml, ajouter 4ml de molybdate d'ammonium, puis 99.5 ml d'eau distillée puis 10 gouttes de SnCl<sub>2</sub> (chlorure d'étain).
- ✓ Lire au spectrophotomètre à 660 nm, le témoin suivre les mêmes étapes sans sol.

La gamme d'étalonnage réalisée avec le phosphate de potassium.

La droite de régression  $y = 0.0441455 + 0.36624X$  avec  $R^2 = 96$

### Classification

Classe du sol	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)
Très faible	<15
faible	15-30
Bien pourvu	30-45
Elevé	45-100
Très élevé	>100

### Dosage du carbone (%)

On oxyde le carbone organique d'un échantillon avec le bichromate de potassium en excès (en milieu acide) l'excès de bichromate non réduit par le carbone organique est alors titré par le carbone organique est alors titré par une solution de sel de Mohr (le sulfate ferreux).

Ce titrage se fait en présence d'un indicateur coloré, la diphénylamine qui vire au vert foncé lorsque l'excès de bichromate est réduit.

Introduire 1 g de sol tamisé à 2 mm dans ajouter une erlen, y ajout 10 ml de bichromate de potassium (8 %) et 13 ml d'acide sulfurique, porter à ébullition pendant 5 et laisser refroidir, transvaser dans un ballon et ajouter à 100 ml avec l'eau de rinçage de l'eren, prélever 20ml et diluer à 10 ml avec l'eau distillée, Ajouter 1 g de NaF et 3 à 4 gouttes de diphénylamine, traiter le sol avec le sel de Mohr à 0.2 N. La solution de couleur brune-noirâtre virera au vert (X ml de sel de Mohr).

**Matière organique :****M.O = % de Cx1.72****Classification**

<b>Classe du sol</b>	<b>MO (%)</b>
<b>Très pauvre</b>	<0,7
<b>Pauvre</b>	0,7-1,5
<b>Moyennement pauvre</b>	1,5-3
<b>Riche</b>	3-6
<b>Très riche</b>	>6

**Mesure de densité réelle**

On mesure la densité réelle par détermination du poids sec et du poids du volume d'eau déplacée par les particules solides correspondant au volume des particules solides.

**Mode opératoire**

- Prendre un cylindre à pied de 1000 ml.
- Remplir le cylindre avec l'eau distillée jusqu'à 500 ml.
- Peser le cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml.  Soit **M** le poids du cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml.
- Prendre la terre sèche de poids (P3 – P1) ( Voir TP de la mesure de l'humidité).
- Verser cette terre dans le cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml.
- Peser le cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml avec de la terre.
- Soit **N** le poids du cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml avec de la terre.

**Calcul**

Le poids de l'eau déplacée correspondant au volume de la partie solide de la terre (= volume réel) est :

$$\mathbf{VR} \text{ (en cm}^3\text{ )} = [\mathbf{M} + (\mathbf{P3} - \mathbf{P1})] - \mathbf{N}$$

La densité réelle est :

$$DR \text{ (en g/cm}^3\text{)} = (P3 - P1) / VR$$

### Classification

Densité réelle d'un sol argileux	2,2 à 2,9
Densité d'un sol ferrugineux	2,7
Densité réelle d'un sol de constitution moyenne	2,65
Densité réelle d'un sol carbonaté	2,5
Densité d'un sol humifère	2,3

### Mesure d'humidité

La méthode consiste à sécher l'échantillon de terre à l'étuve à 105°C (ou à défaut avec l'alcool) jusqu'à un poids constant : la différence de poids avant et après séchage correspond à la quantité d'eau.

### Mode opératoire

- Prendre un cylindre métallique de volume connu (diamètre = 5 cm et hauteur = 3,5 cm).
- Enfoncer avec la pression de la main seulement, au milieu de la couche qu'on veut analyser, le cylindre jusqu'à remplissage.
- Déblayer la terre d'un côté du cylindre.
- Introduire du côté déblayé une lame métallique (spatule, couteau, ets...) et soulever le cylindre plein.
- Couper la terre au ras du cylindre avec la lame.
- Prendre un creuset en porcelaine et le peser à vide.
- Soit **P1** le poids du creuset vide.
- Verser la terre du cylindre dans le creuset en porcelaine.
- Peser le creuset avec la terre.
- Soit **P2** le poids initial du creuset avec la terre fraîche (=poids avant la 1ère brûlure).
- Saturer la terre du creuset avec de l'alcool (ou éthanol).

- Brûler la terre saturée d'alcool jusqu'à extinction en la remuant de temps en temps.
- Laisser le creuset se refroidir 5 à 10 mm.
- Peser de nouveau le creuset avec la terre brûlée.
- Répéter la brûlure autant de fois jusqu'à stabilisation totale du poids.
- Soit **P3** le poids final du creuset avec la terre sèche (= poids après la dernière brûlure).

### Calcul

Humidité ou teneur en eau :

$$H \text{ (en g)} = P2 - P3$$

Taux d'humidité :

$$TH \text{ (en \%)} = [(P2 - P3) \times 100] / (P3 - P1)$$

### Mesure de densité réelle :

On mesure la densité réelle par détermination du poids sec et du poids du volume d'eau déplacée par les particules solides correspondant au volume des particules solides.

### Mode opératoire

- Prendre un cylindre à pied de 1000 ml.
- Remplir le cylindre avec l'eau distillée jusqu'à 500 ml.
- Peser le cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml.  Soit **M** le poids du cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml.
- Prendre la terre sèche de poids  $(P3 - P1)$  ( Voir TP de la mesure de l'humidité).
- Verser cette terre dans le cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml.
- Peser le cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml avec de la terre.
- Soit **N** le poids du cylindre plein d'eau jusqu'au repère 500 ml avec de la terre.

### Calcul

Le poids de l'eau déplacée correspondant au volume de la partie solide de la terre (= volume réel) est :

$$VR \text{ (en cm}^3\text{)} = [M + (P3 - P1)] - N$$

La densité réelle est :

$$D_R \text{ (en g/cm}^3\text{)} = (P_3 - P_1) / V_R$$

**Mesure de porosité :**

### Calcul de la porosité totale

A partir de la densité apparente ( $D_A$ ) et de la densité réelle ( $D_R$ ) déterminées précédemment, nous pouvons calculer la porosité totale :

$$D_A = (P_3 - P_1) / V_A \quad V_A = (P_3 - P_1) / D_A$$

$$D_R = (P_3 - P_1) / V_R \quad V_R = (P_3 - P_1) / D_R$$

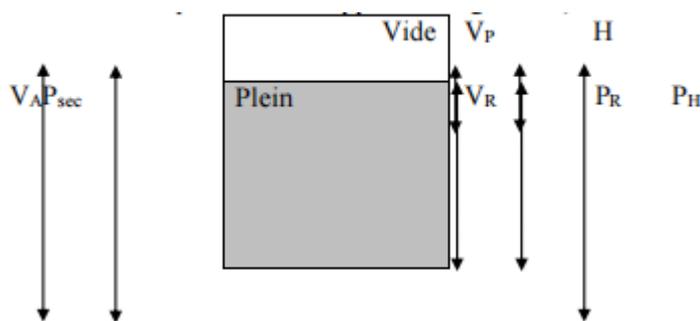
La porosité en volume est égale au volume des vides ou des pores ( $V_P$ ) :

$$P_T \text{ (en cm}^3\text{)} = V_P = V_A - V_R$$

La porosité totale exprimée en pourcentage est :

$$P_T \text{ (en \%)} = (V_A - V_R) \times 100 / V_A$$

$$= (D_R - D_A) \times 100 / D_A$$



$$D_A = P_S / V_A$$

$$D_R = P_R / V_R = P_S / (V_A - V_P)$$

$$D_H = (P_S + H) / (V_R + V_P) = P_H / V_A$$

$$D_i = D_H - V_R$$

$$P_T = V_A - V_R = V_P$$

$$P_T \% = (V_A - V_R) / V_A \times 100 = V_P / V_A \times 100$$

$$I_V = V_P / V_R = P_T / (V_R - P_T) \quad P_T = I_V / (V_R - I_V)$$

$$H = P_H - P_S = V_H$$

$$H \% = (P_H - P_S) / (P_S - \text{tare}) \times 100$$

$$S_R = V_H / V_A$$

$$S_R \% = 100$$

$$H_S = V_P / P_R \text{ d'où } D_H = D_A(V_R - H_S)$$

### Classification

porosité totale du sol (%)	Porosité du sol
<2%	Non poreux
2-5%	Peu poreux
5-15%	Moyennement poreux
15-40%	Poreux
>40%	Très poreux

### Dosage d'azote :

Méthode Kjeldahl (NTK):

Méthode après distillation:

Prélèvements

Conserver l'échantillon à 4 °C et effectuer le dosage dans les 24 heures qui suivent le prélèvement. En cas d'impossibilité, acidifier l'échantillon à  $H < 2$  à l'aide d'acide sulfurique.

- Matériel spécial
- Matras type Kjeldahl de 500 ml.
- Chauffe-ballon ou rampe de minéralisation.
- Appareil à distiller à entraînement par la vapeur.
- Agitateur magnétique.
- Réactifs
- Acide sulfurique pur ( $d = 1,83$ )
- Catalyseur de minéralisation:
  - sulfate de potassium 99,5g
  - sélénium en poudre 0,5g
- Broyer intimement les deux composants dans un broyeur étanche afin d'éviter la dispersion des très fines poussières de sélénium.
- Solution d'hydroxyde de sodium 6 N.
- Pour les autres réactifs se reporter au dosage de l'ammonium.

## ■ Mode opératoire

Dans un matras de 500 ml contenant quelques billes de verre, introduire une prise d'échantillon contenant de 0,2 à 20 mg d'ammonium puis 10 ml d'acide sulfurique concentré. Ajouter alors 1 g de catalyseur de minéralisation. Chauffer fortement. Dès l'apparition de fumées blanches, obturer le matras par une boule de verre à pointe effilée. Poursuivre l'attaque jusqu'à limpidité absolue de la solution. Laisser refroidir. Rincer le col et la boule de fermeture avec de l'eau permutée. Ajouter quelques gouttes d'antimousse. Adapter le matras sur l'appareil d'entraînement à la vapeur d'eau grâce à un bouchon traversé de trois tubulures: l'une en communication avec le ballon chaudière plonge au fond du matras, la seconde met le matras en communication avec une ampoule à décanter en forme de poire par l'inter- médiaire d'un robinet. La troisième permet le départ de l'ammoniac entraîné par la vapeur d'eau, elle est reliée à un réfrigérant vertical dont l'extrémité plonge dans un bécher contenant 25 ml de tampon borique.

L'agitation du tampon est assurée par un agitateur magnétique. L'appareil à entraînement est monté avec des raccords de caoutchouc silicone, ce qui lui confère une certaine souplesse.

Le matras étant monté sur l'appareil, introduire lentement dans l'ampoule 50 ml de solution d'hydroxyde de sodium 6 N, tout en agitant doucement le matras et en vérifiant l'alcalinité avec la phénolphtaléine qui a été mélangé à la solution d'hydroxyde de sodium. Commencer l'entraînement après avoir fermé le robinet de l'ampoule, et poursuivre comme pour la détermination de l'ammonium. Effectuer ensuite le dosage de l'ammonium selon une des méthodes déjà décrites.

## Classification

	L'azote(N)		
	Sol sableux	Sol moyenne	Sol argileux
<u>très faible</u>	<0,50	<0.70	<0,80
Faible	0,50-0,80	0.70-1.00	0.80-1,20
Bien pourvu	<b>0,81-1,20</b>	<b>1,01-1,50</b>	<b>1,21-1,60</b>
<u>élevé</u>	1,21-1,60	1,51-2,00	1,61-2,20
<u>très élevé</u>	>1,60	>2,00	>2,20

## Statistique descriptive

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Azote (ppm)	8	0	8	0,024	0,612	0,271	0,200
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	8	0	8	0,000	0,100	0,038	0,052
Matière,O (%)	8	0	8	0,060	1,530	0,738	0,440
Carbone (%)	8	0	8	0,036	0,918	0,441	0,265
Calcaire T (%)	8	0	8	4,340	38,730	20,149	13,318
Humidité	8	0	8	0,125	3,440	1,544	1,219
Densité R	8	0	8	2,140	2,820	2,380	0,205
Porosité	8	0	8	1,720	61,630	38,103	20,442

### Statistique descriptive (

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Azote (ppm)	1	0	1	0,468	0,468	0,468	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	1	0	1	0,200	0,200	0,200	
Matière,O (%)	1	0	1	1,170	1,170	1,170	
Carbone (%)	1	0	1	0,702	0,702	0,702	
Calcaire T (%)	1	0	1	29,200	29,200	29,200	
Humidité	1	0	1	0,670	0,670	0,670	
Densité R	1	0	1	2,170	2,170	2,170	
Porosité	1	0	1	21,190	21,190	21,190	

### Test de sphéricité de Bartlett :

Khi <sup>2</sup> (Valeur observée)	-Inf
Khi <sup>2</sup> (Valeur critique)	41,337

---

<b>DDL</b>	<b>28</b>
<b>alpha</b>	<b>0,05</b>

---

Mesure de précision de l'échantillonnage de Kaiser-Meyer-Olkin :

---

Azote (ppm)  
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (ppm)  
Matière,O (%)  
Carbone (%)  
Calcaire T (%)  
Humidité  
Densité R  
Porosité

---

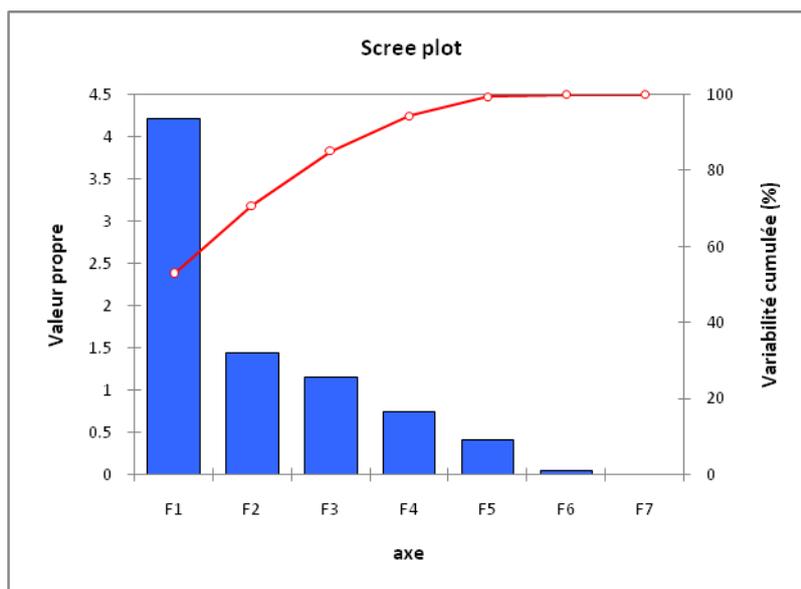
KMO

---

### Analyse en Composantes Principales :

Valeurs propres :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Valeur propre	4,217	1,446	1,148	0,736	0,403	0,050	0,000
Variabilité (%)	52,710	18,074	14,354	9,196	5,036	0,630	0,000
% cumulé	52,710	70,784	85,137	94,334	99,370	100,000	100,000



Vecteurs propres :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Azote (ppm)	0,469	0,037	0,084	0,071	0,243	-0,812	-0,198
-							
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	0,215	0,350	0,693	0,314	-0,105	0,085	-0,476
Matière,O (%)	0,480	0,000	-0,074	0,011	0,180	0,441	-0,144
Carbone (%)	0,481	0,001	-0,064	0,014	0,182	0,349	-0,402
-							
Calcaire T (%)	0,332	-0,181	-0,183	0,595	0,684	0,038	-0,002
Humidité	0,170	0,765	0,059	0,060	0,247	0,073	0,549
Densité R	0,335	-0,198	0,021	0,708	-0,501	0,018	0,305
-							
Porosité	0,143	0,468	-0,683	0,192	-0,292	-0,097	-0,397

Coordonnées des variables :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Azote (ppm)	0,964	0,044	0,090	0,060	0,154	-0,182	-0,001
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	-0,441	0,421	0,742	0,269	-0,067	0,019	-0,002
Matière,O (%)	0,985	0,000	-0,080	0,009	0,114	0,099	-0,001
Carbone (%)	0,988	0,002	-0,068	0,012	0,116	0,078	-0,002
Calcaire T (%)	-0,682	-0,218	-0,196	0,511	0,434	0,008	0,000
Humidité	0,350	0,920	0,063	0,051	0,157	0,016	0,002
Densité R	0,688	-0,238	0,023	0,607	-0,318	0,004	0,001
Porosité	-0,294	0,563	-0,731	0,165	-0,185	-0,022	-0,002

Corrélations entre les variables et les facteurs :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Azote (ppm)	0,964	0,044	0,090	0,060	0,154	-0,182	-0,001
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	-0,441	0,421	0,742	0,269	-0,067	0,019	-0,002
Matière,O (%)	0,985	0,000	-0,080	0,009	0,114	0,099	-0,001
Carbone (%)	0,988	0,002	-0,068	0,012	0,116	0,078	-0,002
Calcaire T (%)	-0,682	-0,218	-0,196	0,511	0,434	0,008	0,000
Humidité	0,350	0,920	0,063	0,051	0,157	0,016	0,002
Densité R	0,688	-0,238	0,023	0,607	-0,318	0,004	0,001
Porosité	-0,294	0,563	-0,731	0,165	-0,185	-0,022	-0,002

Contributions des variables (%) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Azote (ppm)	22,037	0,135	0,704	0,497	5,910	65,940	3,923
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	4,615	12,242	47,988	9,851	1,109	0,726	22,677
Matière,O (%)	23,019	0,000	0,553	0,012	3,247	19,488	2,082
Carbone (%)	23,138	0,000	0,405	0,021	3,320	12,199	16,141
Calcaire T (%)	11,021	3,284	3,360	35,457	46,735	0,142	0,001
Humidité	2,905	58,512	0,349	0,355	6,105	0,526	30,152
Densité R	11,221	3,915	0,046	50,113	25,070	0,031	9,285
Porosité	2,045	21,911	46,594	3,694	8,503	0,947	15,739

Cosinus carrés des variables :

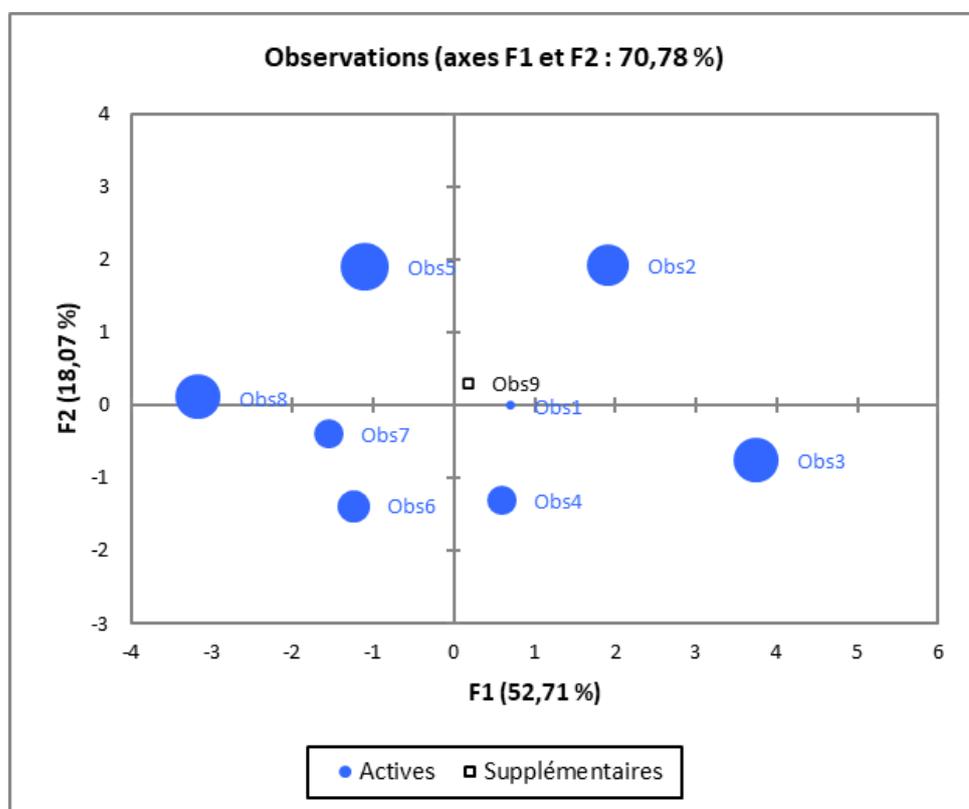
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Azote (ppm)	<b>0,929</b>	0,002	0,008	0,004	0,024	0,033	0,000
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	0,195	0,177	<b>0,551</b>	0,072	0,004	0,000	0,000
Matière,O (%)	<b>0,971</b>	0,000	0,006	0,000	0,013	0,010	0,000
Carbone (%)	<b>0,976</b>	0,000	0,005	0,000	0,013	0,006	0,000
Calcaire T (%)	<b>0,465</b>	0,047	0,039	0,261	0,188	0,000	0,000
Humidité	0,122	<b>0,846</b>	0,004	0,003	0,025	0,000	0,000
Densité R	<b>0,473</b>	0,057	0,001	0,369	0,101	0,000	0,000
Porosité	0,086	0,317	<b>0,535</b>	0,027	0,034	0,000	0,000

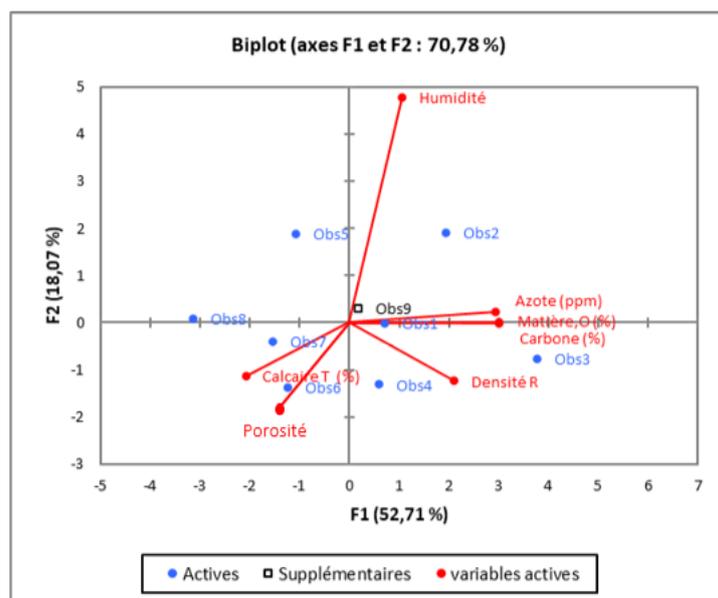
*Les valeurs en gras correspondent pour chaque variable au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand*

Coordonnées des observations :

Observation	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Obs1	0,716	-0,018	2,408	-0,752	-0,051	0,177	0,003
Obs2	1,930	1,905	-1,101	-0,794	-0,009	-0,153	0,005
Obs3	3,764	-0,767	-0,187	1,448	0,287	0,085	0,000
Obs4	0,597	-1,313	-0,163	-0,555	-1,132	-0,244	-0,004
Obs5	-1,080	1,883	0,434	0,384	0,234	-0,002	-0,008
Obs6	-1,243	-1,383	-0,295	-0,651	1,271	-0,179	0,000
Obs7	-1,540	-0,401	-1,335	-0,343	-0,253	0,474	0,000
Obs8	-3,144	0,094	0,239	1,263	-0,347	-0,158	0,005
Obs9	0,174	0,299	2,670	0,597	1,397	0,299	-2,788

Les résultats correspondant aux observations supplémentaires sont affichés dans la seconde partie du tableau





Contributions des observations (%) :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Obs1	1,519	0,003	63,121	9,620	0,079	7,774	5,383
Obs2	11,045	31,356	13,203	10,706	0,003	5,781	15,406
Obs3	41,999	5,080	0,380	35,638	2,562	1,799	0,043
Obs4	1,058	14,908	0,289	5,235	39,774	14,749	11,487
Obs5	3,458	30,653	2,049	2,503	1,694	0,001	47,142
Obs6	4,579	16,531	0,948	7,201	50,159	7,963	0,119
Obs7	7,033	1,393	19,389	1,996	1,983	55,705	0,002
Obs8	29,310	0,077	0,621	27,101	3,745	6,229	20,417

Cosinus  
carrés des  
observations :

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Obs1	0,074	0,000	<b>0,839</b>	0,082	0,000	0,005	0,000
Obs2	<b>0,404</b>	0,393	0,132	0,068	0,000	0,003	0,000
Obs3	<b>0,834</b>	0,035	0,002	0,124	0,005	0,000	0,000
Obs4	0,095	<b>0,459</b>	0,007	0,082	0,341	0,016	0,000

Obs5	0,229	<b>0,695</b>	0,037	0,029	0,011	0,000	0,000
Obs6	0,275	<b>0,340</b>	0,016	0,075	0,288	0,006	0,000
Obs7	<b>0,503</b>	0,034	0,377	0,025	0,014	0,048	0,000
Obs8	<b>0,845</b>	0,001	0,005	0,136	0,010	0,002	0,000
Obs9	0,002	0,005	0,409	0,020	0,112	0,005	<b>0,446</b>

Les résultats correspondant aux observations supplémentaires sont affichés dans la seconde partie du tableau  
Les valeurs en gras correspondent pour chaque observation au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand

### Résultats après la rotation Varimax

:

Matrice de rotation :

	D1	D2
D1	0,985	-0,175
D2	0,175	0,985

Pourcentage de la variance après rotation Varimax

	D1	D2	F3	F4	F5	F6	F7
Variabilité (%)	51,650	19,133	14,354	9,196	5,036	0,630	0,000
% cumulé	51,650	70,784	85,137	94,334	99,370	100,000	100,000

Coordonnées des variables après rotation Varimax :

	D1	D2
Azote (ppm)	0,957	-0,125
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	-0,361	0,491
Matière, O (%)	0,970	-0,172
Carbone (%)	0,973	-0,171
Calcaire T (%)	-0,709	-0,095
Humidité	0,505	0,844
Densité R	0,636	-0,355
Porosité	-0,191	0,606

Corrélations entre les variables et les facteurs après rotation Varimax :

	D1	D2
Azote (ppm)	0,957	-0,125
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	-0,361	0,491
Matière, O (%)	0,970	-0,172
Carbone (%)	0,973	-0,171

Calcaire T (%)	-0,709	-0,095
Humidité	0,505	0,844
Densité R	0,636	-0,355
Porosité	-0,191	0,606

Contributions des variables (%) après rotation Varimax :

	D1	D2
Azote (ppm)	22,157	1,022
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	3,150	15,776
Matière,O (%)	22,771	1,944
Carbone (%)	22,904	1,911
Calcaire T (%)	12,176	0,594
Humidité	6,183	46,584
Densité R	9,779	8,213
Porosité	0,880	23,956

Cosinus carrés des variables après rotation Varimax :

	D1	D2
Azote (ppm)	<b>0,916</b>	0,016
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	0,130	<b>0,241</b>
Matière,O (%)	<b>0,941</b>	0,030
Carbone (%)	<b>0,946</b>	0,029
Calcaire T (%)	<b>0,503</b>	0,009
Humidité	0,255	<b>0,713</b>
Densité R	<b>0,404</b>	0,126
Porosité	0,036	<b>0,367</b>

*Les valeurs en gras correspondent pour chaque variable au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand*  
Coefficients de transformation après rotation Varimax :

	D1	D2
Azote (ppm)	0,230	-0,010
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	-0,052	0,305
Matière,O (%)	0,230	-0,041
Carbone (%)	0,231	-0,040
Calcaire T (%)	-0,186	-0,120
Humidité	0,193	0,612
Densité R	0,132	-0,191
Porosité	0,000	0,395

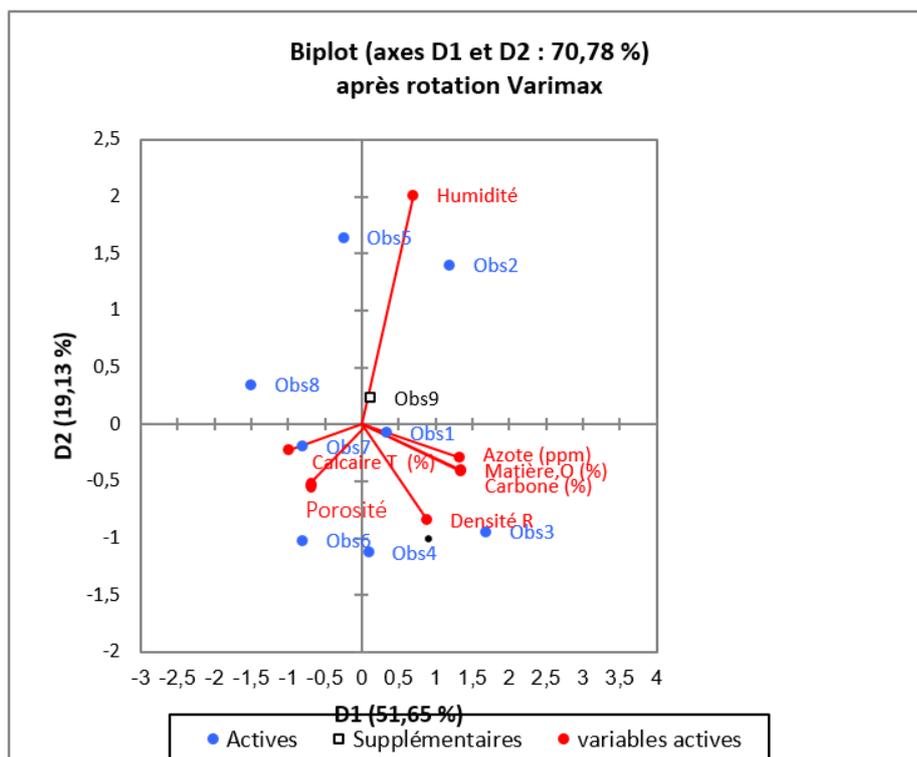
Coordonnées des observations après rotation Varimax :

	D1	D2
--	----	----

---

Obs1	0,341	-0,076
Obs2	1,202	1,395
Obs3	1,693	-0,948
Obs4	0,095	-1,126
Obs5	-0,244	1,634
Obs6	-0,797	-1,026
Obs7	-0,797	-0,197
Obs8	-1,494	0,345
Obs9	0,127	0,230

*Les résultats correspondant aux observations supplémentaires sont affichés dans la seconde partie du tableau*



Cosinus carrés des observations après rotation Varimax :

	D1	D2
Obs1	0,018	0,001
Obs2	0,275	0,370
Obs3	0,479	0,150
Obs4	0,003	0,429
Obs5	0,019	0,856
Obs6	0,165	0,274
Obs7	0,222	0,014
Obs8	0,538	0,029
Obs9	0,001	<b>0,003</b>

*Les résultats correspondant aux observations supplémentaires sont affichés dans la seconde partie du tableau*

*Les valeurs en gras correspondent pour chaque observation au facteur pour lequel le cosinus carré est le plus grand*