



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**UNIVERSITE ABBES LAGHROUR -KHENCHELA**

**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE**

**DEPARTEMENT : Ecologie & Environnement**

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de**

**MASTER**

**FILIERE : Ecologie et Environnement**

**OPTION : Ecologie Fondamentale et Appliquée**

**Thème**

**Etude de l'effet d'apport des turricules sur quelques caractéristiques physico-chimiques du sols et leur impact sur la croissance de la laitue**

**Présenté par :**

**Cekhab Khaoula & Boumaàza Salwa**

**Soutenu le : 07/07/2019.**

**Jury de soutenance :**

**Présidente : Kadi K. MCA Université khenchela**

**Promotrice : Addad D. MCB Université khenchela**

**Examinatrice : Harrat N. MAA Université khenchela**

**Promotion : 2019/2020**

## **Remerciement**

*Ce mémoire ne serait pas ce qu'il est sans la collaboration, l'aide et le soutien de nombreuses personnes. Il nous permis de vivre une expérience très enrichissante au niveau professionnel et humain.*

*Nous tenons tout d'abord à remercier **Dieu** le tout puissant, qui nous a donné le courage, la patience et la santé durant toutes ces années d'études afin que nous puissions en arriver là.*

*Nos sincères remerciements sont exprimés agréablement à Madame '**Addad Dalila'** pour nous avoir guidé et encadrée dans notre travail de recherche jusqu'à la réalisation de ce manuscrit. Nous la remercions pour leur confiance, leur patience, et leurs conseils indispensables à notre maturation scientifique.*

*Nous tenons également à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de participer pleinement à notre soutenance, tout particulièrement :*

*KADIK pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury*

*HARRAT.N pour avoir examiné notre mémoire*

*Un grand merci au Chef de laboratoire de biologie Meme **Chorfi Rafika**, et tous l'équipes du laboratoire qu'il soit :à **Md Bourakba Souad** , **Abd Nour** pour leur aide, conseils et surtout leur gentillesse*

*Enfin, nous remercions chaleureusement nos collègues de l'écologie fondamental et appliqué 2017, avec qui nous avons partagé ces années, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce présent travail*

# *Sommaire*

**Remerciement**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des sigles, symboles et abréviations**

**Liste des annexes**

**ملخص**

**Résumé**

**Abstract**

**INTRODUCTION GENERALE**

## **PARTIE 1 : étude bibliographique**

<b>1-Ver de terre «lombric» : organisme ingénieur des sols</b>	<b>1</b>
1.1 Catégorie écologique ou groupe fonctionnels	2
1.2 Biologie des vers de terre	4
1.3 Impact des vers de terre sur le sol	5
4. Interaction sol et vers de terre	6
1.4.1le PH et le type de sol	6
1.4.2La température et l'humidité du sol	7
1.4.3La matière organique	7
<b>2. Propriétés physico-chimiques des sols</b>	<b>8</b>
2.1 Texture	8
2.2 La structure	9
2.3PH et conductivité électriques	9
2.4Matières organique	10
2.5L'azote minéral	11
2.6 Eléments minéraux du sol	12
2.7 Teneur en eau d'un sol	12
2.8Complex absorbant	13
<b>3 .Effet d'apport des turriculés sur les propriétés de sol</b>	<b>13</b>
3.1 Composition minérale des turriculés	14
3.2 Influence turriculés sur la caractéristique physico-chimique de sol	14

3.2. 1	Modification de la structure du sol	14
3.2.2	Granulométrie des turriculé	14
3.2.3	Teneurs en nutriment d'un turriculé	15
<b>4.</b>	<b>Interaction plant-sol-ver de terre</b>	<b>15</b>
4.1.	Action mécanique	15
4. 2	Action sur la chimie du sol	16
4.3	L'effet des vers de terres sur les plantes	17
<b>Partie 2 : Matériels et méthodes</b>		
<b>1.</b>	<b>Présentation de la zone d'étude</b>	
1.1	Situation géographique	<b>18</b>
1.2	Pépinière E.R.G.R- AURES de Kaïs	<b>19</b>
<b>2.</b>	<b>Reconduite de l'essai</b>	
2.1	Récolte des turriculés dans la prairie préurbaine de la ville de Sétif	20
2.2	Description du matériel végétal	20
2.3	Installation de l'essai dans la pépinière de Kaïs	21
<b>3.</b>	<b>Les analyses physico-chimiques des sols et des turriculés</b>	<b>22</b>
<b>3.1</b>	<b>Analyses de sol</b>	
3.1.1	pH	22
3.1.2	Conductivité Electrique	23
3.1.3	Carbone Organique Total (COT%) et la matière organique (MO%)	24
3.1.4	Calcaire Total (CaCO <sub>3</sub> )	25
3.1.5	Cations majeur (Ca <sup>+2</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> )	26
3.1.6	Dosage de l'azote total	27
3.1.7	Granulométrie	29
<b>3.2.</b>	<b>Variables mesurés sur la laitue</b>	
3.2.1	Chlorophylle	29
3.2.2	Surface foliaire	30
3.2.3	Biomasse total et biomasse aérienne	30
3.2.4	Nbr de feuilles et de racines	30
<b>4.</b>	<b>Etude statistique</b>	<b>30</b>
<b>Partie 2 : Résultats et discussion</b>		
1.	Caractérisation des turriculé	31
2.	Effet d'apport des turriculés sur quelques propriétés physicochimiques de sol	32

2.1. Effet d'apport des turriculés sur le PH	32
2.2 Effet d'apport des turriculés sur la conductivité électrique CE ( $\mu\text{s/cm}$ )	34
2.3 Effet d'apport des turriculés sur la matière organique (MO)	35
2.4 Effet d'apport des turriculés sur le calcaire total ( $\text{CaCO}_3$ )	37
2.5 Effet d'apport des turriculés sur l'Azote azote kjeldahl total (NKT%)	39
2.6 Effet d'apport des turriculés sur le rapport C/N	41
2.7 Effet d'apport des turriculés sur la granulométrie	42
2.8 Effet d'apport des turriculés sur les cations échangeables $\text{Ca}^{++}$ , $\text{K}^+$ et $\text{Na}^+$	44
3.Effet d'apport des turriculés sur la culture de la laitue (variété Batavia)	47
3.1 Effet d'apport de turriculés sur la biomasse totale de la laitue	48
3.2 Effet d'apport de turriculés sur la biomasse aérienne de la laitue	50
3.3 Effet d'apport de turriculés sur le nombre des feuilles de la laitue	51
3.4 Effet d'apport de turriculés sur le nombre des racines de la laitue	52
3.5 Effet d'apport de turriculés sur la surface foliaire de la laitue	53
3.6 Effet d'apport de turriculés sur la chlorophylle a + b de la laitue	54
<b>4. Liaisons inter-caractères</b>	<b>56</b>
<b>CONCLUSION</b>	
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	
<b>ANNEXES</b>	

## **Remerciement**

*Ce mémoire ne serait pas ce qu'il est sans la collaboration, l'aide et le soutien de nombreuses personnes. Il nous permis de vivre une expérience très enrichissante au niveau professionnel et humain.*

*Nous tenons tout d'abord à remercier **Dieu** le tout puissant, qui nous a donné le courage, la patience et la santé durant toutes ces années d'études afin que nous puissions en arriver là.*

*Nos sincères remerciements sont exprimés agréablement à Madame '**Addad Dalila'** pour nous avoir guidé et encadrée dans notre travail de recherche jusqu'à la réalisation de ce manuscrit. Nous la remercions pour leur confiance, leur patience, et leurs conseils indispensables à notre maturation scientifique.*

*Nous tenons également à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de participer pleinement à notre soutenance, tout particulièrement :*

*KADIS.K pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury*

*HARRATH.N pour avoir examiné notre mémoire*

*Un grand merci au Chef de laboratoire de biologie Meme **Chorfi Rafika**, et tous l'équipes du laboratoire qu'il soit :à **Md Bourakba Souad** , **Abd Nour** pour leur aide, conseils et surtout leur gentillesse*

*Enfin, nous remercions chaleureusement nos collègues de l'écologie fondamental et appliqué 2017, avec qui nous avons partagé ces années, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour la réalisation de ce présent travail*



***TABIE DES MATIERES***

# ***TABIE DES MATIERES***

**Remerciement**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Liste des abréviations**

**Liste des annexes**

**Résumé**

**Abstract**

**ملخص**

## **INTRODUCTION GENERALE**

### **Partie 1 : Synthèse bibliographique**

<b>1-Ver de terre «lombric» : organisme ingénieur des sols</b>	<b>1</b>
1.1 .Catégorie écologique ou groupe fonctionnels	2
1.2 .Biologie des vers de terre	4
1.3 .Impact des vers de terre sur le sol	5
1.4 .Interaction sol et vers de terre	6
1.4.1. le PH et le type de sol	6
1.4.2. La température et l'humidité du sol	7
1.4.3 La matière organique	7
<b>2. Propriétés physico-chimiques des sols</b>	<b>8</b>
2.1. Texture	8
2.2 . La structure	9
2.3 .PH et conductivité électriques	9
2.4. Matière organique	10
2.5 . L'azote minéral	11
2.6 .Eléments minéraux du sol	12
2.7 . Teneur en eau d'un sol	12
2.8 .Complex absorbant	13
<b>3 .Effet d'apport des turriculés sur les propriétés de sol</b>	<b>13</b>
3.1 . Composition minérale des turriculés	14
3.2 . Influence turriculés sur la caractéristique physico-chimique de sol	14
3.2. 1 .Modification de la structure du sol	14

3.2.2 .Granulométrie des turriculé	14
3.2.3 .Teneurs en nutriment d'un turriculé	15
<b>4. Interaction plant-sol-ver de terre</b>	<b>15</b>
4.1. Action mécanique	15
4. 2. Action sur la chimie du sol	16
4.3. L'effet des vers de terres sur les plantes	17

## **Partie 2 : Enoncés de l'étude**

### **1. Présentation de la zone d'étude**

1.1.Situation géographique	<b>18</b>
1.2.Pépinière E.R.G.R- AURES de Kaïs	<b>19</b>

### **2. Re conduite de l'essai**

2.1.Récolte des turriculés dans la prairie préurbaine de la ville de Sétif	20
2.2.Description du matériel végétal	20
2.3.Installation de l'essai dans la pépinière de Kaïs	21

### **3. Les analyses physico-chimiques des sols et des turriculés**

#### **3.1Analyses de sol**

3.1.1.pH	22
3.1.2.Conductivité Electrique	23
3.1.3. Carbone Organique Total (COT%) et la matière organique (MO%)	24
3.1.4. Calcaire Total (CaCO <sub>3</sub> )	25
3.1.5 .Cations majeur (Ca <sup>+2</sup> , Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> )	26
3.1.6..Dosage de l'azote total	27
3.1.7.Granulométrie	29

#### **3.2. Variables mesurés sur la laitue**

3.2.1.Chlorophylle	29
3.2.2. Surface foliaire	30
3.2.3. Biomasse total et biomasse aérienne	30
3.2.4. Nbr de feuilles et de racines	30

#### **4. Etude statistique**

## **Partie 3: Résultats et discussion**

<b>1.Caractérisation des turriculé</b>	<b>31</b>
<b>2.Effet d'apport des turriculés sur quelques propriétés physicochimiques de sol</b>	<b>32</b>
2.1. Effet d'apport des turriculés sur le PH	32

2.2. Effet d'apport des turriculés sur la conductivité électrique CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )	34
2.3. Effet d'apport des turriculés sur la matière organique (MO)	35
2.4 .Effet d'apport des turriculés sur le calcaire total ( $\text{CaCO}_3$ )	37
2.5 Effet d'apport des turriculés sur l'Azote azote kjeldahl total (NKT%)	39
2.6 Effet d'apport des turriculés sur le rapport C/N	41
2.7 .Effet d'apport des turriculés sur la granulométrie	42
2.8 .Effet d'apport des turriculés sur les cations échangeables $\text{Ca}^{++}$ , $\text{K}^+$ et $\text{Na}^+$	44
<b>3.Effet d'apport des turriculés sur la culture de la laitue (variété Batavia)</b>	<b>47</b>
3.1.Effet d'apport de turriculés sur la biomasse totale de la laitue	48
3.2.Effet d'apport de turriculés sur la biomasse aérienne de la laitue	50
3.3.Effet d'apport de turriculés sur le nombre des feuilles de la laitue	51
3.4.Effet d'apport de turriculés sur le nombre des racines de la laitue	52
3.5. Effet d'apport de turriculés sur la surface foliaire de la laitue	53
3.6.Effet d'apport de turriculés sur la chlorophylle a + b de la laitue	54
<b>4. Liaisons inter-caractères</b>	<b>56</b>

## **CONCLUSION**

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## **ANNEXES**

## Liste des figures

N° figure	Titre	N° page
Figure 1	Ver de terre (photo prise lors de récolte des turricules de la prairie préurbaine de la ville de Sétif)	2
Figure 2	Caractéristiques et localisation des trois catégories écologiques de vers de terre (D'après Brown, 2000)	3
Figure 3	Cycle biologique ver de terre	5
Figure 4	Structures construites par des vers de terre : (a) galeries, (b) déjection dans les galeries (fèces) et (c) à la surface (turricules).	6
Figure 5	L'échelle internationale de la classification de sol(Mathieu C et Pieltain F, 1998).	8
Figure 6	Influence de la structure sur les principaux paramètres du sol (Guillaume, 2000).	9
Figure 7	Etats de l'eau dans le sol	13
Figure 8	Déjection de ver de terre(turricule) ( prairies priurbaine de la ville de stifes ;2019)	14
Figure 9	Shéma simplifié montrant les effets physiques, chimique et biologiques des vers de terre sur les sols la nutrition des plantes (Cuendet et bieri 1990 ;Syers et springette1983) .	17
Figure 10	Situation géographique de la zone d'étude : délimitation administrative de la commune de Kais (Source : PDAU Khenchela) et photos satellitaires (google aerth juillet 2019)	18
Figure 11	Photo interne de la pépinière de Kais	19
Figure 12	Zone de récolte de turriculés dans prairies préurbaines de la ville de Sétif	20
Figure 13	Différents étapes de l'essai installé au niveau de la pépinière	22
Figure 14	Différentes étapes de mesure du pH	23
Figure 15	Différentes étapes de mesure de la conductivité électrique (CE)	23
Figure 16	Différents produits et étapes de mesure du Carbone Organique Total (COT)	25
Figure 17	Différents produits et étapes de mesure du Calcaire Total (CaCO <sub>3</sub> )	26
Figure 18	Différents produits et étapes de mesure du cation majeur	27
Figure 19	Différents produits et étapes de dosage de l'azote total	28
Figure 20	Différent étape de mesure la granulométrie	29
Figure 21	Différent étape de mesure la chlorophylle	30
Figure 22	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur le pH du sol (région de Kaïs)	33
Figure 23	Effet d'apport des turricules sur le pH du sol (région de Kaïs)	33
Figure 24	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur la CE du sol (région de Kaïs)	34
Figure 25	Effet d'apport des turricules sur la CE du sol (région de Kaïs)	35
Figure 26	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur la matière organique MO du sol (région de Kaïs)	37
Figure 27	Effet d'apport des turricules sur la matière organique MO du sol (région de Kaïs)	37

Figure 28	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur le calcaire total $\text{CaCO}_3$ du sol (région de Kaïs)	38
Figure 29	Effet d'apport des turricules sur le calcaire total du sol (région de Kaïs)	38
Figure 30	Effet d'apport des turricules sur l'azote kjeldhal total du sol (région de Kaïs)	40
Figure 31	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur le rapport C/N du sol (région de Kaïs)	41
Figure 32	Effet d'apport des turricules sur le rapport C/N du sol (région de rapport C/N (Kaïs))	41
Figure 33	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur les pourcentages d'argile, de limon et de sable du sol (région de Kaïs)	43
Figure 34	Effet d'apport des turricules sur les pourcentages d'argile, de limon et de sable du sol (région de Kaïs)	43
Figure 35	Fixation des sols étudiés sur le triangle textural	44
Figure 36	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur les pourcentages calcium et sodium du sol (région de Kaïs)	45
Figure 37	Effet d'apport des turricules sur les teneurs en calcium et en sodium du sol (région de Kaïs)	45
Figure 38	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur le potassium $\text{K}^+$ du sol (région de Kaïs)	46
Figure 39	Effet d'apport des turricules sur les teneurs en potassium du sol (région de Kaïs)	46
Figure 40	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur la biomasse de la laitue (variété Batavia)	49
Figure 41	Effet d'apport des turricules sur la biomasse de la laitue (variété Batavia)	49
Figure 42	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur poids des feuilles de la laitue (variété Batavia)	50
Figure 43	Effet d'apport des turricules sur le poids des feuilles de la laitue (variété Batavia)	50
Figure 44	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur le nombre des feuilles de la laitue (variété Batavia)	51
Figure 45	Effet d'apport des turricules sur le nombre des feuilles de la laitue (variété Batavia)	51
Figure 46	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur le nombre des racines de la laitue (variété Batavia)	52
Figure 47	Effet d'apport des turricules sur le nombre des racines de la laitue (variété Batavia)	52
Figure 48	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur la surface foliaire de la laitue (variété Batavia)	54
Figure 49	Effet d'apport des turricules sur la surface foliaire de la laitue (variété Batavia)	54
Figure 50	Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur la chlorophylle a + b de la laitue (variété Batavia)	55
Figure 51	Effet d'apport des turricules sur la chlorophylle a + b de la laitue (variété Batavia)	55
Figure 52	Préparation des échantillons	77
Figure 53	récolt de sol	78
Figure 54	comparaison entre la croissance de plante dans le sol sans apport de turriculé et le sol contiennent différent dose de turriculé.	79





Liste des tableaux		
Tableau	titre	page
Tableau 1	Principales caractéristiques des trois catégories écologiques de vers de terre décrites par Bouché (1972 ; 1977).	4
Tableau 2	Echelle de salure en fonction de la CE de l'extrait aqueux au 1/5 d'après Aubert, 1978	10
Tableau 3	Propriétés générales des Matières Organiques du Sol et effets correspondants sur le sol (Stevenson, 1982).	11
Tableau 4	Présentation de la commune de Kaïs	19
Tableau 5	Caractéristiques physico-chimiques des turricules	31
Tableau 6	Carré moyen de l'analyse de variance des paramètres mesurés sur le sol.	32
Tableau 7	Echelle d'interprétation du pH (site: <a href="http://www.lano.asso.fr">http://www.lano.asso.fr</a> )	34
Tableau 8	Classe de la qualité des sols : Echelle d'interprétation de la conductivité électrique CE selon de Durand (1983)	35
Tableau 9	Echelle d'interprétation de la Matière organique selon la texture des sols	36
Tableau 10	Echelle d'interprétation du calcaire total du sol	39
Tableau 11	Classification de la fertilité des sols à partir du pH et de la teneur en azote total (Dabin, 1970)	40
Tableau 12	Echelle d'interprétation du C/N des résidus organiques, la minéralisation et la disponibilité de l'azote pour les plantes	42
Tableau 13	Référentiel d'interprétation des analyses de sol «extraits à l'eau» bases échangeables, d'après CTIFL, in (Idie, 2008).	47
Tableau14	Résultats d'analyse des cations Ca <sup>++</sup> , Na <sup>+</sup> et K <sup>+</sup> en g/kg	47
Tableau15	Carré moyen de l'analyse de variance de l'effet d'apport des turricules sur les paramètres morpho-physiologiques mesurés sur la plante	48
Tableau16	Groupes homogènes des différents traitements pour les paramètres mesurés et les valeurs de p <sub>pd5%</sub>	48
Tableau17	Coefficients de corrélation entre les les différents caractères mesurés	56

## *Liste des abréviations*

A : Argil

AB : Abondance

BM : Biomasse

CEC : Capacité d'Echange Cationique

E.R.G.R : Entreprise Régionale Gainé Rural

END : Endogé

EPI : Epigé

L : Limon

LS : Limon-Sableux

MO : Matière Organique

Nbr : Nombre

PH : Potentiel d'Hydrogène

S : Sableux

SL : Sable-Limoneux

TOT : Total

PDAU : Plan directeur d'aménagement et d'urbanisme

### ***Symboles chimiques :***

C /N : Carbone/ Azote

K : Potassium

N : Azote

P : Phosphore

## ***LISTE DES UNITES DE MESURES***

% : Pour cent

° : Degré

°C : Degré Celsius

cm : centimètre

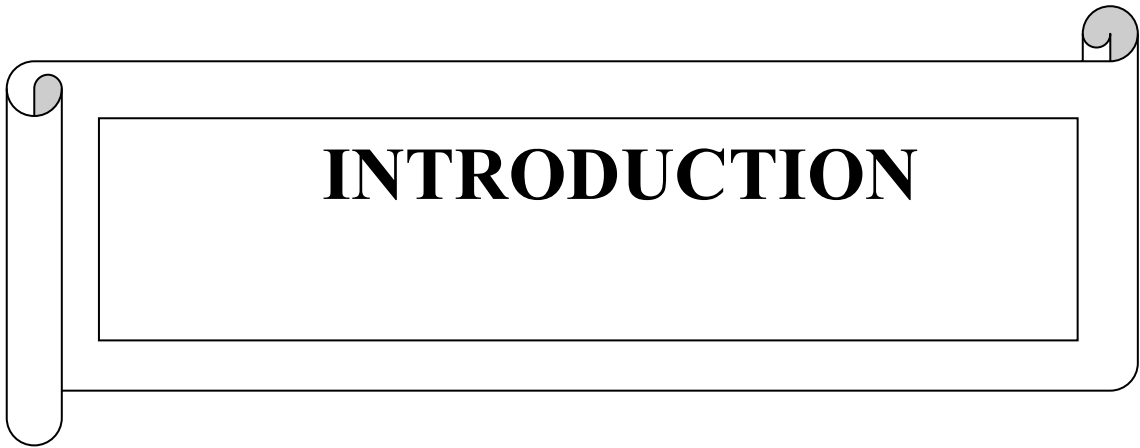
g/m<sup>2</sup> : grammes par mètre carré

Kg/ha: Kilogramme par hectare

Km : Kilomètre

M: Mètre

t/ha : Tonnes par hectare



## Introduction

Le sol est défini comme la couche superficielle du sol utilisable pour des productions agricoles (soit une épaisseur de quelques centimètres à quelques mètres au maximum). Il repose sur le sous-sol rocheux, (**Mackay, 2001**). Il est un compartiment essentiel de tous les écosystèmes continentaux. Le sol constitue le support des racines des plantes et joue également un rôle primordial dans la fourniture d'eau et la nutrition des plantes. En effet, le sol est un compartiment moteur des grands cycles biogéochimiques du carbone, de l'azote, du phosphore, du soufre et de nombreux métaux. Le sol constitue donc, dans la biosphère continentale, un immense réservoir et lieu d'échanges d'éléments nutritifs (minéraux et organiques) indispensables à la croissance des végétaux (**Aude Locatelli, 2013**).

Préserver la qualité du sol est actuellement une préoccupation forte dans le monde. En effet, trente années de mise en culture suffisent à dégrader une quantité d'éléments nutritifs surtout la matière organique qu'il faudrait 100 ans pour restaurer (**Knops et Tilman, 2000**). L'apport de matières organiques exogènes (MOE) a longtemps été pratiqué pour améliorer la fertilité des sols (au sens nutritionnel), c'est-à-dire sa capacité à être le support de la croissance végétale.

Les vers de terre également appelés lombriciens, représentent une composante majeure de la macrofaune du sol dans la plupart des écosystèmes terrestres. Ils peuvent constituer jusqu'à 90% de la biomasse des invertébrés dans les sols. Leurs populations varient de quelques individus à plus de 1000 individus par mètre carré (**Edwards, 2004**). Ce sont des organismes importants dans le développement et le maintien de la fertilité des sols, ils transforment les matériaux biodégradables et les déchets organiques en vermicompost riches en éléments nutritifs (**Jansirani et al., 2012**). Celui-ci augmente la capacité de rétention d'eau, la porosité et la souplesse du sol. De plus, les vers de terre modifient les communautés bactériennes des sols (**Brown, 1995; Brown et al., 2000**). Ils sont par ailleurs très sensibles aux modifications de leur environnement ce qui permet de les utiliser comme **bio-indicateurs** de l'état et l'usage des sols, c'est-à-dire que le suivi de leurs populations permet de caractériser l'état de l'écosystème sol et de mettre en évidence l'impact des conditions pédoclimatiques et/ou des activités humaines sur la vie du sol.

Parmi les productions des vers de terre, les turricules qui sont la partie visible à la surface du sol de leurs déjections. Les turricules sont constitués d'un mélange de matière minérale et de matière organique fraîche très fragmentée. Ils sont présents sous diverses formes dont les

plus caractéristique sont l'amas de granulés et la tourelle. Les propriétés physico-chimiques des turricules sont différentes de celle de sol dont ils proviennent : teneurs plus élevées en matières organiques, azote total et bases échangeables et plus grande stabilité structurale. **(Ablain, 2002).**

Vue cette richesse importante des turricules en éléments nutritifs, nous supposons que l'apport de ces derniers au sol permet de restituer ses réserves en matières organiques, en azote total, en bases échangeables et en oligoéléments perdus par la mise en culture extensive et le rendre un support optimal de la croissance des plante sans recours aux engrais chimiques nuisible à l'écosystème.

Dans ce contexte, déroule notre étude qu'a pour objectif de mettre en évidence l'effet d'apport des turricules prélevées d'une prairie naturelle sur quelques caractéristiques physico-chimiques d'un sol, ainsi que sur le développement et la croissance des plantes de la laitue.

Pour atteindre ces objectifs de recherche, notre mémoire est subdivisé en trois parties à savoir :

La première partie, sera consacré à la présentation d'une revue bibliographique concernant les recherches dans le domaine de la biologie et écologie des vers de terre, les différents caractéristique physico-chimique d'un sol, ainsi l'effet d'apport des turricules sur les propriété du sol, et enfin connaître l'interaction ver de terre-plante-sol.

La deuxième partie expose la description de la zone d'étude et l'ensemble des matériels et méthodes qui ont été mis en œuvre pour répondre à nos objectifs. En particulier, les méthodes d'analyses physico-chimiques des sols, et l'analyse de plante.

La troisième partie présente les résultats scientifiques concernant les paramètres physiques (granulométrie, CE) et chimiques (C/N, MOT, Calcaire total, azote, les cations échangeables) du sol et quelques paramètres de croissance de la laitue.



**PARTIE I : ETUDE  
BIBLIOGRAPHIQUE**

## **1. Ver de terre «lombric» : organisme ingénieur des sols**

Les vers de terre sont l'un des éléments importants de la biodiversité des sols, avec des effets importants sur la structure et les plantes du sol (**Andriuzzi et al, 2017**). Ils sont définis par **Jones et al. (1997)** comme des organismes qui modulent directement ou indirectement la disponibilité des ressources à d'autres espèces, en causant des changements d'état physique de matériaux biotiques ou abiotiques.

D'un point de vue écologique, les lombriciens correspondent au groupe de la macrofaune du sol le plus important en termes de biomasse et d'activité. Ils possèdent un grand nombre d'activité directement en relation avec l'état écologique d'un sol (**Römbke et al., 2005**) ; ils sont capables par leurs activités de changer leur habitat ou même d'en créer de nouveaux pour les autres organismes (**Brown, 1995**). Les lombriciens consomment les débris végétaux de la litière, la matière organique humifiée, ils participent ainsi à leur décomposition et à leur enfouissement dans les sols. Ces organisme exercent des biostructureur (turricules) qui impactes la fertilité et la survie des autres groupes fonctionnels du sol. Ils ont été récemment considérés comme bio-indicateurs et acteurs biologiques indispensables à la fertilité des sols. (**Francis et al., 2018**).

Les vers de terre sont présents dans tous les sols avec cependant des différences que ce soit au niveau de la répartition des espèces, de la biomasse totale ou du rôle agronomique de ces animaux. Les milieux naturels comme les prairies ou les forêts offrent généralement des conditions favorables aux lombriciens, il y existe de nombreuses espèces avec peu d'individus car la pression interspécifique y est forte dans les sols non labourés (prairies, forêts ou sol travaillés superficiellement en culture sans labour), les lombriciens ont une biomasse qui dépasse souvent 1T/ha en prairie et les galeries sont les plus nombreuses dans la zone 20-40 cm, leur diamètre moyen varie de 3 à 4mm et 72% sont subverticales (**Fayolle et al., 1998**).

Les vers de terre peuvent éventuellement agir directement sur les plantes, via des blessures infligées au système racinaire ou l'ingestion de racines vivantes, bien que ce dernier point soit encore débattu. Leur effet sur la croissance des plantes est beaucoup plus probablement indirect, via des modifications physiques, chimiques et biochimiques qu'ils induisent au sein de leur déjection appelée turricules et leurs galeries (**Lavelle et al,1997**).



**Figure 1.** Ver de terre (<https://www.aujardin.info>).

### **1.1.Catégories écologiques ou groupe fonctionnels**

Les catégories écologiques des vers de terre sont fonctions de leur comportement, morphologique et d'habitat. Ces catégories sont divisées par divers auteurs, notamment **Lee (1959 ; 1985 ; 1987)** et **Bouché (1972 ; 1977)**. **Lee** a proposé des catégories facilement interprétables et largement applicables à plusieurs familles lombriciennes, il s'agit des :

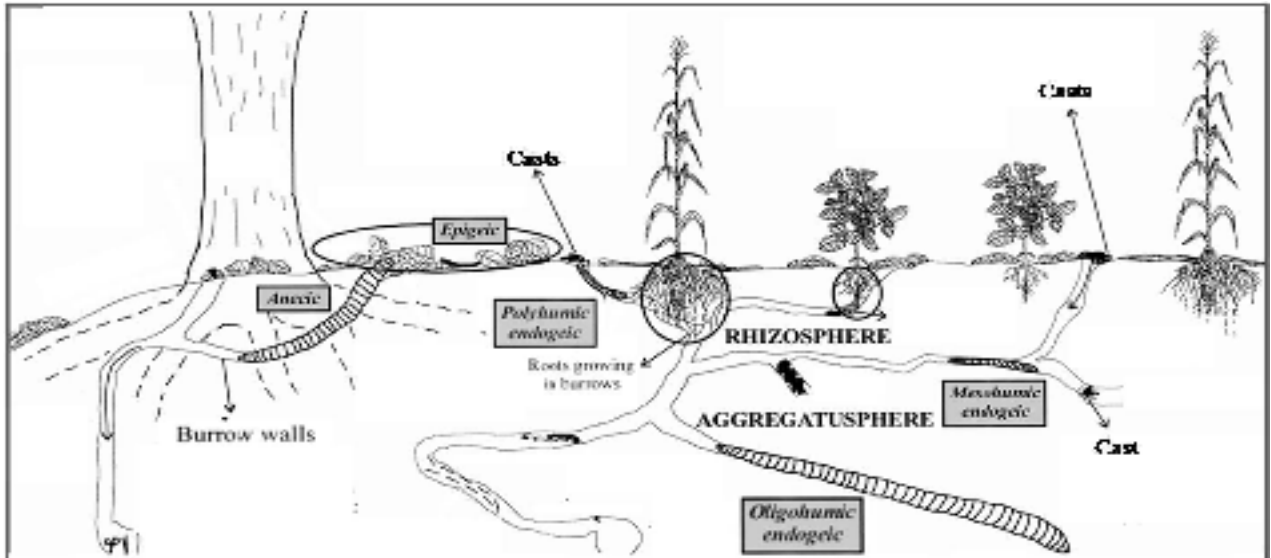
- a) Espèces topsoil : Elles s'enfouissent dans l'horizon « A » du sol, mais se nourrissent à la surface où elles produisent des turriculées.
- b) Espèces de litière : Elles vivent sur la surface du sol dans les couches litières.
- c) Espèces du sous-sol : Elles se localisent entièrement dans les horizons « B » ou « C » du sol et tirent leur alimentation des zones inférieures de la racine (**Bazri, 2014**).

Les lombriciens se répartissent en trois groupes fonctionnels appelés « catégories écologiques » à savoir : les épigés, les endogés et les anéciques (**Bouché, 1977**).

Les vers épigés qui vivent en surface dans les amas de matières organiques et creusent peu ou pas de galeries dans le sol. Les vers endogés vivent dans les couches plus profondes et creusent des galeries horizontales (**Pérès et al. 2011**).

Les vers anéciques occupent la couche supérieure du sol autour de 25 cm, ils creusent des galeries verticales dont la longueur peut atteindre plusieurs mètres (**Morin, 1999**), Les anéciques

peuvent vivre plusieurs années car ils résistent aux périodes estivales en vivant en léthargie dans une logette creusée dans les horizons profonds du sol. Ils sont responsables des tortillons de terre déposés sur le sol (turriculées). Souvent, quand le sol est dénudé, la terre a par endroit, un aspect grumeleux de couleur plus foncée que le sol environnant(**figure2**).



**Figure 2.** Caractéristiques et localisation des trois catégories écologiques de vers de terre (D'après Brown, 2000).

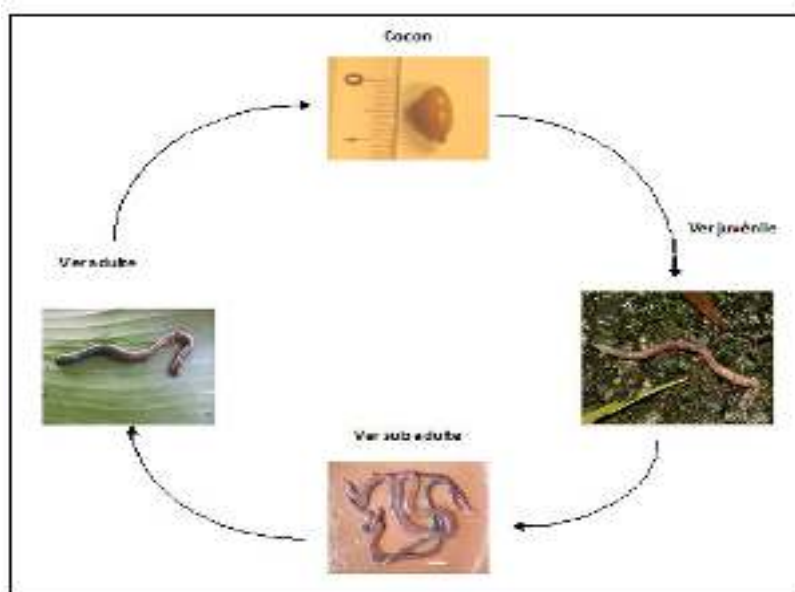
**Tableau 1.** Principales caractéristiques des trois catégories écologiques de vers de terre décrites par Bouché (1972 ; 1977).

	Espèce épigée	Espèce anécique	Espèce endogée
Alimentation	Litière décomposé à la surface du sol; peu ou pas d'ingestion de sol	Matière décomposée à la surface du sol, dont une part est emmenée dans les galeries ; un peu d'ingestion de sol	Sol minéral avec préférence pour matériau riche en M.O
Pigmentation	Sombre, souvent ventrale et dorsale	Moyennement sombre, souvent uniquement dorsale	Peu ou pas pigmenté
Taille adultes	Petite à moyenne (10-30 mm)	Grande (10-110 cm)	Moyenne (1-20 cm) ou Grands
Galeries	Pas ; quelques galeries dans 1ers cm de sol par espèces intermédiaires	Grandes galeries verticales et permanentes dans horizon minéral	Galeries continues, extensives, subhorizontales,
Mobilité	Mouvements rapides en réponse à perturbation	Retrait rapide dans galerie mais plus lents que le épigés	Généralement lents
Longévité	Relativement courte	Relativement longue	Intermédiaire
Temps de génération	Courte	Long	Court
Survie à Sécheresse	Sous forme de cocons	Quiescence	Diapause
Prédation	Très importante, surtout par oiseaux, mammifères et arthropodes prédateurs	Importante, surtout quand ils sont en surface, un peu protégés dans leur galerie	Faible ; un peu par oiseaux qui creusant le sol et arthropodes prédateurs

### 1.1. Biologie des vers de terre

Tous les vers de terre sont hermaphrodites (les vers sont male avant de devenir femelle). La période de reproduction a principalement lieu au printemps et en automne. Ils viennent s'accoupler en surface où deux vers effectuent un échange de spermatozoïdes (fécondation croisée). Ils produisent des cocons qui contiennent 1 à 7 embryons selon les espèces. Pour que

les jeunes vers de terre éclosent. L'éclosion dépend également des conditions climatiques du milieu. Par exemple, le dessèchement du sol provoque la déshydratation du cocon, ce qui peut retarder le développement embryonnaire (Evans et Guild, 1948 ; in Pelosi, 2008). Les épigés produisent une centaine de cocons et une quinzaine de descendant par an. Les même auteurs indiquent que le cycle de vie dépend des espèces et des conditions climatiques, la durée de vie varie de 3 mois pour les épigés à 5-8 ans pour les anécique et endogés, ainsi, le temps de génération est plus rapide pour les épigés (vitesse de recolonisation la plus rapide : 1 à 2 ans) que pour les anécique et endogés (5 à 7 ans) (Boudjerda et al., 2016).



**Figure 3.** Cycle biologique ver de terre

## 1.2. Impact des vers de terre

L'impact des vers de terre sur le sol varie selon leur catégorie écologique. Les endogés et les anéciques sont les plus influents (Bouché, 1977 ; Shaw et Pawluck, 1986). Les lombriciens modifient les propriétés physico-chimiques du sol créant ainsi une sphère d'influence particulière appelée drilosphère (Shuster et al., 2001 ; Lee, 1985 ; Edwards et Bohlen, 1996 ; Tiunov et Scheu, 1999). Les activités mécaniques principales des vers comprennent (a) l'élaboration de réseaux de galeries dans lesquelles ils se déplacent et (b) l'excrétion de déjections dans les galeries (fèces) ou en surface du sol (turriculées) (Fig. 4). La « drilosphère » est la zone d'influence des vers de terre sur le fonctionnement des sols. Elle comprend toutes les structures physiques dépendantes des vers telles que le contenu du tube digestif, les turriculées, et les galeries ainsi que les communautés d'invertébrés et de micro-organismes qui y sont présentes.

La structure et l'importance relative de la drilosphère sont déterminées par le climat, les paramètres du sol et la qualité des apports organiques (**Lavelle et al., 1998**).



(a)

(b)

(c)

**Figure 4.** Structures construites par des vers de terre : galeries, (b) déjection dans les galeries (fèces) et (c) à la surface (turricules) (**Manuel B,2013**).

Les vers creusent des galeries plus ou moins profondes selon les espèces, effectuent des transports verticaux de sol et assurent un mélange intime des débris végétaux avec la partie minérale du sol qu'ils ingèrent (**bouché, 1977**).

Les rejets de surface ou « turricules » que font les vers sont bien connus mais tous les vers ne font pas de rejets en surface et l'importance même des rejets varie avec la nature des sols ; ils sont plus importants dans les sols lourds que dans les sols légers, dans les régions tempérées, on peut avoir, selon les conditions, des rejets annuels de surface d'environ 2 à 6 kg/m<sup>2</sup>, et même plus dans certaines prairies humides, soit un dépôt superficiel de plusieurs millimètres en quelque années. Les 10 cm supérieurs d'un sol de pâturage passent en entier par le tube digestif des vers en 10 à 20 ans. Dans les régions interopérables, certains sols de dépressions peuvent être recouverts chaque année par plus de 20 kg de rejets au mètre carré ; les turricules des vers constituent alors un véritable horizon de surface (sol «dentelles» du nord-Cameroun et sol de la vallée du Nil blanc où ces dépôts s'effectuent en moins de 6 mois) (**bachelier et al.,1960**).

#### **1.4. Interaction sol et vers de terre**

##### **1.4.1. PH et le type de sol**

La majorité des vers, notamment les lombricidés préfèrent des sols neutres, La majorité des espèces de régions tempérées se trouvent dans des sols à pH compris entre 5.0 et 7.4 (**Satchell, 1967**). Les travaux de **Bhatti (1962)** et **Bachelier (1978)** définissent des valeurs limites de pH et **Satchell (1955)** propose une classification des Lombricidés selon les valeurs de pH.

D'autres paramètres interviennent dans la répartition et l'abondance des vers, ce sont la texture et la structure du sol. Les vers progressent dans le sol en avalant la terre qui est devant eux si bien que l'on a pu dire qu'ils «avalent leur chemin», il est très facile de comprendre qu'une telle progression peut être favorisée ou au contraire ralentie selon les critères physiques du sol (**Claude et al., 2006**).

La densité des vers est plus importante dans les sols limoneux ou argilo-sableux, que dans le sable et les graviers. La rugosité de ces derniers empêche les éléments de glisser et elle freine la progression (**Leclerc, 2012**). Il ne faut pas croire pour autant que les argiles pures sont la panacée. Pour des raisons inverses, elles sont trop compactes, collent aux téguments, entretiennent une trop grande humidité et les vers ne s'y plaisent pas non plus, ils préfèrent en effet un mélange des deux roches sédimentaire, l'onctuosité des argiles atténuant la rugosité des sables et graviers. En revanche, le sable diminue la compacité des argiles. une bonne texture se traduit par le creusement de nombreuses galeries matérialisés à la surface par de nombreux tortillons ou turricules (**Claude et al., 2006**).

#### **1.4.2. Température et l'humidité du sol**

La température et l'humidité du sol sont les facteurs clés qui régulent l'abondance et l'activité des vers de terre en milieu naturel et les populations lombriciennes répondent rapidement à des variations de ces facteurs du milieu (**Ouahrani et al., 2013**), Sans humidité les vers de terre ne peuvent pas vivre, il suffit d'observer un de ces animaux lorsqu'il s'égaré sur un trottoir ou une route qui s'assèche après une pluie. s'il n'arrive pas à atteindre rapidement la terre, il va bientôt s'immobiliser et dépérir (**Claude et al., 2006**). Les conditions optimales de température se situent en général entre 10 et 20°C pour les espèces de régions tempérées et entre 20 et 30°C pour les zones tropicales, Ce sont des animaux poïkilothermes, Ils sont donc très sensibles aux variations de la température du sol. En général, les conditions optimales de température pour les vers de terre varient de 15 à 25°C. Peu d'espèces survivent à des températures inférieures à 0°C et supérieures à 28°C (**Lee, 1985 ; Curry, 1998**).

La température, l'humidité du sol sont les facteurs clés qui régulent l'abondance et l'activité des vers en milieu naturel (**Satchell, 1967 ; Hartensein et Amico, 1983 ; Sims et Gerard, 1999**).

#### **1.4.3. Matière organique**

La matière organique constitue la principale source d'énergie pour les vers de terre. Ils l'ingèrent surtout sous formes de matériau végétal mort en décomposition, de cadavres de microorganismes et d'animaux microscopiques et de fèces d'animaux. La quantité, la qualité et la localisation des matières organiques sont des facteurs importants pour les vers et dépendent

surtout, dans les parcelles agricoles, de l'espèce cultivée. **Lofs-Holmin (1983)** a rapporté que la qualité et la quantité de résidus de culture retournés dans le sol sont essentielles pour le développement et la croissance des vers de terre. L'effet négatif d'une diminution de la ressource trophique est souvent rapportée dans la bibliographie (**Edwards et Lofty, 1977 ; Lee, 1985 ; Pérès et al., 1998 ; Mele et Carter, 1999**). Par ailleurs, de nombreuses études ont montré une corrélation positive entre la densité et/ou la biomasse de vers de terre et la teneur en matière organique du sol (**El-Duweini et Ghabbour, 1965 ; Hendrix et al., 1992**). De plus, **Boström et Lofs-Holmin (1986)** ont démontré que la croissance d'*A. Caliginosa* dépendait non seulement du type de nourriture disponible mais également de la taille des particules ingérées.

## **2. Propriétés physico-chimiques de sols**

Le sol est une ressource vivante et dynamique qui joue plusieurs rôles essentiels dans les écosystèmes terrestres, en plus de représenter un équilibre unique entre les facteurs physiques, chimiques et biologiques (**Doran et Safley, 1997**). Les propriétés physiques du sol affectées comprennent : l'agrégation, la stabilité et la porosité. Tandis que les propriétés biologiques et chimiques du sol modifiées comprennent : le recyclage des nutriments (principalement N et P), les formes chimiques des nutriments dans le sol et leur disponibilité pour les plantes, le pH, la dynamique de la matière organique, la qualité et la quantité d'activité microbienne et faunique (**Lee, 1985 ; Brown, 1995**).

### **1.3. Texture**

La texture du sol est à la base de toutes les autres propriétés, c'est la propriété du sol qui traduit de manière globale la composition granulométrique de la terre fine (**Gobat et al., 2010**). Le triangle des textures indique à quel type appartient le sol considéré. Elle s'apprécie au toucher et se mesure à la pipette de Robinson (**Claude, 2006**).

**La granulométrie** concerne la détermination du pourcentage des éléments constituants (argile, limon, sable) d'un échantillon du sol étudié afin de connaître sa texture (**Randrianampy, 1997**).

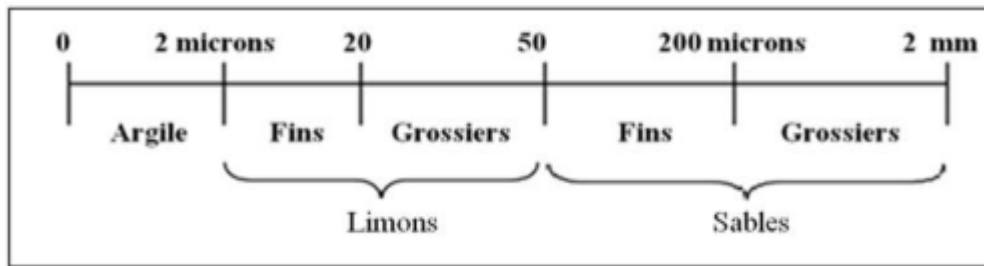


Figure 5. L'échelle internationale de la classification de sol (Mathieu et Pieltain, 1998).

Pour choisir une classe textural, il faut essayer d'apprécier la part des trois constituants majeurs (Argile, limon et sable) (Denis et Bernard, 2011).

#### 1.4. La structure

La structure d'un sol est l'assemblage des particules et des constituants solides qui sont maintenus par des forces physiques et chimiques en forment des agrégats (Pierzinsky et al., 2005). La structure du sol varie avec le temps selon la texture, le taux d'humidité, l'état des colloïdes et la présence de matière organique (Gobat et al., 1998). Son porosité subit de nombreuses modifications comme la fissuration par les racines, le labourage sous l'action des organismes fouisseurs et des vers de terres, la fissuration suite à l'alternance de la pluie et le dessèchement, le gel et dégel et enfin le labourage ou le compactage due aux outils mécaniques des travaux (fig. 7) (Guillaume, 2000 ; Girard et al., 2005).

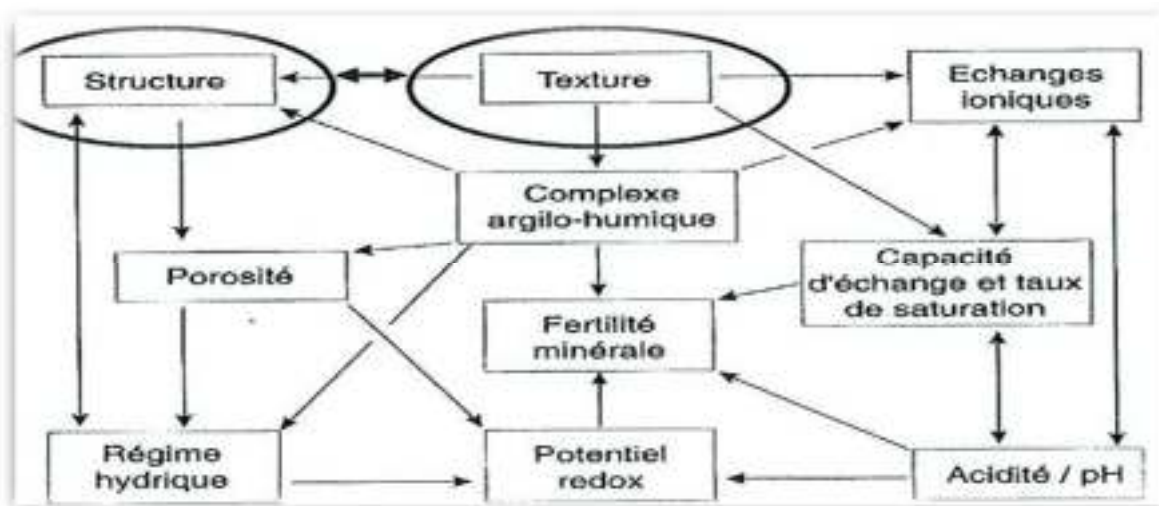


Figure 6. Influence de la structure sur les principaux paramètres du sol (Guillaume, 2000).

#### 2. 3. pH et conductivité électrique

Cet indice traduisant le degré d'acidité ou de basicité du milieu est exprimé par le logarithme de l'inverse de la concentration en ion  $H_3O$  (ion hydronium) dans un sol déterminé le pH varie suivant les saisons, minimal en été et maximal en hiver, les sols cultivés ont tendance à s'acidifier par prélèvement du  $Ca^{+2}$  par les plante, les sécrétions des racines en général acides, l'accumulation de matière organique tendent à diminuer le pH (**Claude et al., 2006**).

La mesure du pH est importante pour détermination la disponibilité et les problèmes de toxicité des éléments nutritifs pour les plantes, car il permet de mesurer l'acidité ou la concentration en ions d'hydrogène ( $H^+$ ), Il varie de 0 à 14 se qui permet de classé le sol en trois types : sol neutre, acide et alcalin (**Lacoste et Salanon, 2001**).

Les vers sont généralement absents dans les sols très acides ( $pH < 3.5$ ) et sont peu nombreux dans les sols à  $pH < 4.5$  (**Curry, 1998**). Il existe un pH optimal pour chaque espèce (**Edwards et Bohlen, 1996**). La majorité des espèces de régions tempérées se trouvent dans des sols à pH compris entre 5.0 et 7.4 (**Satchell, 1967**).

**Conductivité électrique** permet de déterminer la salinité globale de la solution du sol. Elle est directement proportionnelle à la quantité de solides (les sels minéraux) dissous dans la solution du sol. La concentration élevée du sol en sels solubles peut empêcher la germination des semences et endommager les plantes établies. Elle nuit aussi à l'absorption de l'eau par les plantes (**DAT, 2001**). La conductivité électrique (méthode extrait aqueux au 1/5), qui nous permettre d'obtenir rapidement la teneur globale en sels dissous, était imposée pour mesurer la salinité des sols (**De Jonget al., 1979 ; Williams et Hoey, 1982**).

**Tableau 2.** Echelle de salure en fonction de la CE de l'extrait aqueux au 1/5 d'après Aubert, 1978

CE (ms/cm)	< 0,6	0,6 – 1,2	1,2 – 2,4	2,4 – 6	> 6
Appréciation	Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé

#### **2.4.Matières organique des sols (MOS)**

Est tous les organismes vivants et toutes les matières organiques mortes contenus dans le sol. Cette expression traduit explicitement leur diversité. Les matières organiques représentent en moyenne 1 à 10% de la masse des sols. Elles participent à la dynamique des éléments chimiques et contribuent à la stabilité de la structure de sols, ils constituants deux catégories : organisme vivant du sol (racines des végétaux, bactéries, ver de terre, protozoaires....) et matière organique

mortes (fragments de tissus végétaux et animaux, molécules individualisées, substances humiques) (Raoul, 2013).

La MO est la source principale d'azote dans le sol. C'est un composant labile nécessitant une source de renouvellement. Toutefois, la perturbation du sol par le labour provoque généralement une diminution du taux de la MO, favorise l'érosion éolienne et hydrique et de ce fait provoque un déclin de la productivité de la plante cultivée. Le maintien des résidus de récolte en surface du sol peut contribuer à la synthèse d'une nouvelle MO (Campbell et Zentner, 1993).

**Tableau 3.** Propriétés générales des Matières Organiques du Sol et effets correspondants sur le sol (Stevenson, 1982).

Propriété	Observations	Effet sur le sol
Couleur	La couleur sombre	Peut faciliter le réchauffement
Rétention d'eau	La matière organique peut retenir jusqu'à 20 fois son poids d'eau	Evite au sol de se rétracter. Peut sensiblement améliorer la capacité de rétention de l'humidité des sols sableux.
Association avec des minéraux argileux	Cimente les particules du sol en unités structurales appelées agrégats.	Permet l'échange des gaz, stabilise la structure et accroître la perméabilité
Formation des composés chimiques	Forme des complexes stables avec Cu, Zn et autres cations polyvalents	Peut accroître les disponibilités en oligo-éléments pour les plantes hautes.
Solubilité dans l'eau	L'insolubilité de la matière organique vient de son association avec argile. Les sels de cations bivalents et trivalents associés à la matière organique sont également insolubles. La matière organique isolée est en partie soluble dans l'eau.	Le lessivage n'entraîne que peu de perte de matière organique.
Action-tampon	La matière organique fait office de tampon gammes légèrement acides, neutres et alcalines.	Aide à maintenir une réaction uniforme dans le sol
Echange de cations	Les acidités totales de fractions	Peut accroître la capacité

	isolées d'humus vont de 300 à 1400 meq/100g.	d'échange de cations (CEC) du sol. La CEC de bien des sols (par ex. Mollisols) est due pour 20 à 70 p% à la matière organique.
Minéralisation	La matière organique en se décomposant dégage du CO <sub>2</sub> , NH <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> et SO <sub>4</sub> .	Source d'éléments fertilisants pour la croissance végétale.
Combinaison avec des molécules organiques	Agit sur la bio-activité, la persistance et le caractère biodégradable des pesticides.	Modifier la dose de pesticides à appliquer pour bien combattre les ravageurs.

### 2.5. L'azote minéral

L'azote inorganique du sol constitue la fraction disponible pour les cultures. Le sol en contient rarement plus de 10% d'azote inorganique total (**Scheiner, 2005**), ce dernier est présent sous deux formes principales :

- ✓ l'azote ammoniacal NH<sub>4</sub><sup>+</sup> retenu par le complexe adsorbant, rapidement nitrifié, donc en faible quantité et assimilable.
- ✓ L'azote nitrique NO<sub>3</sub><sup>-</sup> non retenu par complexe adsorbant, en quantité variable dans le sol suivant l'activité biologique et le lessivage, c'est la forme d'assimilation la plus courante (**Claude et al., 2006**).

### 2.6. Élément minéraux du sol

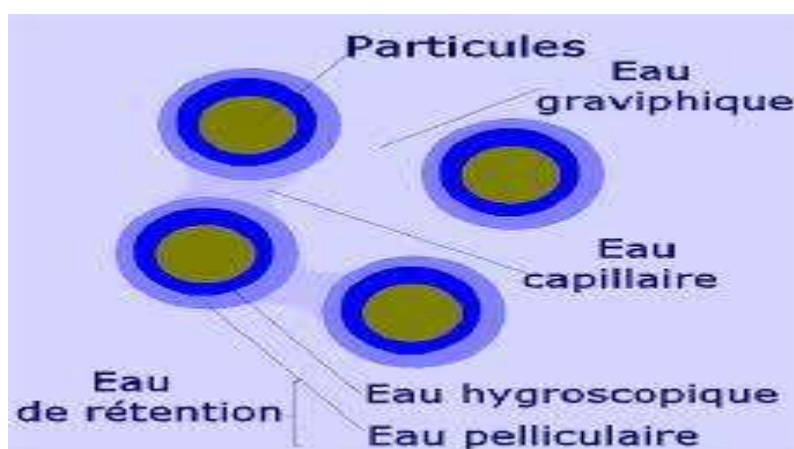
La nature même du sol rentre aussi dans les facteurs abiotique du milieu sélectif de la faune, car de très nombreux animaux ont besoin de trouver dans les sols certains éléments minéraux particuliers (**Bachelier et al., 1960**). Dans le sol, on distingue les minéraux hérités de la roche mère et qui ont résisté à l'altération. Dans un certain nombre de sols, ces minéraux sont très abondants. Ces minéraux sont dits «primaires ». Il convient de remarquer que la solubilité d'un minéral variant selon les conditions (température, aération du sol,...) les minéraux qui ont une certaine propension à résister à l'altération sont variables selon les lieux (**Girard ; 2000**). Les autres minéraux de la roche mère sont altérés, leur dissolution enrichit la solution du sol en éléments dissous. La solubilité par rapport à d'autres minéraux peut être alors dépassés, ces derniers précipitent et s'accumulent. Les minéraux qui se sont formés dans le sol sont dits «secondaires » (**Valles, 2006**).

## 2.7. Teneur en eau d'un sol

La teneur en eau du sol est une variable d'état, essentielle pour caractériser le sol. Elle peut être exprimée sous deux formes : la teneur en eau pondérale et la teneur en eau volumique. L'eau a une importance considérable pour de nombreuses fonctions (alimentation des plantes, transport d'éléments dissous ou sous forme colloïdale, lieu de vie pour les microorganismes, etc.), on distingue trois formes de l'eau dans le sol (**Fig. 7**) :

- ✓ L'eau gravitaire, elle se trouve temporairement dans les pores les plus grossiers et est soumise à la pesanteur.
- ✓ L'eau capillaire, elle est retenue dans le sol par les forces de capillarité dans les pores de  $<10\mu\text{m}$  environ.
- ✓ L'eau liée ou hygroscopique, elle est retenue en film mince autour des particules du sol par les forces de succion (**Badin, 2009**).

Les plantes peuvent utiliser les formes de l'eau gravitaire et capillaire, mais l'eau liée leur est inaccessible. Les microorganismes, quant à eux, vivent dans les films d'eau minces ou épais (eau capillaire ou eau liée) (**Travnik et Ovreas, 2008**).



**Figure 7.** Etats de l'eau dans le sol

## 2.8. Complexe absorbant

Le complexe absorbant est l'ensemble des forces qui retiennent les cations ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{k}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) sur la surface des constituants organiques et minéraux, Ces cations peuvent s'échanger avec la solution du sol et les plantes, et constituent le réservoir de fertilité chimique du sol (**Bourgeat, 1972**).

### 3) Effet d'apport des turriculées sur les propriétés de sol

Les turricules, déjections produites par les vers et laissées en surface du sol excrétées le long des parois de galeries ou dans les galeries, La taille des turricules varie de quelques millimètres à quelques centimètres et dépend des espèces (**Darwin, 1881**). Les turricules représentent 2 à 250 tonnes/ha/an en sols tempérés, ce qui représente une épaisseur de sol de 3 à 4 mm (**Lee, 1985**). Évaluent la production de turricules de 2,5 à 3,5 kg/m<sup>2</sup>/an (poids sec) pour 100 g de ver/m<sup>2</sup>. Cependant, la production et l'abondance des turricules de vers de terre apparaissent très variables en fonction du milieu des espèces de vers présentes ainsi que du couvert végétal. La disparition des turricules est de 70% en saison des pluies et de 20% en période sèche. Les turricules sont donc intégrés plus lentement à la matrice du sol en période sèche (**Binet et Le Bayon, 1999**) citée par (**Huynh, 2009**).

Outre leur participation à la formation des structures grumeleuses, les turricules participent à l'enrichissement des horizons superficiels grâce à leur concentration en éléments nutritifs, en matière organique d'origine microbienne ou liée aux minéraux argileux, et grâce à leur richesse en micro-organismes (**Denis et Bernard, 2011**)(figure 8).



**Figure 8.** Déjection de ver de terre (turricule)(<https://www.gerbeaud.com>).

#### 3.1. Composition minérales des turricules

Les turriculées présentent des teneurs en carbone organique et en azote plus élevées que le sol environnant (**Buck et al., 1999; Zhang et SCH rader, 1993**) et plus riches en potassium, phosphore et magnésium assimilables. Ces turricules présentent une teneur en nutriments élevée pour  $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  et  $HPO_4^{2-}$  en comparaison avec un sol non ingéré (**Soyers et al., 1979; Mackay et al., 1983; Tiwari et al., 1989 ; James, 1991**). Ceci est dû à l'incorporation de sources de matières organiques dans le turricule plus qu'à des processus directs ou indirects liés à la digestion du ver (**Déligner et al., 1996**). Toutefois, cette plus grande quantité de carbone, engendre la colonisation et/ou l'activation et/ou la sélection de microorganismes qui favorisent la minéralisation.

### **3.2 . Influence des turricules sur les caractéristiques physico-chimiques de sol**

#### **3.2.1. Modification de la structure du sol**

A l'échelle du turricule, les lombriciens modifient la structure du sol via le mélange intime entre les composés organiques et minéraux dans leur tube digestif. La macrostructure du sol est fortement modifiée par un brassage intense et une forte addition d'eau. Une modification de la microstructure a également été rapportée ; les particules étant dispersées et réorganisées autour de colonies bactériennes ou de particules organiques (**Barois et al, 1993 ; Chapuis et al., 1996**). La structure du sol est modifiée et des composés organiques et d'argile sont libérés, d'autres composés organiques peuvent alors être protégés par la formation du turricule et des nouveaux agrégats (**Shipitalo et Protz, 1988 ; Barois et al., 1993**).

#### **3.2.2. Granulométrie des turricules**

Des analyses de fractionnement granulométrique ont montré que les lombriciens ingèrent en priorité les particules fines du sol. Les turricules contiennent des proportions plus importantes d'argile et de limon que le sol environnant (**Shapley et Syers, 1976 ; Shipitalo et Protz, 1988**). La taille des particules ingérées est fonction de celle du ver.

#### **3.2.3. Teneurs en nutriments d'un turricule**

Les turricules présentent des teneurs en carbone organique et en azote plus élevées que le sol environnant (**Buck et al., 1999; Zhang et Schrader, 1993**). Elle sont le siège de diverses réactions et processus physiques, chimiques et biologiques influençant ainsi le cycle biogéochimique de certains éléments majeurs tels que l'azote (**Binet, 1993 ; Parkin et Berry, 1999**), le carbone (**Lee, 1985, Jégou, 1998 ; Schuster et al, 2001**), le phosphore (**Chapuis-Lardy et al, 1998 ; Le Bayon, 1999**) et la de la matière organique (**Blanchart et al., 1990 ; Marinissen et al., 1995**).

## **4. Interaction plante-sol-ver de terre**

L'interaction plante-vers de terre se manifeste réellement par l'intermédiaire du sol. Certains auteurs démontrent que les galeries de vers de terre forment dans les sols à bonne stabilité un réseau préférentiel d'activité biologique. Elles forment des voies de pénétration préférentielles pour les racines, qui descendent d'autant plus aisément par ces galeries que celles-ci ont été faites par des vers qui creusent plus profondément (les anéciques). Les plantes venant à être récoltées, leurs racines se nécrosent et sont absorbées par la faune ; les galeries tendent alors à se rouvrir (**Cécile, 1997**).

#### **4.1. Action mécanique**

Les vers de terre sont responsables de la majeure partie des agrégats à la surface des sols. Certains auteurs ont établi que 50% des agrégats à la surface des sols tempérés seraient constitués de ces turriculées, représentant 40 à 50 T/ha/an en surface et d'autant plus en profondeur (**Six et al. 2004**).

Le processus d'agrégation au sein d'un sol est soumis à plusieurs facteurs : (1) la faune du sol, (2) les microorganismes du sol, (3) les systèmes racinaires des plantes, (4) les liants inorganiques et (5) les facteurs environnementaux (**Oades, 1984**).

Les vers sont des ingénieurs physiques de l'écosystème qui renouvellent la structure du sol (**Saurel et al., 2010**). Ils contribuent à l'édification de la structure grumeleuse des sols à mull, et changent aussi parfois la structure naturelle de certains sols (**Bachelier, 1978**). Ils construisent des systèmes galeries horizontales très ramifiées, qui la remplissent de leurs propres excréments comme ils se déplacent à travers le sol de l'horizon organo-minéral (**Domínguez et al., 2009**). D'après **Schmutz (2013)**, les vers de terre augmentent la stabilité structurale des sols riches en matières organiques

#### **4.2. Action sur la chimie du sol**

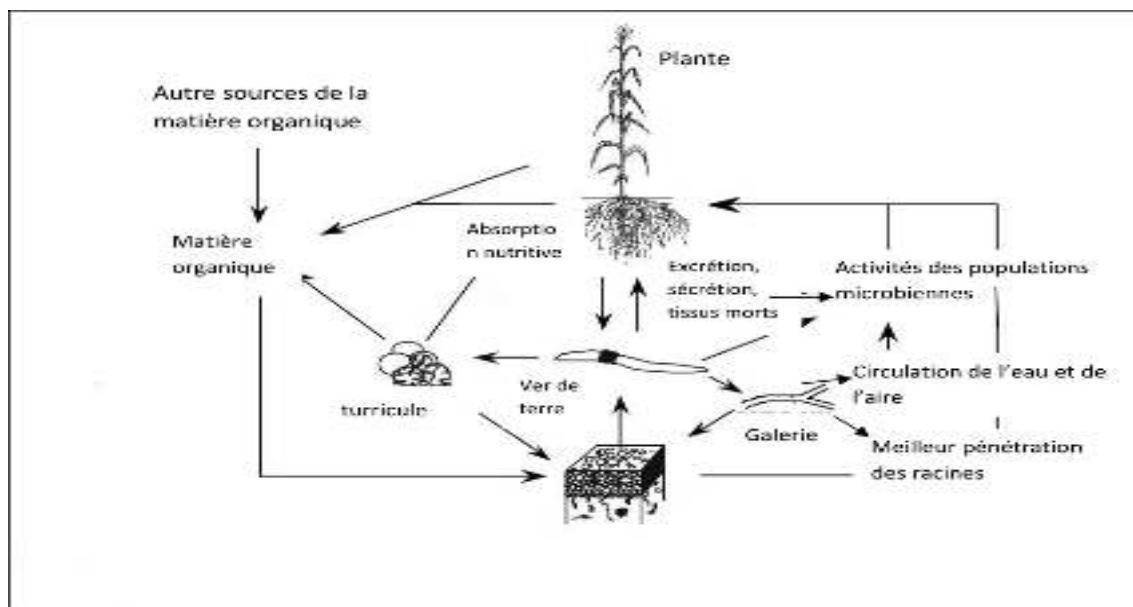
Les « turricules » sont considérablement plus riches en potassium, phosphore et magnésium assimilables. Ces turriculées présentent une teneur en nutriments élevée pour  $\text{NH}_4^+$  ,  $\text{NO}_3^-$  ,  $\text{Mg}^{2+}$  ,  $\text{K}^+$  et  $\text{HPO}_4^{2-}$  en comparaison avec un sol non ingéré . Cet enrichissement vient de l'attaque de minéraux par les enzymes digestifs, et de la décomposition des matières organiques incorporées (**Minnich en 1977**)

#### **4.3. Effet des vers de terres sur les plantes**

Le nombre d'études qui visent l'effet des vers de terre sur la croissance des plantes (en particulier les plantes à intérêt agricole) ne cesse d'augmenter (**Scheu, 2003; Brown et al., 2004**

; **Ruben 2012**). Ces études mettent en évidence un effet positif des vers de terre sur la croissance des plantes ; une fois que le sol est ingéré par le vers de terre, il va subir de profonds changements physico-chimiques et biologiques qui affectent l'ensemble du profil du sol. L'effet positif des vers de terre sur la production végétale est en partie expliqué par leur relation très étroite avec le système racinaire des plantes (**Bouché et Aliaga, 1986; Hameed et al., 1993; Boersma et Kooistra, 1994; El hartiet, 2009**).

Les vers de terre sont d'importants déterminants des processus biologiques, dans la drilosphère (le volume de sol qui est influencé par les vers de terre, délimitant ainsi leurs domaines fonctionnels). Lorsqu'une racine s'allonge dans le sol et rentre en contact avec des turriculées ou galeries de vers, la superposition de la drilosphère et de la rhizosphère va induire des changements au niveau de la communauté microbienne, et donc sur le réseau signalétique de la rhizosphère. Ce changement dans la composition chimique de la rhizosphère de la plante va alors avoir des effets sur la croissance et la physiologie de la plante (**Ruben, 2012**)(figure 9).



**Figure 9.** Schéma des effets physiques, chimiques et biologiques des vers de terre sur les sols et les plantes (**Cuendet et Bieri, 1990 ; Syers et Springette, 1983**).

D'une façon générale l'effet des vers de terre sur le sol et les plantes se résume, selon **Laossi (2010)** dans les points suivants :

- ✓ Ingestion de sol et rejet de turricules: Modification de la structure du sol, aération, infiltration de l'eau
- ✓ Modification de la communauté du sol: Contrôle des parasites, stimulation d'organismes bénéfiques
- ✓ Minéralisation de la matière organique: MO assimilée, fragmentation de la MO rejetée, incorporation de la MO au sol, stimulation de la microflore
- ✓ Production de phytohormones.

A decorative border resembling a scroll, with a grey shadow on the left and right sides, framing the text.

## **PARTIE II : MATERIEL ET METHODE**

## 1. Présentation de la zone d'étude

### 1.1. Situation géographique

Notre est menée sous serre au sein de la pépinière de la commune de Kaïs (wilaya de Khenchela) située sur la route nationale N°88 reliant khenchela à Batna. La commune de Kaïs est limitée au Nord par la commune de Remila, à l'Est par la commune de El Hamma, au Sud par la commune de Tamza et à l'Ouest par la commune de Chélia, alimentée par un réseau hydrographique dense de type endoréique, constitué de ruisseaux (Chaâbets) et d'oueds. Au Sud, la zone est traversée par la chaîne montagneuse des Aurès, avec son point culminant, le Djebel Chélia, 2328 m. Ces massifs sont recouverts d'espèces végétales forestières telles le Pin d'Alep, le Chêne ainsi que le Cèdre et sont enneigés en hiver (**Herath et al., 2017**). (Fig. 10)



**Figure 10.** Situation géographique de la zone d'étude : délimitation administrative de la commune de Kais (Source : PDAU Khenchela) et photos satellitaires (google aearth juillet 2019)

## **1.2.Pépinière E.R.G.R- AURES de Kaïs**

La pépinière E.R.G.R- AURES de Kaïs wilaya de Khenchela est située à 1 km du chef lieu de la commune de Kais, à une altitude moyenne de 912 m , avec une pente très faible. Elle couvre une superficie de 36,5 ha dont 35 ha de surface agricole utile ; le reste 1,5 ha est utilisé comme des infrastructures de base (serre, route) (**pépinière de Kaïs**)

La pépinière constitue un «précieux vivier» apte à satisfaire les besoins en plants des programmes de reboisement, aussi bien à l'échelle locale que régionale, avec une capacité de production annuelle d'un million de plants



**Figure 11.** Photo interne de la pépinière de Kais

La pépinière est limité par :

Au Nord : Terres agricoles de Remila (commune de Remila)

Au Sud : foret massif ouled yagoub (commune de tamza)

A l'Est : terres agricoles (commune de el hamma)

Au Ouest : par le foret domaniale de béni oujana (commune de Chelia et taouzient)

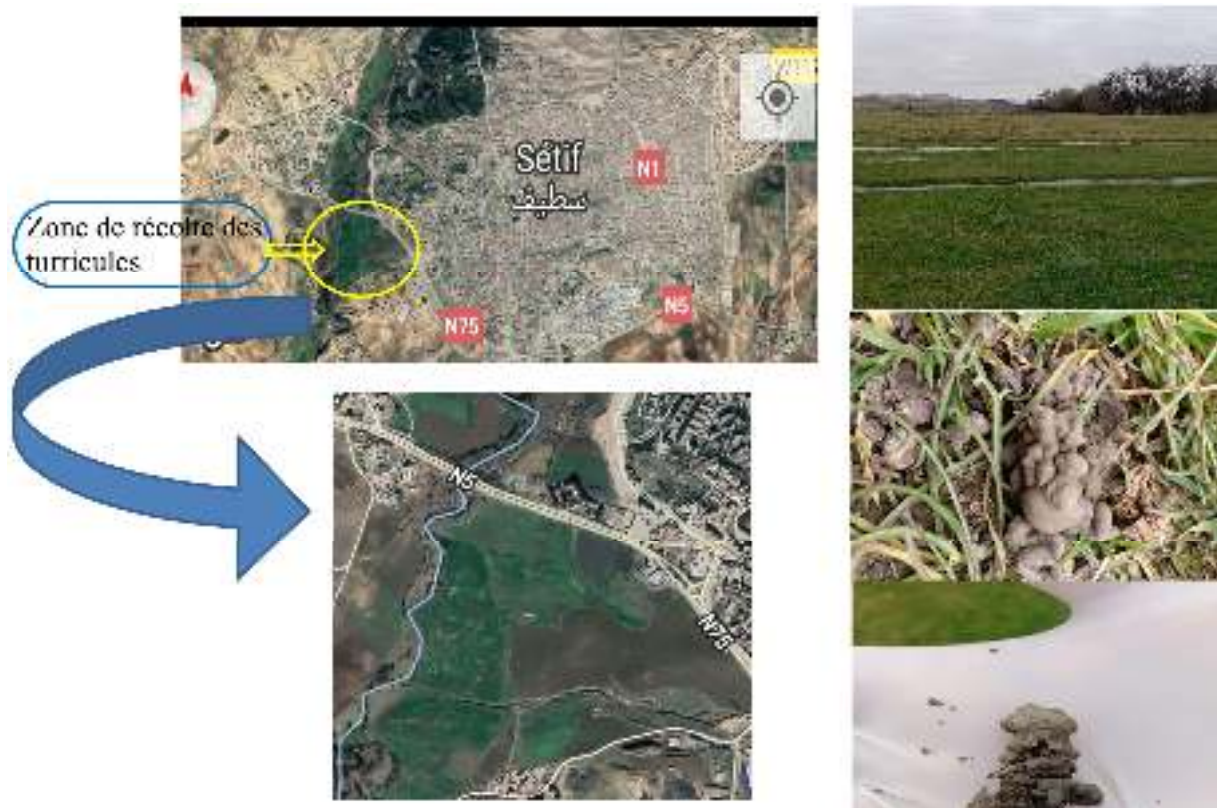
**Le climat** de la région de Kaïs est de type continental se caractérise par des hivers très rigoureux et des étés chauds et secs.

## **2.Reconduite de l'essai**

### **2.1Réculte des turricules dans la prairie préurbaine de la ville de Sétif**

Les turricules sont récupérées directement à la surface de sol des prairies préurbaines naturelles à l'Ouest de la ville de Sétif. Ces prairies appartient aux Hauts Plateaux Sétifiens dans le Nord Est algérien. Elles se présentent comme une surface légèrement ondulée

s'étendant entre les monts du Hodna au sud et les montagnes de petites kabyles au nord (chacha et al., 2011) tout le long d'Oued Boussellem. (**Fig. 12**). Les prélèvements des turricules sont effectués le 30/12/2018.



**Figure 12.** Zone de récolte de turriculés dans prairies préurbaines de la ville de Sétif.

## 2.2. Description du matériel végétal

La laitue (*Lactuca sativa*) est une plante herbacée, annuelle, originaire de l'Asie de l'Ouest et appartenant à la famille des Astéracées, (l'ailtue) sous-famille *Cichoreae*, C'est un légume très consommé dans le monde et sa production mondiale atteint 20,8 millions de tonnes en 2003 (**données FAOSTAT**). C'est une plante annuelle de jours longs à cycle court, consommée (en Europe) à l'état jeune avant la montée en graines. Dans une première phase, elle forme une rosette foliaire étalée puis plus ou moins compacte (la « pomme »). Dans la plante, présence de latex blanc et, selon les cultivars, d'anthocyanes dont la synthèse est favorisée par des conditions culturales défavorables, les basses températures notamment. Après la formation de la pomme, la tige subit une élévation et l'apex évolue en hampe florale. Le système racinaire est pivotant.

- La période de croissance de la laitue semée se divise en plusieurs stades:

0-2 feuilles (printemps-été), 3 feuilles (été), 8 feuilles (été) et pomaison (été-automne).

- La période de croissance de la laitue transplantée se divise en plusieurs étapes : serre (printemps-été), transplantation (fin printemps-été), 5 feuilles (été), 10 feuilles (été) et pomaison (été-automne) (**Grignon, 2015**).

### **2.3. Installation de l'essai dans la pépinière de Kaïs**

L'étude a été menée dans l'objectif d'évaluer l'effet d'apport des turriculés issues des prairies préurbaines de la ville de Sétif sur quelque caractéristique physico-chimique des sols. Pour atteindre cet objectif, nous avons apporté un sol de la pépinière et nous avons préparé 12 pots, puis on a pesé et met 3 Kg de ce sol dans chaque pot, auquel on a ajouté des concentrations croissantes de turriculés de la façon suivante :

- 3 pots contiennent 3Kg de sol sans apport de turricules (témoin : 0g de turricules /pot) ;
- 3 pots contiennent 3Kg sol + 100g de turricules (100g de turricules/pot) ;
- 3 pot contiennent 3Kg sol + 250g de turricules (250g de turricules/pot) ;
- 3 pot contiennent 3Kg sol + 500g de turricules (500g de turricules/pot).

Les turricules rajoutées aux sols sont issues de la willaya de Sétif. Les apports de turricule sont effectués au moment de la mise en place de l'essai c'est-à-dire que turricules est incorporée au sol avant le semis.

Pour apprécier l'effet de l'apport des turricules sur la productivité de sol, nous avons fait le semis de la laitue.

Le semis a été effectuée le 08 /01/2019 sur un support sol/terreux et le repiquage a été effectué au stade 3 feuilles dans des pots qui sont ensuite irrigués chaque semaine à la capacité au champ et la récolte a été effectuée le 29/04/2019 (Fig. 13)



**Figure 13.** Différents étapes de l'essai installé au niveau de la pépinière

### **3. Les analyses physico-chimiques des sols et des turricules**

Les analyses physico-chimiques **des sols et des turricules** sont effectués en vue de bien apprécier le rôle des lombrics. nous avons fait le suivi de l'évolution des paramètres : Potentiel Hydrogène **PH**, la conductivité électrique **CE**, le carbone organique total (**COT**), la matière organique (**MO**), l'azote kjeldahl total (**N**), Cations (**Ca<sup>+2</sup>, K<sup>+</sup> et Na<sup>+</sup>**), granulométrie. Les mesures de ces paramètres sont réalisées au laboratoire de l'Université Abbes Laghrour-Khenchela-

#### **3.1. Analyses de sol**

##### **3.1.1. pH**

La mesure du pH des sols est la mise en équilibre ionique entre la phase solide et la phase liquide.

Pour la mesure du pH, 25ml d'eau distillé sont ajouté à 10 g de sol tamise à 2mm par échantillon contenu dans un bécher de 50ml qui est ensuite posé sur un agitateur électrique. Après une 20 minute d'agitation, le mélange est laissé au repos pendant 15 minute pour être décanté avant la mesure au PH-mètre. L'électrode est calibrée avant chaque série d'analyse à l'aide de solutions tampons à pH 7.

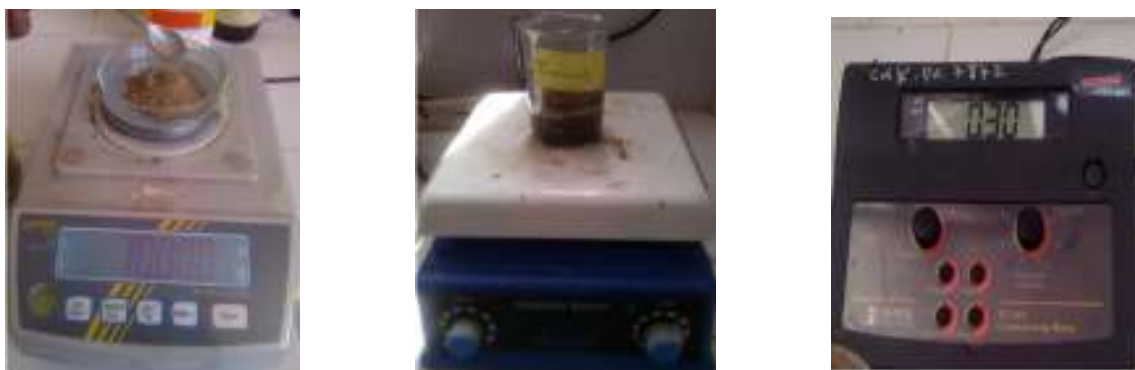


**Figure 14.** Différentes étapes de mesure du pH

### **3.1.2. Conductivité Electrique**

La mesure de la conductivité électrique a pour but de l'extraction des sels d'un échantillon, solubles dans l'eau, dans des conditions bien définies et dans un rapport sol sec/eau égal à 1/5.

Pour la mesure du CE, 50ml d'eau distillé sont ajouté à 10g de sol tamise à 2mm par échantillon contenu dans un bécher de 100ml qui est ensuite posé sur un agitateur électrique. Après une 20 minute d'agitation, le mélange est laissé au repos pendant 15 minute pour être décanté avant la mesure au conductimètre. L'électrode est calibrée avant chaque série d'analyse à l'aide de solutions tampons à pH 7.



**Figure 15.** Différentes étapes de mesure de la conductivité électrique (CE)

### 3.1.3. Carbone Organique Total (COT%) et la matière organique (MO%)

Les carbones organiques sont oxydés par un excès d'une solution de bichromate de potassium, en milieu acide. L'excès sera ensuite déterminé à l'aide d'une solution de sulfate ferreux.

#### ✓ Préparation des solutions

##### - Sulfate de fer et d'ammonium

Prendre 49,02 g sel de Mohr, ajouter 3,75 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré, laisser refroidir et compléter à 250ml avec l'eau distillée.

##### - Bichromate de potassium K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (1N)

Sécher le bichromate de potassium une nuit à l'étuve à 105°C, peser 24,5g, dissoudre dans environ 200 ml d'eau distillée.

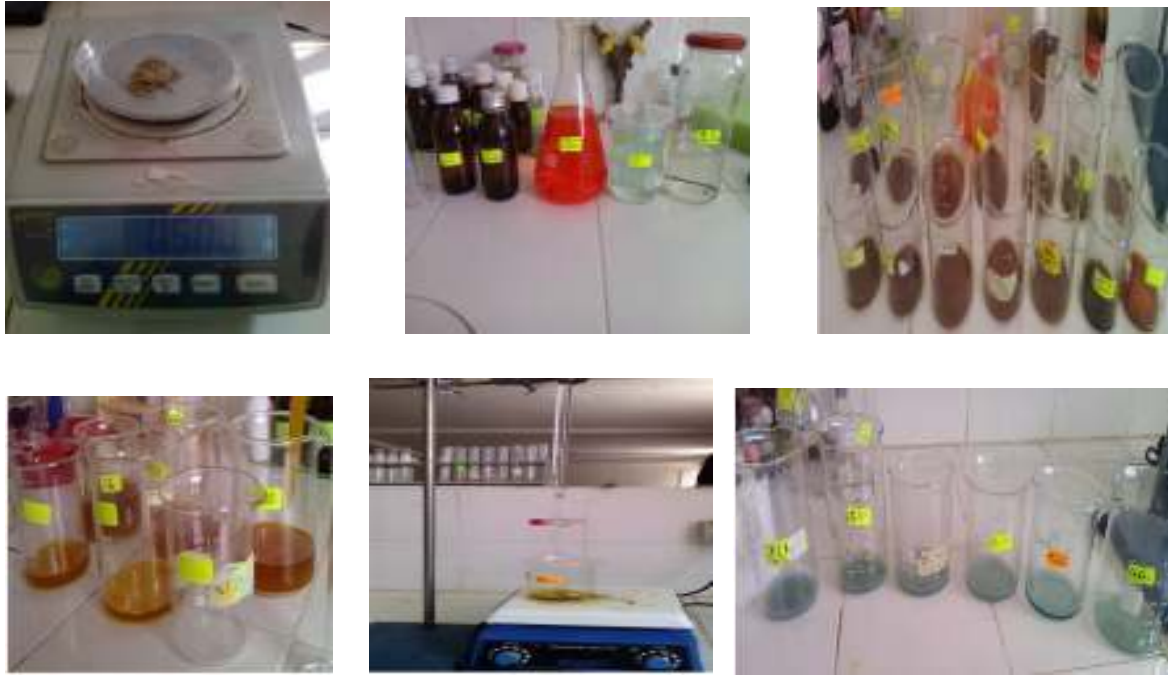
##### - Diphénylamine sulfonate de Fer 0.1% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Dissoudre 0.25 g de baryum diphénylamine sulfonate -4 dans 20 ml d'eau distillée et 100 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentré.

#### ✓ Mode opératoire

Dans un erlenmeyer de 250 ml, une masse de 0,5 g de sol tamise à 2mm est introduite. Ajouter 10ml de bichromate de potassium et 20ml d'acide sulfurique concentré, et agiter une minute et laisser reposer 30minute sur une plaque de bois. En suite ajouter 100ml d'eau distillé et laisser 2h pour être décanté, à 25ml de la solution sont ajouter 5ml de l'acide orthophosphorique et 3 gouttes de diphénylamin (vue le manque de cet indicateur nous l'avons épargné) . Après agitation, l'excès de bichromate est titré par une solution de sulfate de fer et d'alumine jusqu'au virage au vert.

- Un blanc est réalisé dans les mêmes conditions.



**Figure 16.** Différents produits et étapes de mesure du Carbone Organique Total (COT)

Le carbone organique total exprimé en pourcentage de matière sèche est donné par la formule suivante :

$$\text{COT}\% = (\text{Vt} - \text{Ve}) * \text{F} / \text{P} * \text{Vt}$$

COT : carbone organique total en pourcentage de matière sèche

Vt : Volume de titre de témoin en ml.

Ve : Volume de titre de l'échantillon en ml.

F : facteur de correction : 3.9.

P : poids de la prise d'essai en g.

- La teneur des sols étudiés en matière organique et ensuite déduit par la formule

$$\text{MO}\% = \text{COT}\% \times 1,72$$

### 3.1.4. Calcaire Total (CaCO<sub>3</sub>)

Il est déterminé par le calcimètre de BERNARD. Les carbonates du sol sont décomposés par l'acide chlorhydrique (12N), et nous mesurons le volume de gaz carbonique dégagé par la réaction suivant :



✓ **Préparation des solutions**

HCl 50% : prendre 50ml d'HCl puis rajouter 50 ml d'eau distillée.

✓ **Mode opératoire**

Une masse de 0,2 g de  $\text{CaCO}_3$  est introduite dans le vase à réaction, Puis remplir le tube à hémolyse au 3/4 avec HCl 1/2 et l'introduire avec précaution dans l'erenmyer (vase de réaction), et fermer avec le bouchon. En suite, verser rapidement l'acide sur le  $\text{CaCO}_3$  en inclinant le flacon, et agiter jusqu'à cessation du dégagement gazeux. Le volume de  $\text{CO}_2$  dégagé est noté sur la burette en prenant soin d'équilibrer les niveaux dans l'ampoule et dans la burette.

-Même procédé et appliquée sur 0,5 g de sol tamisée.



**Figure 17.** Différents produits et étapes de mesure du Calcaire Total ( $\text{CaCO}_3$ )

### 3.1.5. Cations majeur ( $\text{Ca}^{+2}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ )

Pour chaque échantillon, 1g de sol tamisé a été pesé dans une capsule en porcelaine et on les met dans le four à moufle pour subir une calcination pendant 2h à température de  $220^{\circ}\text{C}$  et 6h à température de  $550^{\circ}\text{C}$ , et 2ml d'acide chlorhydrique concentré ont été ajoutés dans chaque capsule après refroidissement. En suite on chauffe les substrats dans un bain à sable jusqu'à l'évaporation totale de l'acide. De plus, 5ml d' $\text{HCl(N/10)}$  ont été ajoutés et on filtre les solutions obtenues dans des fioles jaugées de 100ml et on ajoute l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. On passe les échantillons dans le photomètre à flamme après avoir passé les solutions d'étalonnage appropriées à chaque élément minéral.



Figure 18. Différents produits et étapes de mesure du cation majeur

### 3.1.6. Dosage de l'azote total

#### ✓ Principe

On chauffe la substance avec de l'acide sulfurique concentré qui, à l'ébullition, détruit les matières organiques azotées. Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ , l'azote transformé en ammoniac est fixé par l'acide sulfurique à l'état de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

$\text{K}_2\text{SO}_4$  permet d'élever la température d'ébullition de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  jusqu'à  $400^{\circ}\text{C}$ .  $\text{CuSO}_4$  sert de

catalyseur  $\text{NH}_3$  est en suite déplacé par une solution d'hydroxyde de sodium, entraîné à la vapeur et fixé à l'état de borate, lequel est dosé par une solution titrée d'acide sulfurique.

✓ **Mode opératoire**

**Minéralisation**

Les échantillons solide ont été broyés manuellement à une taille de 2mm, environ 1g de sol ont été placé dans un matras, 25ml de l'acide sulfurique concentré ont été ajouter puis mis au repos pendant 30minute et ajouter le catalyseur(5g  $\text{K}_2\text{SO}_4$ +0,5g  $\text{CuSO}_4$ ), faire bouillir à  $400^\circ\text{C}$  jusqu'à ce que les échantillons deviennent blancs et laisser refroidir. Le minéralisât est récupéré dans des fiole de 100ml et ajusté jusqu'à trie de jauge avec l'eau distillée pour la distillation.

-le blanc est réalisé dans les mêmes conditions.

**Distillation**

✓ **préparation des solutions**

- met 96g de  $\text{NaOH}$  et ajouté 300 ml d'eau distillé
- 4g d'acide borique , et compléter avec l'eau jusqu'à 100ml

✓ **Mode opératoire**

Dans les matras de distillation, mettre 25ml de l'échantillon et quelques gouttes de phénolphtaléine.

Dans un erlenmeyer de 250ml, ajouter 10ml de l'acide borique et quelques gouttes de l'indicateur de Tashiro

-Un témoin est préparé dans les mêmes conditions.

**Titrage**

Après agitation, l'excès est titré par une solution d'acide sulfurique (0,56 ml d'acide sulfurique dans 500 ml d'eau distillée) jusqu'au virage au violet.



**Figure 19..** Différents produits et étapes de dosage de l'azote total

### **3.1.7.Granulométrie**

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer quantitativement la distribution des particules de sol par classes de diamètres.

200g de sol séché à l'aire et 500ml d'eau ont été mis dans une éprouvette graduée de 500ml , ce derniers a été bouché et agité pendant 1minute, le mélange est laissé au repos pendant 24h pour être décanté avant la mesure le nombre et la grandeur des classes .

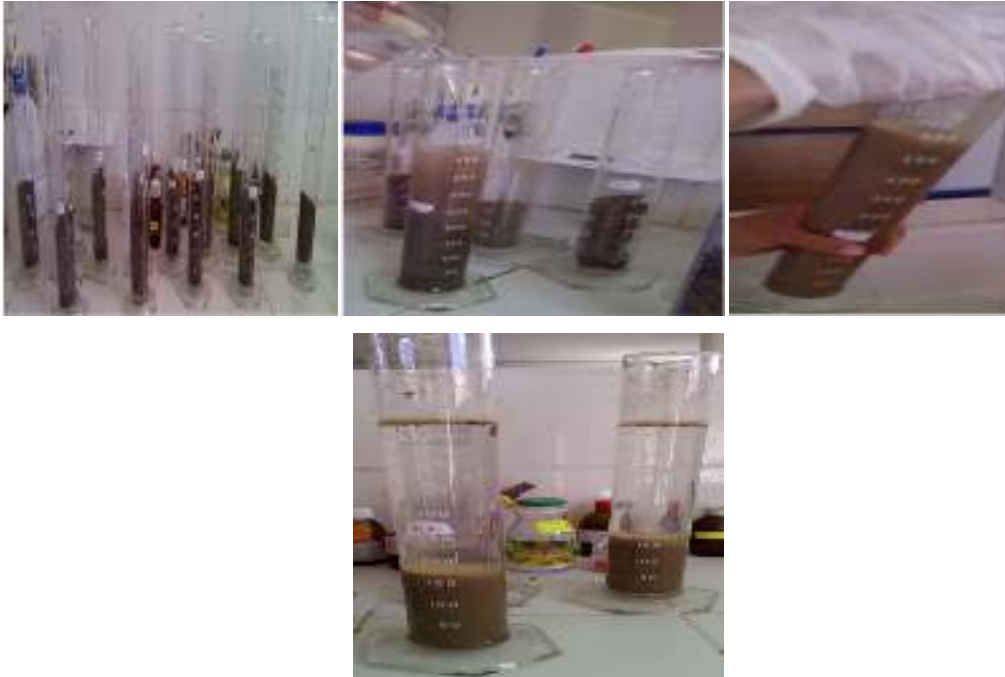


Figure 20. Différent étape de mesure la granulométrie

### 3.2. Variables mesurés sur la laitue

#### 3.2.1. Chlorophylle

Tous les échantillons de plantes ont été lavés à l'eau distillée puis séchés à l'air libre.

-Pesez 0,5g de feuille de laitue, puis broyées et placer dans un bécher de 150ml. 10ml d'acétone et 90ml d'eau distillé ont été ajouté dans chaque erlenmeyer

-Le mélange est filtré

- Un blanc est réalisé dans les mêmes conditions.

Les lectures sont effectuées par un spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes 645 et 663 les teneurs de chlorophylle sont données par les formules :

$$\text{chlorophylle a } (C_{645}) = 12,7 \times DO_{645} - 2,69 \times DO_{663}$$

$$\text{chlorophylle b } (C_{663}) = 22,9 \times DO_{645} - 4,68 \times DO_{663}$$



**Figure 21.** Différent étape de mesure la chlorophylle

**3.2.2. Surface foliaire  $SF = \text{longueur de feuille} \times \text{large de feuille} / 2$**

**3.2.3. Biomasse Totale et Biomasse aérienne (le poids frais des) ont été mesurés à l'aide d'une balance de précision**

**3.2.4. Nbre de feuilles et de racines**

#### **4. Etude statistique**

Pour valoriser nos résultats, nous avons mené une analyse statistique, il s'agit notamment de statistiques descriptives, l'analyse de variance (ANOVA), l'étude des moyennes ainsi que les corrélations ainsi le logiciel statistique MINITAB 18.



**PARTIE III :  
RESULTATS ET  
DISCUSSION**

## Résultats et discussion

### 1. Caractérisation des turricules

Au plan physico-chimique, les turricules (Tur) se caractérisent par une texture Limono-sableuse chimiquement riche, douce au toucher et poudreuse lorsqu'elle sèche, très fertile et facile à travailler et propice au bon développement des plantes. Ces turricules se caractérisent également par un pH faiblement alcalin, une conductivité électrique de 0,49 mmhos/cm indiquant qu'il s'agit d'un substrat non salé, très riches en matière organique (18,63 %), et cela est due à l'alimentation sélective des vers de terre qui se base sur la matière organique. Plusieurs auteurs ont observés une augmentation des concentrations du carbone total dans les turricules par rapport au sol environnant. Cette augmentation peut atteindre selon **Lee (1985)** de 1,5 à 2 fois, selon **Lavelle (1997)** de 2 à 3 fois selon **Addad (2018)** 2,5 fois. Les turricules ont des teneurs très élevées en calcaire avec un taux de 83,8 % et sur le plan des bases échangeables, les turricules sont riches en potassium et sodium et représente des valeurs excessivement élevées en calcium (**Tab 5**). Selon (**König, 2007**), la composition des excréments des vers de terre sont plus riches de 140% de calcium et de plus de 100% de potassium que la terre environnante.

**Tableau 5.** Caractéristiques physico-chimiques des turricules

Paramètres	Valeurs	
	Argil	15,38
	Limon	23,83
Granulométrie en (%)	Sable	60,79
Carbone total organique (COT) en (%)		10,83
matière organique (MO) en (%)		18,63
CaCO <sub>3</sub> Total		83,8
pH		7,33
Calcium (Ca) en (meq/100g)		0,828
Sodium (Na) en (meq/100g)		0,214
Potassium (K) en (meq/100g)		0,119
CE (ms/cm)		0,49

## 2. Effet d'apport des turricules sur quelques propriétés physicochimiques de sol

Pour appréhender l'impact potentiel de l'apport des doses croissantes des turricules récoltés de la prairie préurbaine de la ville de Sétif sur les caractéristiques des sols de la pépinières de Kaïs région de Khenchela, nous avons soumis les résultats des différents paramètres étudiés à une analyse de la variance (ANOVA), après avoir vérifié les conditions d'application de ce test et nous avons abouti aux effets énoncés en tableau (6).

**Tableau 6 .** Carré moyen de l'analyse de variance des paramètres mesurés sur le sol.

Sources variation	de	dd	pH	CE	MO(%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	C/N	Arg (%)
effet dose turricule	de	3	0,0627 <sup>ns</sup>	0,0018 <sup>n</sup> <sub>s</sub>	17,35 <sup>***</sup>	322,06 <sup>**</sup>	3,186 <sup>*</sup>	1,87 <sup>ns</sup>
Erreur		8	0,0230	0,0013	0,48	18,68	0,683	3,76

Sources variation	de	dd	Lim(%)	sab(%)	Ca <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
effet dose turricule	de	3	27,9 <sup>ns</sup>	38,23 <sup>ns</sup>	22,36 <sup>ns</sup>	51,67 <sup>ns</sup>	182,2 <sup>*</sup>
Erreur		8	53,5	76,0	18,65	15,55	30,4

ns, \* et \*\* : effet non significatif, significatif et hautement significatif respectivement  
 pH : potentiel hydrogène, CE : conductivité électrique, MO : matière organique, CaCO<sub>3</sub>: calcaire total, Arg : Argile, Lim: Limon, Sab : Sable, Ca<sup>++</sup> : calcium, Na<sup>+</sup> : sodium et K<sup>+</sup> : potassium respectivement

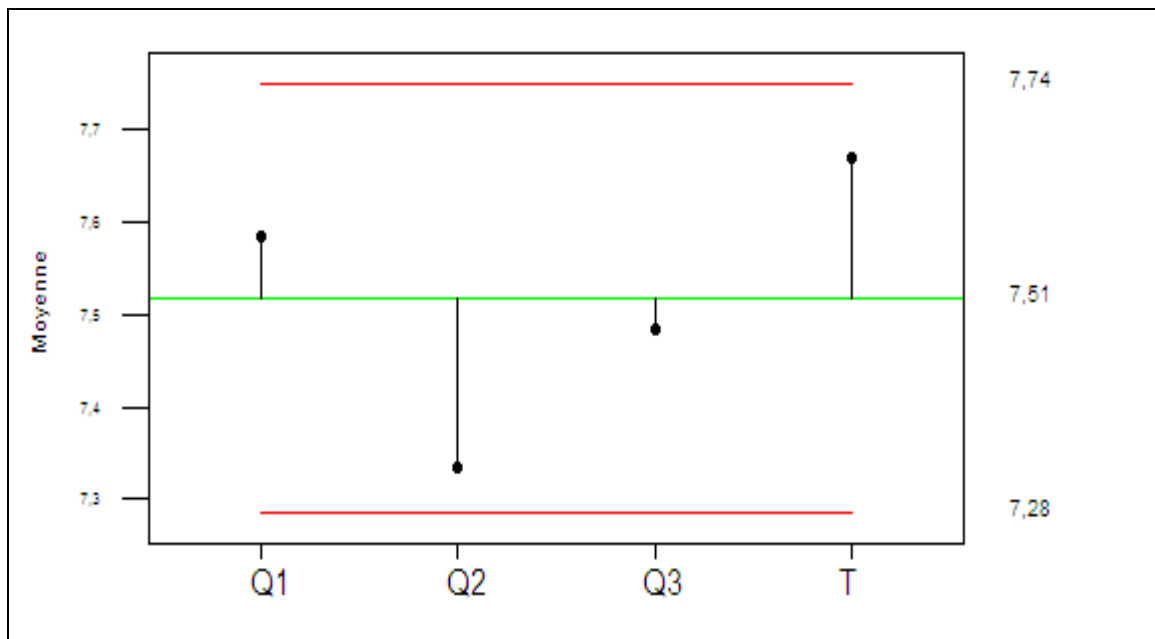
D'après le tableau (6), nous constatons que l'effet apport des turricules est non significatif sur les paramètres potentiel hydrogène, conductivité électrique, pourcentages de Sable, de limon et d'argile, calcium et sodium, significatif sur le potassium, le rapport et C/N de sol et hautement à très hautement significatif pour le calcaire et la matière organique respectivement, ce qui indique la présence des différences significatives entre les moyennes des traitements étudiés pour les quatre derniers paramètres mentionnés ci-dessus.

### 2.1. Effet d'apport des turricules sur le pH

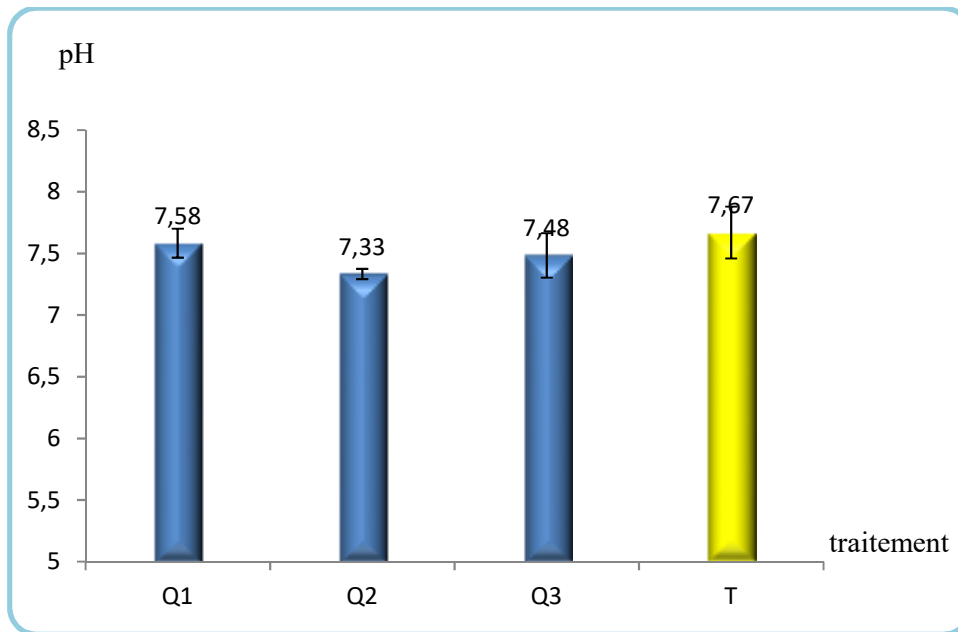
Nous rappelons que le pH est une variable logarithmique de la quantité d'hydrogène H<sup>+</sup> par litre de solution (**Barberousse, 1998**).

L'analyse de la variance a révélé l'absence d'un effet significatif des différentes quantités des turricules apportées sur le pH de sol (p=0,114) (fig 22). D'après la figure (23), nous constatons une léger diminution du pH dans les sols traités, surtout pour les traitements Q2 et Q3 (7,33 et 7,48 respectivement), avec les turricules par rapport au sol témoin (7,67) mais

cette diminution reste non significative de point de vue statistique. Nos résultats concordent avec ceux obtenus pas **Thuriès et al. (2000)** lors d'un dispositif suivi sur cinq ans, dans le sud de la France, pour tester les effets de l'apport d'un amendement organique commercial à base végétale sur les cultures de melon et la laitue, où ils ont affirmé qu'aucune variation significative n'est notée pour les pH-eau et-Kcl du sol. Par contre **Biaou et al. (2017)** ont trouvé que l'apport des différentes formes d'engrais organiques ainsi que les doses d'application ont eu des effets très hautement significatifs ( $P < 0,001$ ) sur le pH (eau) des sols ferrallitique au sud Bénin.



**Figure 22.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur le pH du sol (région de Kaïs)



**Figure 23.** Effet d’apport des turricules sur le pH du sol (région de Kais)

Les résultats du pH indiquent que les sols traités par les turricules sont faiblement alcalins alors que le sol témoin est alcalin et cela selon les normes adoptés par le Laboratoire Agronomique de Normandie (LANO).

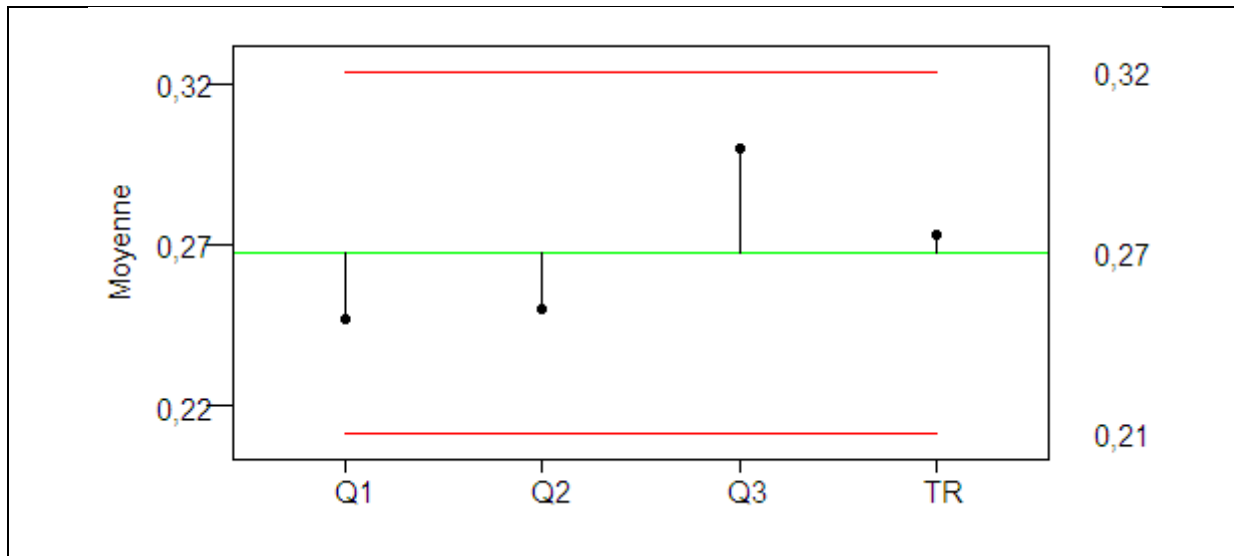
**Tableau 7.** Echelle d’interprétation du pH (site: <http://www.lano.asso.fr>)

pHeau (1/5)	Appréciation agronomique
$\text{pH} \leq 5.5$	Sol très acide
$5.5 < \text{pH} \leq 6.0$	Sol acide
$6.0 < \text{pH} \leq 6.5$	Sol peu acide
$6.5 < \text{pH} \leq 7.0$	Sol neutre
$7.0 < \text{pH} \leq 7.5$	Sol peu alcalin (peu basique)
$\text{pH} > 7.5$	Sol alcalin (basique)

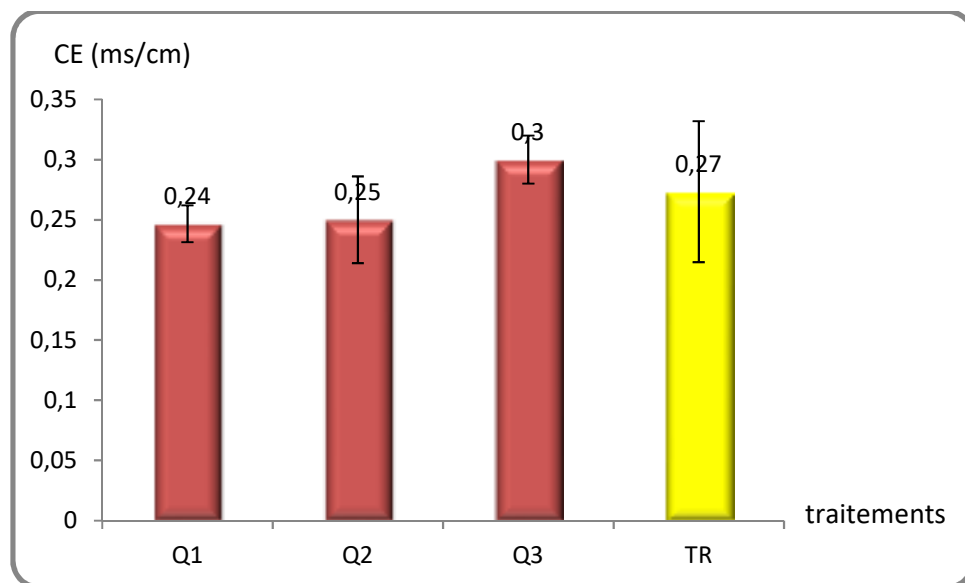
## 2.2.Effet d’apport des turricules sur la conductivité électrique CE ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ )

La conductivité électrique constitue un indicateur de la concentration des sels solubles dans le sol. Les résultats des mesures effectuées indiquent un effet apport de turricules non significatif sur la conductivité électrique des sols étudiés. L’étude des moyennes indique que les valeurs de la conductivité passent de  $0,24 \pm 0,015$  ms/cm, valeur enregistrée chez le traitement Q1, à  $0,3 \pm 0,02$  ms/cm, valeur remarquée chez le traitement Q3 (Fig 25), ces valeurs sont presque égales à celle du témoin  $0,27 \pm 0,058$  ms/cm, ce qui élimine la présence

de l'effet de turricule sur ce paramètre (toutes les moyennes se trouve dans le même groupe) (Fig 24).



**Figure 24.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur la CE du sol (région de Kaïs)



**Figure 25.** Effet d'apport des turricules sur la CE du sol (région de Kaïs)

D'une façon générale et selon l'échelle **Durand (1983)**, les sols des différents traitements étudiés se situent dans la classe I (sol non salé) dont la conductivité s'étale de 0 à 500  $\mu\text{s}/\text{cm}$  et se caractérise par un effet néfaste négligeable sur le rendement.

**Tableau 8.** Classe de la qualité des sols : Echelle d'interprétation de la conductivité électrique CE selon de **Durand (1983)**

Classe	CE en $\mu\text{s}/\text{cm}$ à 25 °C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures très sensibles au sel
Classe III	1000 à 2000	Salé	Diminution des rendements de la plus part des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent un rendement satisfaisant
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

### 2.3. Effet d'apport des turricules sur la matière organique (MO)

Les spécialistes s'entendent pour dire qu'un taux de 1,5 % est la limite critique théorique, au-dessous de laquelle la fertilité diminue rapidement. Il est souvent souhaitable de viser à maintenir un taux minimal de 2,5 % en général et même de 3,5 à 4 % dans les sols lourds. **(Doucet, 2006)**. De façon générale, un taux de 4 à 8 % de matière organique correspond à une bonne productivité et à une bonne capacité de minéralisation. Cependant, de hautes teneurs en matière organique peuvent être révélatrices de mauvaises conditions de croissance si elles sont associées à de mauvaises conditions de drainage. De plus, un niveau élevé de matière organique peut induire une trop forte rétention en eau et favoriser le développement de certaines maladies, entre autre chez la pomme de terre **(CRAAQ, 2003)**.

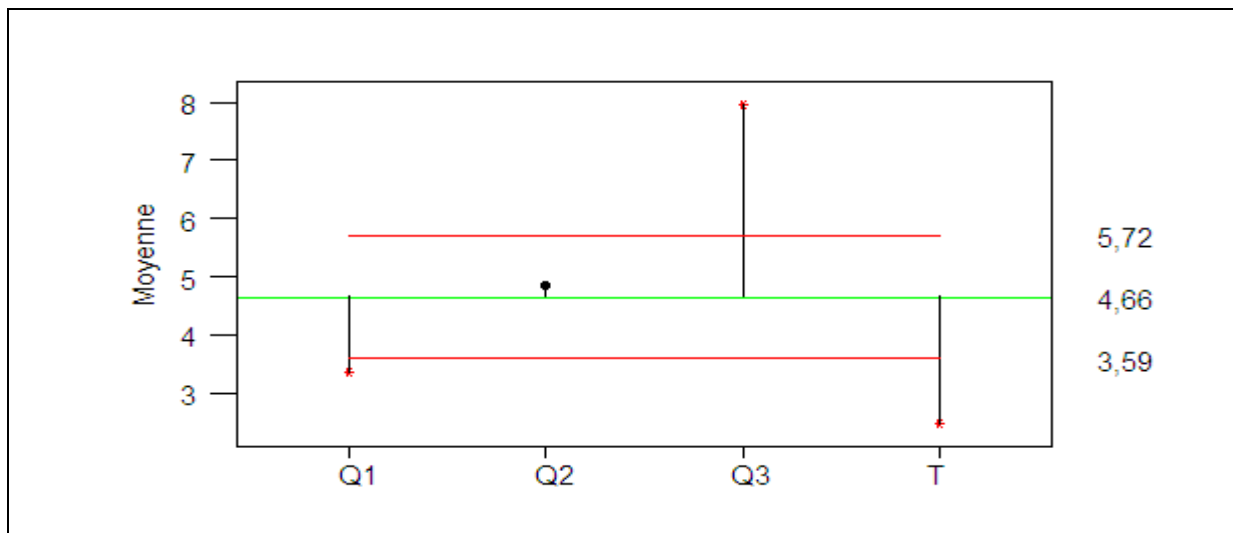
L'analyse de la variance a révélée un effet apport des turricules très hautement significatif sur la teneur de sol en matière organique et la comparaison des moyennes indique la présence de trois groupes (Fig 26). Le premier groupe est constitué par le sol traité par la troisième quantité (Q3=500 g de turricule) qui représente la teneur la plus élevée de matière organique avec une moyenne de  $7,96 \pm 1,21$  %, deuxième groupe formé par le sol traité par la deuxième dose d'apport de turricule (Q2=250 g) est moyennement pourvu de matière organique enregistrant ainsi une valeur de  $4,84 \pm 0,37$  % et finalement le troisième groupe qui englobe les deux sol ; le témoin et celui auquel on ajouté 100 g de turricules (Q1), représente les deux valeurs les plus faibles en matière organique ( $2,48 \pm 0,42$  et  $3,35 \pm 0,37\%$  respectivement). (Fig 27). d'une façon générale l'apport des turricules a engendré une augmentation de la teneurs des sols en matière organique, ces résultats concordent avec ceux de **Védie et leclerc (2015)** où il a trouvé en fin d'essai, que tous les amendements ont permis d'augmenter le taux de MO du sol : + 0,5% pour fumiers et végéthumus ; + 1,2% pour le compost déchets verts et + 0,8% pour le compost d'écorces enrichi.

Selon AFEQ (1987) et vu leur texture sablo-limoneuse, les sols témoin et celui de Q3 (au quel on ajouté 100 g de turricules) sont classés à la catégorie des sols pauvres en matière organique (classe de 2,1 à 3,5 %) alors que les sols Q2 et Q3 (aux quels on ajouté respectivement 250 et 500 g de turricules) sont considérés comme moyennes (classe de 3,6 à 6,5 %) à riches (classe de 6,6 à 8,0 %) en matière organique respectivement (Tab 9).

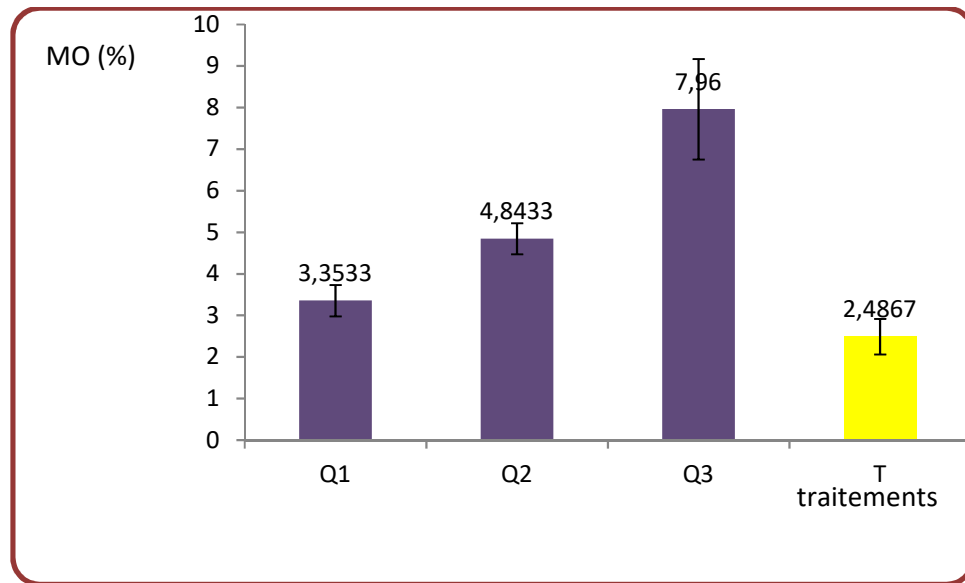
**Tableau 9.** Echelle d'interprétation de la Matière organique selon la texture des sols

Niveau	Texture légère	Texture lourde
	Sable à loam	Loam argileux à argile lourde
Très pauvre	0,0 – 2,0 %	0,0 – 2,0 %
Pauvre	2,1 – 3,5 %	2,1 – 4,5 %
Moyen	3,6 – 6,5 %	4,6 – 10,0 %
Riche	6,6 – 8,0 %	10,1 – 13,0 %
Très riche	> 8,0 %	> 13,0 %

Source : Association des fabricants d'engrais du Québec (1987)



**Figure 26.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur la matière organique MO du sol (région de Kaïs)



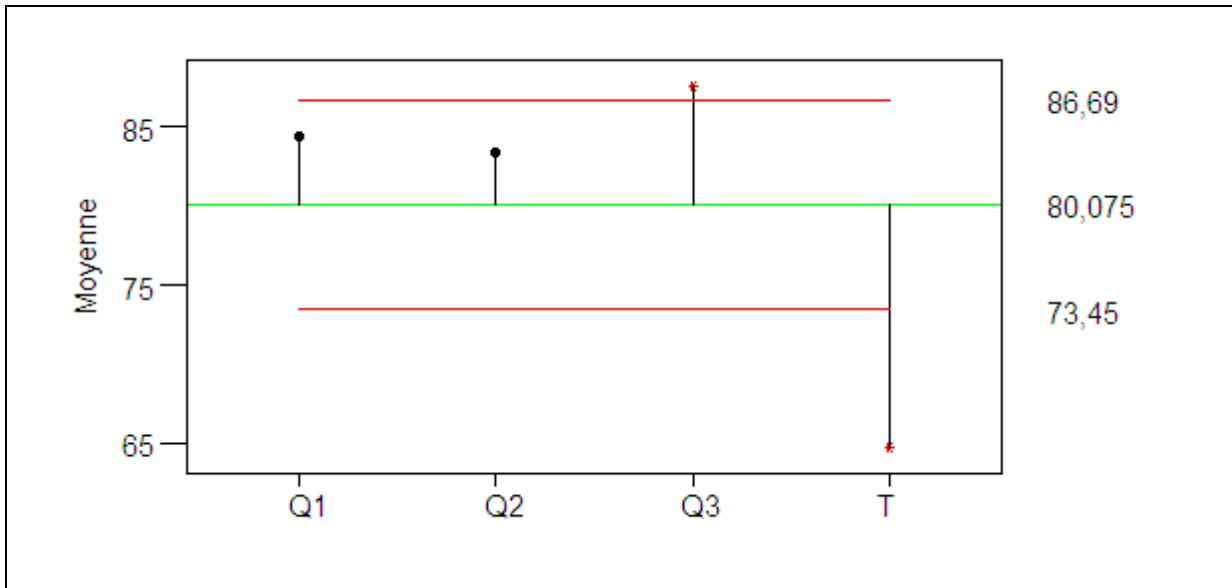
**Figure 27.** Effet d'apport des turricules sur la matière organique MO du sol (région de Kaï)s

Ces résultats montrent que l'effet d'apport des turricules qui sont riches en matière organique (18,63 %), n'apparaît qu'à partir de la dose 250 g/ pot où la teneur a presque doublé de valeur par rapport au sol témoin. Cette augmentation dépasse le triple dans le sol Q3 traité par 500g/pot de turricule.

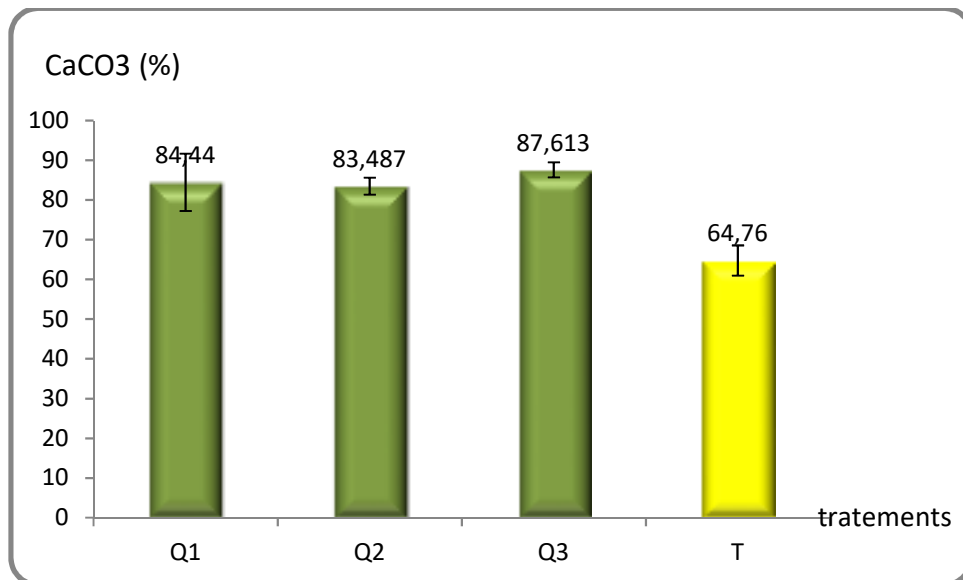
#### 2.4. Effet d'apport des turricules sur le calcaire total ( $\text{CaCO}_3$ )

Le calcaire total est une des composantes héritées du sol, éventuellement légèrement modifiable par apports massifs et répétés d'amendements. Son absence totale a pour conséquence une acidification progressive, plus ou moins rapide suivant le contexte pédoclimatique, qu'il est nécessaire de compenser par des apports réguliers d'amendements basiques (chaulage) (Hans, 1941).

La comparaison des moyennes des teneurs en calcaire actif des sols étudiés indique la présence des différences significatives entre les différents traitements. L'apport des turricules a augmenté d'une façon significative la teneur de ces sols en calcaire total par rapport au sol témoin. Les valeurs de cet élément oscillent entre  $64,76 \pm 3,81$  %, valeur observée chez le sol témoin, et  $87,61 \pm 1,9$  %, valeur enregistrée chez le traitement Q3 (Fig 28).



**Figure 28.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l’apport des turricules sur le calcaire total  $\text{CaCO}_3$  du sol (région de Kaïs)



**Figure 29.** Effet d’apport des turricules sur le calcaire total du sol (région de Kaïs)

L’étude des moyennes a ressortit trois groupes homogènes ; le premier se caractérise par les teneurs très élevées en calcaire total englobe le traitement Q3,, le deuxième se distingue par des valeurs relativement moins importantes comprend les deux traitements Q1 et Q2 avec des valeurs moyennes de  $84,44 \pm 7,21$  et  $83,49 \pm 2,15$  % respectivement et finalement le troisième formé par le sol témoin qui enregistre la plus faible valeur de calcaire. Les teneurs en calcaire de tous les sols des différents traitements étudiés qui sont très élevées ( $> 50$  %) confèrent à ces sols selon les normes d’interprétation de LANO, le caractère très fortement calcaire (Tab 10). Au-delà de 5% de calcaire total, les réserves naturelles ce calcium et leur libération progressive par dissolution sous l’effet des précipitations et de l’activité chimique et

biologique du sol rend inutile tout retour au chaulage sur le très long terme (**Benmezziane, 2015**).

**Tableau 10.** Echelle d'interprétation du calcaire total du sol

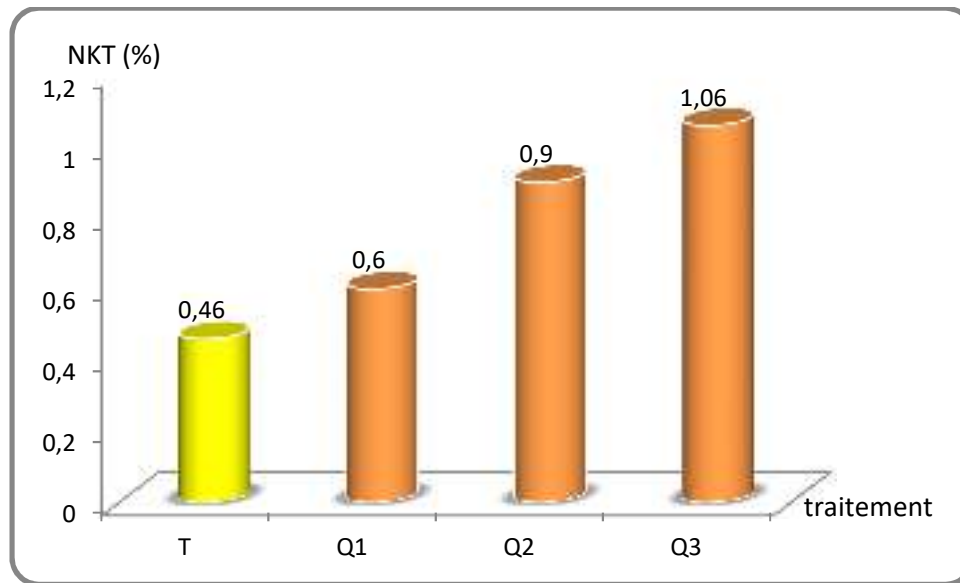
TAUX DE CaCO <sub>3</sub> TOTAL A L'ANALYSE	QUALIFICATION DU SOL
CaCO <sub>3</sub> T ≤ 5%	SOL NON CALCAIRE
5 < CaCO <sub>3</sub> T ≤ 12,5%	SOL FAIBLEMENT CALCAIRE
12,5 < CaCO <sub>3</sub> T ≤ 25%	SOL MODEREMENT CALCAIRE
25 < CaCO <sub>3</sub> T ≤ 50%	SOL FORTEMENT CALCAIRE
CaCO <sub>3</sub> T > 50%	SOL TRES FORTEMENT CALCAIRE

## 2.5. Effet d'apport des turricules sur l'Azote azote kjeldahl total (NKT%)

L'azote est aussi un élément important de la fertilité des sols. En effet, il est indispensable pour la plante et il constitue un des facteurs essentiels du rendement. Dans le sol l'azote qui est principalement sous forme organique, se minéralise sous l'action des microorganismes. Cette minéralisation est très liée aux conditions du milieu : température, humidité, aération, pH.

Les teneurs moyennes en azote kjeldahl total des sols étudiés sont de l'ordre de 0,46 % pour le sol témoin (T : 0 g turricule) et de 1,06 % en sol Q3 (apport 500g de turricule /pot), avec une augmentation de plus de 130 % (fig 30). Selon **Bazri (2015)** les teneurs élevées en azote sont liées aux grandes quantités de la matière organique qui joue un rôle important dans l'approvisionnement du sol en azote après sa minéralisation.

Malheureusement, nous n'avons pas pu faire des répétitions pour ce paramètre vu le manque des produits chimiques ce qui nous a empêché de réaliser une analyse de variance ainsi que une comparaison des moyennes, mais on constate d'une façon générale, que l'apport des turricules a augmenté les teneurs de ces sols en azote et ça s'explique par l'augmentation de la matière organique.



**Figure 30.** Effet d’apport des turricules sur l’azote kjeldhal total du sol (région de Kaïs)

La fertilité des sols en azote peut être déterminée à partir d’un abaque proposé par Dabin qui est fonction de la teneur en azote total et du pH qui propose 5 échelles de fertilité (1 à 5).

**Tableau 11.** Classification de la fertilité des sols à partir du pH et de la teneur en azote total (Dabin, 1970)

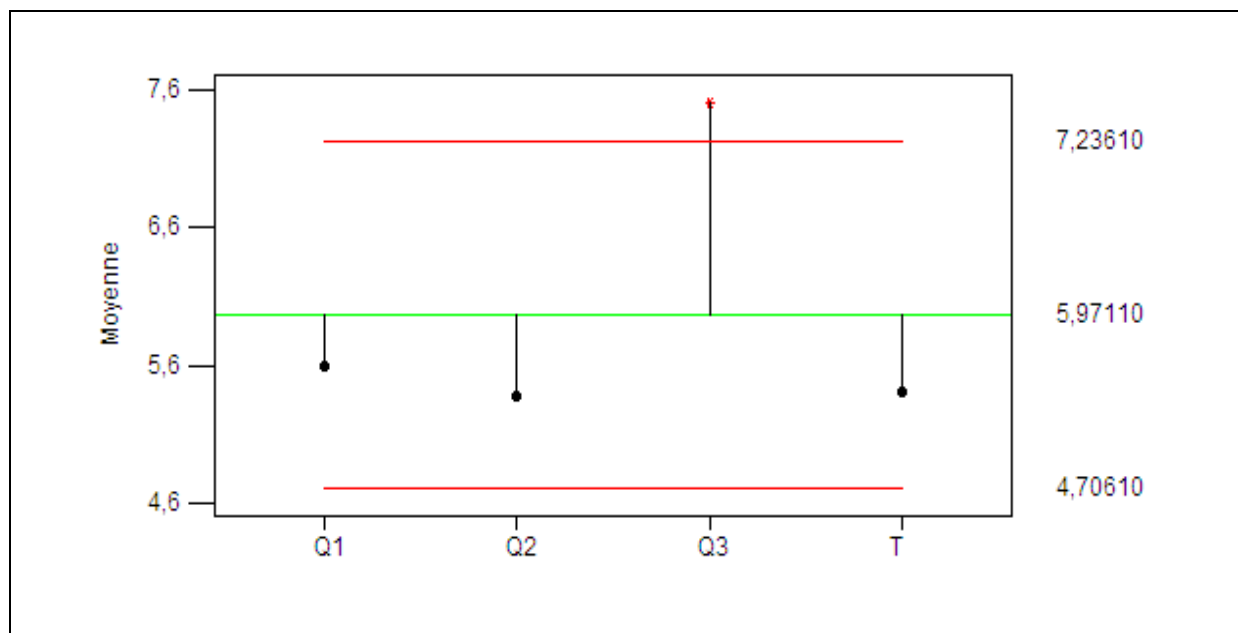
Echelle	1	2	3	4	5
pH	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon
4,5	< 0,6	0,6 à 1,2	1,2 à 2,5	>2,5	
5	< 0,45	0,45 à 0,8	0,8 à 1,5	1,5 à 3	>3
6	< 0,3	0,3 à 0,45	0,45 à 0,8	0,8 à 1,5	>1,5
6,5	< 0,2	0,2 à 0,3	0,3 à 0,45	0,45 à 1	>1
7	< 0,1	0,1 à 0,2	0,2 à 0,3	0,3 à 0,45	>0,45

D’après le tableau précédent la fertilité des sols étudiés est très bonne.

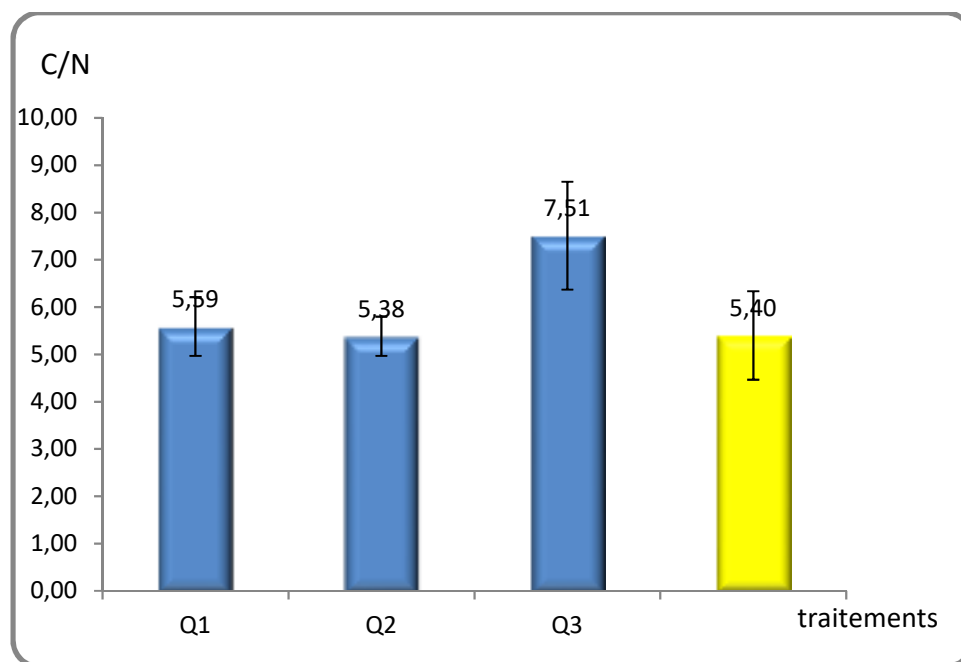
## 2.6. Effet d’apport des turricules sur le rapport C/N

Le rapport C/N est un bon indicateur de l’activité biologique du sol (Crespy, 2003), plus le rapport C/N est élevé, moins l’azote est rapidement disponible.

L'analyse de la variance indique un effet apport des turricules significatif sur le rapport C/N, cet effet est apparu seulement avec l'apport de la troisième quantité de turricules Q3 (500 g/pot) (fig 31)



**Figure 31.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur le rapport C/N du sol (région de Kaïis)



**Figure 32.** Effet d'apport des turricules sur le rapport C/N du sol (région de rapport C/N (Kaïis)

Les valeurs du rapport C/N des sols étudiés oscillent entre  $5,38 \pm 0,41$ ; valeur observée chez le traitement Q2, et  $7,51 \pm 1,14$ ; valeur enregistrée chez le traitement Q3. Toutes ces

valeurs reste inférieur à 10 ce qui nous indique la présence d'une forte minéralisation et disponibilité élevée à très élevée de l'azote (Tab 12).

**Tableau 12.** Echelle d'interprétation du C/N des résidus organiques, la minéralisation et la disponibilité de l'azote pour les plantes

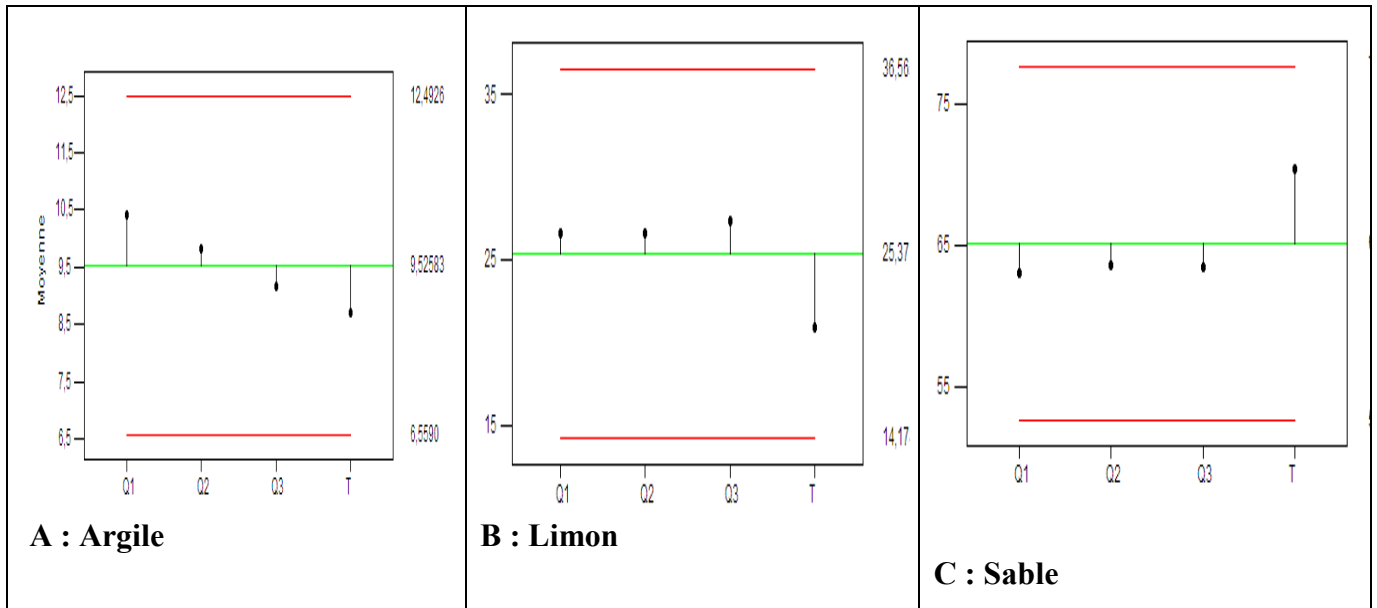
C/N	Niveau de minéralisation	Disponibilité de l'azote
< 10	Forte minéralisation	Elevée à très élevée
10 -20	Bonne minéralisation	Bonne à élevée
20 -60	Faible minéralisation	Faible à négative
60 –100	Faible immobilisation	Faible à très négative
> 100	Forte immobilisation	négative

### 2.7. Effet d'apport des turricules sur la granulométrie

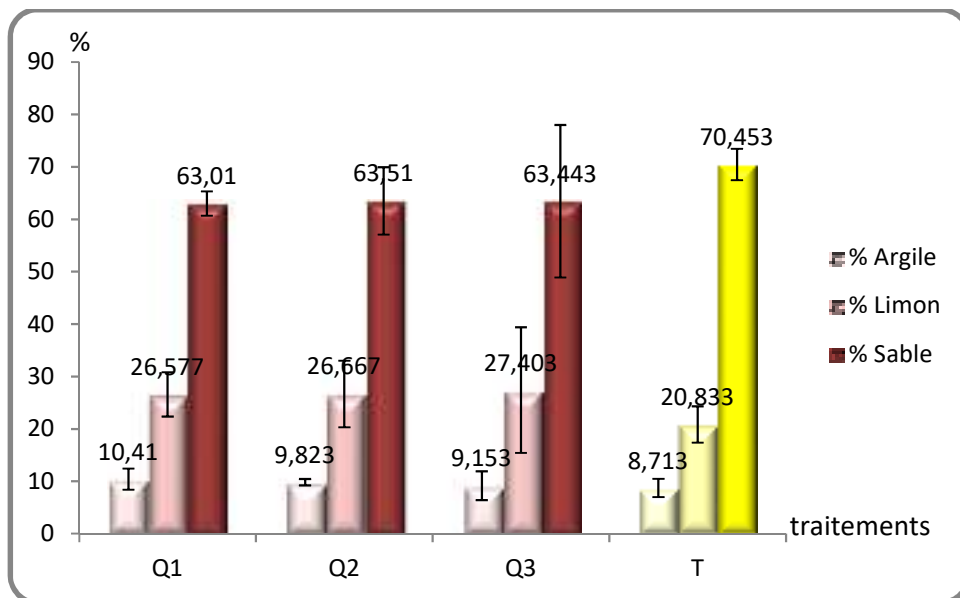
La granulométrie est une caractéristique héritée de l'histoire géologique et pédologique de la parcelle. Elle ne peut être modifiée par l'homme en situation culturale normale (Benmeziane, 2015).

Comme nous avons vu l'effet apport des turricules n'a pas influé significativement les pourcentages d'argile, de limon et de sable des sols étudiés. Les moyennes du pourcentage d'argile passent de  $8,71 \pm 1,74$  % ; valeur enregistrée chez le sol témoin, à  $10,41 \pm 2,02$  % ; valeur remarquée chez le traitement Q1. En ce qui concerne le pourcentage de limon, les valeurs moyennes oscillent entre  $20,83 \pm 4,47$  %, valeur enregistrée pour le sol témoin, et  $27,4 \pm 11,98$  %, pourcentage remarqué chez le sol Q3. Comme les teneurs des sols étudiés en argile et en limon le pourcentage de sable ne diffère pas de point de vue statistique et ces valeurs varient de  $63,01 \pm 2,33$  % ; valeur remarquée chez le traitement Q1, à  $70,45 \pm 3,0$  % ; valeur enregistrée chez le sol témoin (fig 33 et 34).

Les classes texturales des échantillons analysés sont déterminées en fonction du positionnement des valeurs en argiles, sables et limons totaux, le point d'intersection des trois droites correspondantes aux trois classes détermine alors la classe texturale). De plus et en fonction de la teneur en argile, le sol est dit lourd ( $A > 30$  %), moyen ( $15 < A < 25$ ) ou léger ( $A < 10$  %) (Spring et al., 2003)



**Figure 33.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur les pourcentages d'argile, de limon et de sable du sol (région de Kaïs)



**Figure 34.** Effet d'apport des turricules sur les pourcentages d'argile, de limon et de sable du sol (région de Kaïs)

La projection des valeurs moyennes des pourcentages des trois composantes de sol indique que les sols étudiés se classent dans la catégorie des textures limono-Sableuse (fig 35)

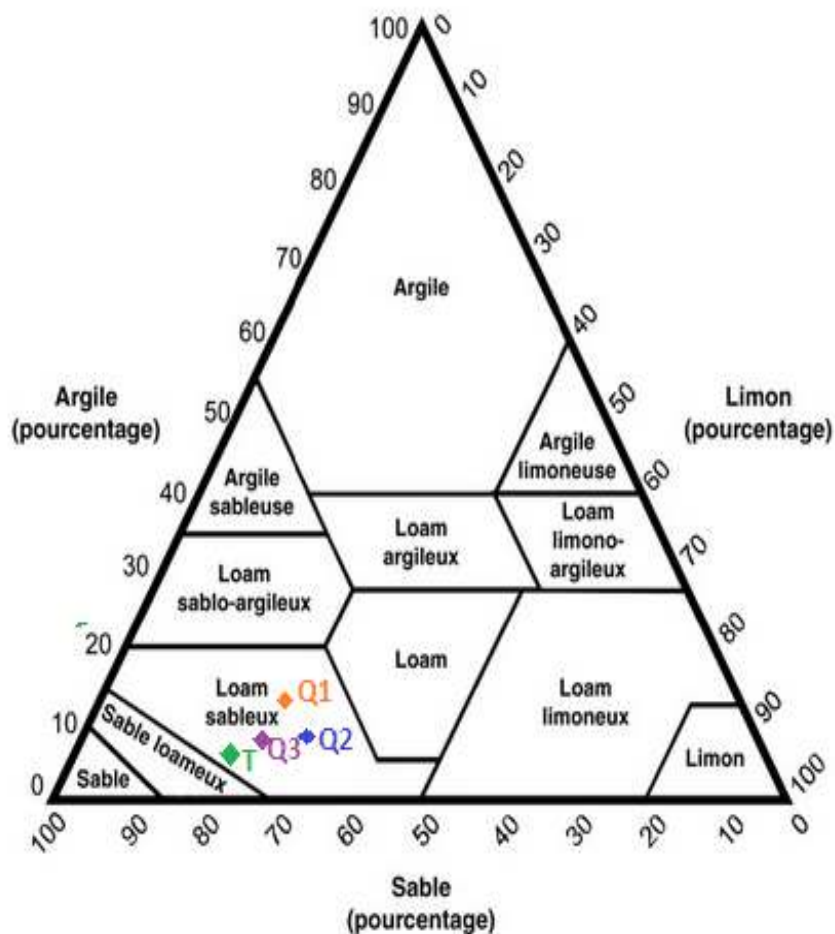


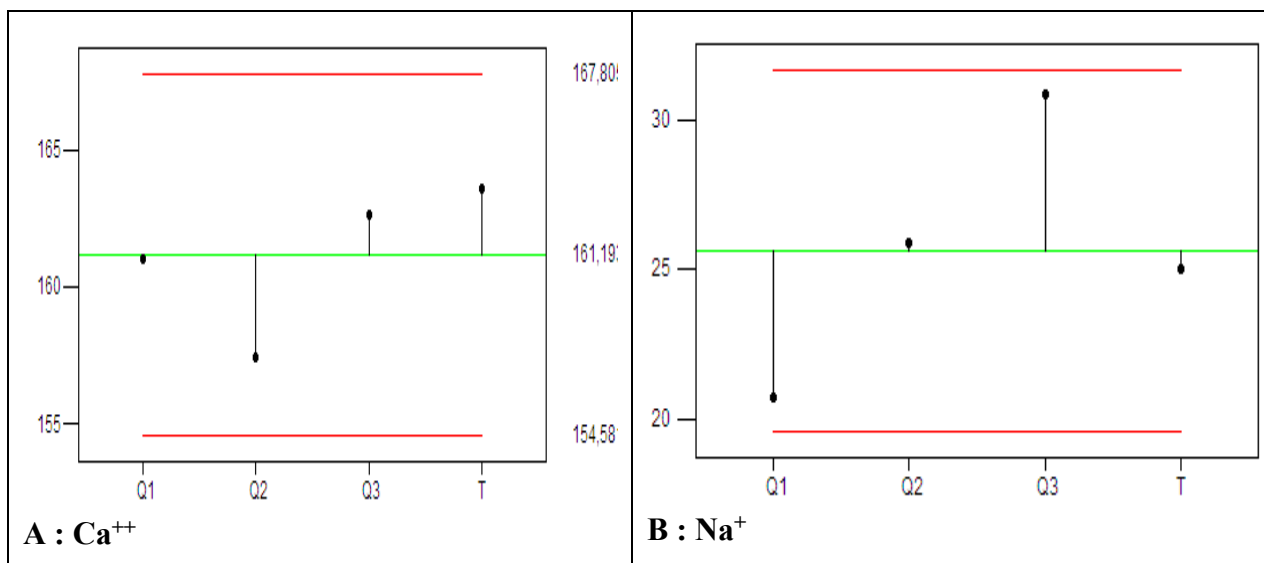
Figure 35. Fixation des sols étudiés sur le triangle textural

### 2.8.Effet d'apport des turricules sur les cations échangeables $Ca^{++}$ , $K^+$ et $Na^+$

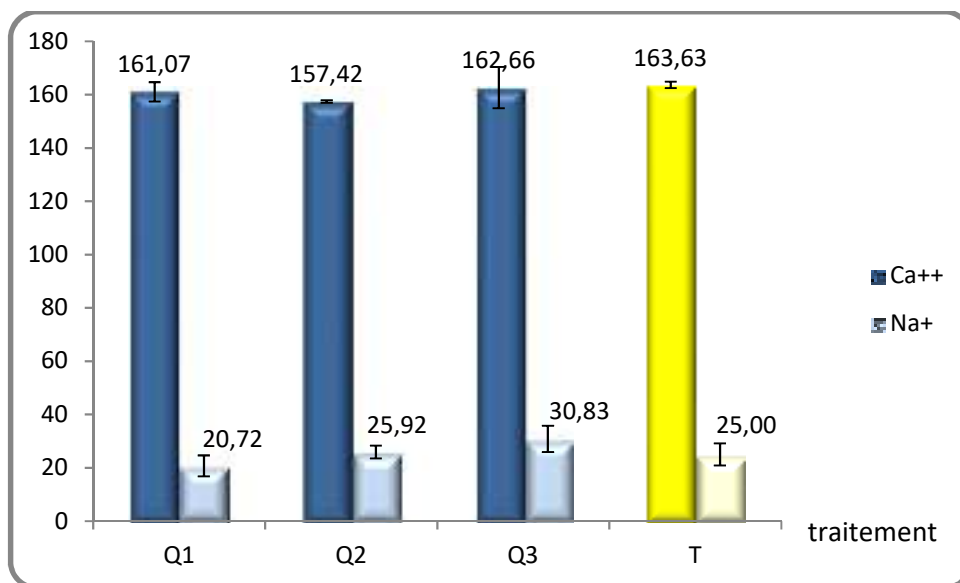
Certains cations (atome ou molécule ayant une ou plusieurs charges positives) sont situés à la surface de particules du sol ayant des charges négatives. Ces cations peuvent échanger leur place avec d'autres cations. C'est pourquoi on les nomme les "cations échangeables"(INRA, 2001). La détermination des quantités de cations fixés par un sol sous forme échangeable et de la quantité de cations qu'un sol est susceptible de fixer (capacité d'Echange) conduit à des résultats numériques que l'on exprime généralement en meq/100 g de sol (Pelloux et al., 1971). Dans notre étude nous n'avons pas pu faire que trois qui sont :  $Ca^{++}$ ,  $K^+$  et  $Na^+$ .

L'analyse de la variance indique un effet apport des turricules non significatif sur la teneur de sol en calcium et en sodium ce qui élimine la présence des différences significatives entre les moyennes des différents traitements (fig 36). Les valeurs de calcium varient de  $157,42 \pm 0,45$  à  $163,63 \pm 1,2$  mg/l (c'est-à-dire de 0,157 à 0,164 g/kg), alors que celles de sodium oscillent entre  $20,72 \pm 3,94$  et  $30,83 \pm 4,92$  mg/l (l'équivalent de 0,021 à 0,031 g/kg).

Pour les deux éléments les différences entre les traitements sont négligeables donc l'apport des turricules n'a pas modifié les teneurs des sols étudiés en ces éléments (fig 37)



**Figure 36.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur les pourcentages calcium et sodium du sol (région de Kaïš)

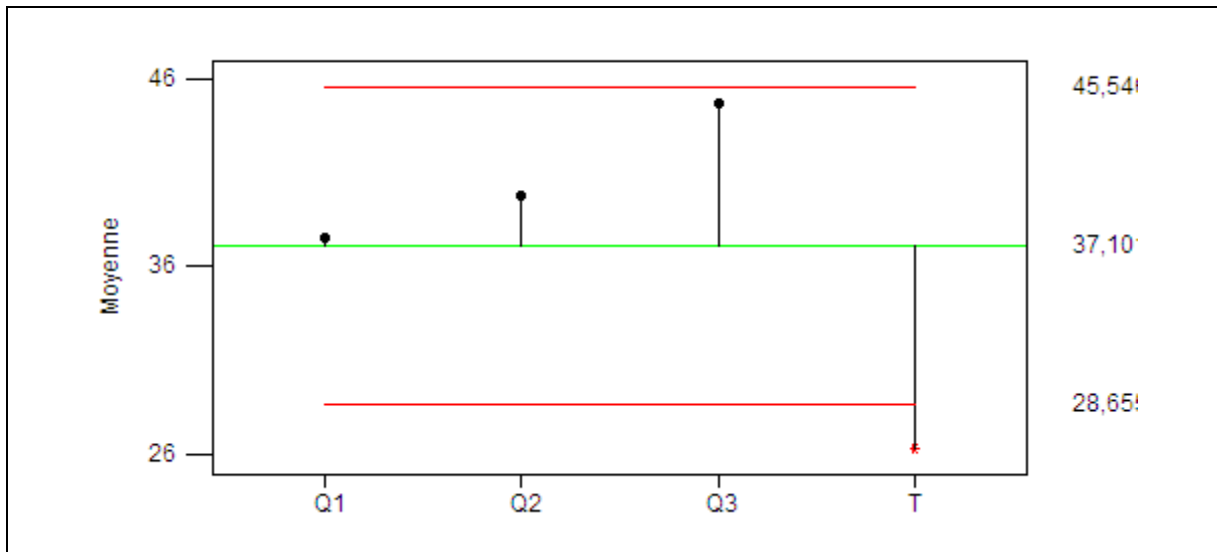


**Figure 37.** Effet d'apport des turricules sur les teneurs en calcium et en sodium du sol (région de Kaïš)

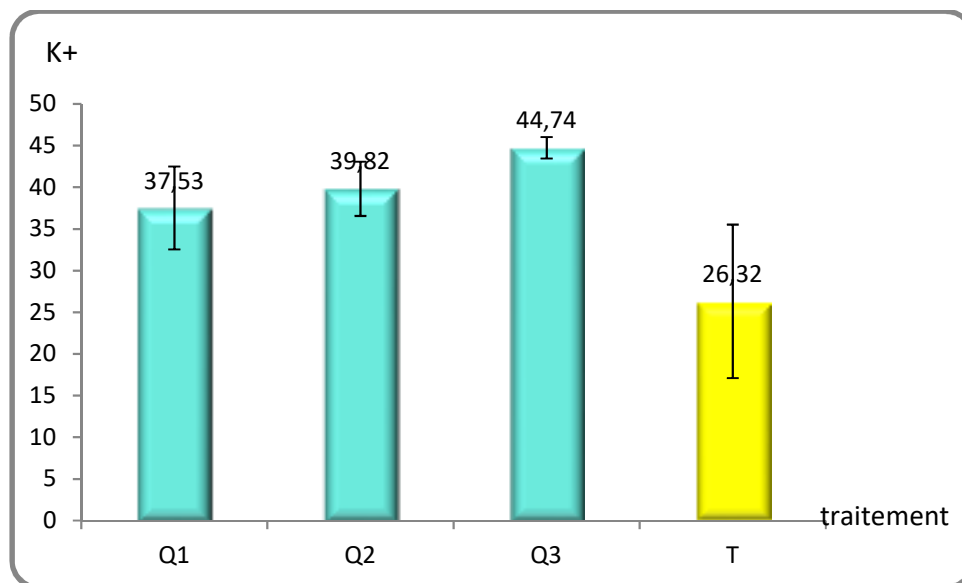
Le potassium échangeable quantifie le stock de potassium globalement disponible pour les végétaux à court et moyen terme (Edie, 2008).

L'analyse de variance a révélé l'existence des différences significatives entre les sols traités par des doses croissantes de turricule d'une part et le sol témoin d'autre part (fig 38). Les valeurs de potassium oscillent entre  $26,32 \pm 9,2$  ; valeur enregistrée chez le sol témoin et

44,74±1,28 valeur remarquée chez le traitement Q3, soit un accroissement de 68%. Ce qui révèle le rôle important des turricules dans l'augmentation de la fertilité des sols.



**Figure 38.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur le potassium  $K^+$  du sol (région de Kaïs)



**Figure 39.** Effet d'apport des turricules sur les teneurs en potassium du sol (région de Kaïs)

De façon générale, et d'après les deux tableaux (13) et (14), celui des normes d'interprétation ainsi que celui des résultats d'analyse de sol des deux éléments  $Ca^{++}$  et  $K^+$  (g/kg), nous constatons que les teneur des sols étudiés en calcium sont très élevées ( $> 0,15$  g/kg) par contre celles en potassium sont moyennes (les valeurs sont situées dans la deuxième classe entre 0,02 et 0,06 g/kg).

En ce qui concerne le sodium, nous ne disposons pas des valeurs de la capacité d'échanges cationiques pour interpréter les résultats, puisque selon les norme de LANO (Laboratoire

Agronomique de Normandie) une teneur en sodium inférieure à 0,05% ou à 5% de la CEC est sans effet sur le sol ou les cultures, une teneur comprise entre 5 et 10% de la CEC accentue les risques de battance et Au-delà de 10% de la CEC, l'effet sur la structure du sol devient significatif, particulièrement en sols de limons.

**Tableau 13.** Référentiel d'interprétation des analyses de sol «extraits à l'eau» bases échangeables, d'après CTIFL, in (Idie, 2008).

Appréciation	Teneurs en éléments (g/kg de terre fine)				
	N	P	K	Mg	Ca
Faible	< 0,01	<0,002	<0,02	<0,01	<0,03
Moyen	0,01 à 0,015	0,002 à 0,005	0,02 à 0,06	0,01 à 0,03	0,03 à 0,07
Satisfaisant	0,015 à 0,025	0,005 à 0,01	0,06 à 0,08	0,03 à 0,04	0,07 à 0,12
Elevé	0,025 à 0,035	0,01 à 0,015	0,08 à 0,1	0,04 à 0,05	0,12 à 0,15
Très élevé	> 0,035	> 0,015	> 0,1	> 0,05	> 0,15

CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes France

**Tableau 14.** Résultats d'analyse des cations  $Ca^{++}$ ,  $Na^+$  et  $K^+$  en g/kg

	Ca g/kg	Na g/kg	K g/kg
Q1	0,161	0,021	0,038
Q2	0,157	0,026	0,041
Q3	0,163	0,031	0,044
T	0,164	0,025	0,033

### 3. Effet d'apport des turricules sur la culture de la laitue (variété Batavia)

Pour apprécier l'effet de l'apport des turricules issues de la prairie préurbaine de la ville de Sétif sur la productivité et la fertilité du sol nous avons choisi comme culture la laitue variété (Batavia) vu son cycle de croissance court puisque selon la période du semis elle prend de 70 jours au printemps à 53 jours en été pour atteindre la maturité et pour la laitue plantée, on compte de 40 à 55 jours de croissance aux champs (I.T.C.M.I., 2010) et nous avons mesuré quelques caractéristiques morpho-physiologiques sur les plantes de cette variétés dans les différents traitements (T, Q1, Q2 et Q3).

**Tableau 15.** Carré moyen de l'analyse de variance de l'effet d'apport des turricules sur les paramètres morfo-physiologiques mesurés sur la plante

Source de variation	ddl	BIOM	PF	Nbr F
effet des turricules	3	1394,56***	1331,6***	26,08***
Erreur	8	6,37	10,3	0,33

Source de variation	ddl	Nbr R	SF	Cha+Chb
effet des turricules	3	52,97***	1529,6***	2,48**
Erreur	8	0,66	37,0	0,24

ns,\* et \*\* : effet non significatif, significatif et hautement significatif respectivement  
 BIOM : biomasse, PF : poids de feuille, Nbr F : nombre de feuilles, Nbr R : nombre de racines, SF : surface foliaire et cha+chb : chlorophylles a+b respectivement

L'analyse de variance indique la présence d'un effet apport de turricules très hautement significatif sur la majorité des paramètres étudiés et hautement significatif sur la somme des chlorophylles (a+b).

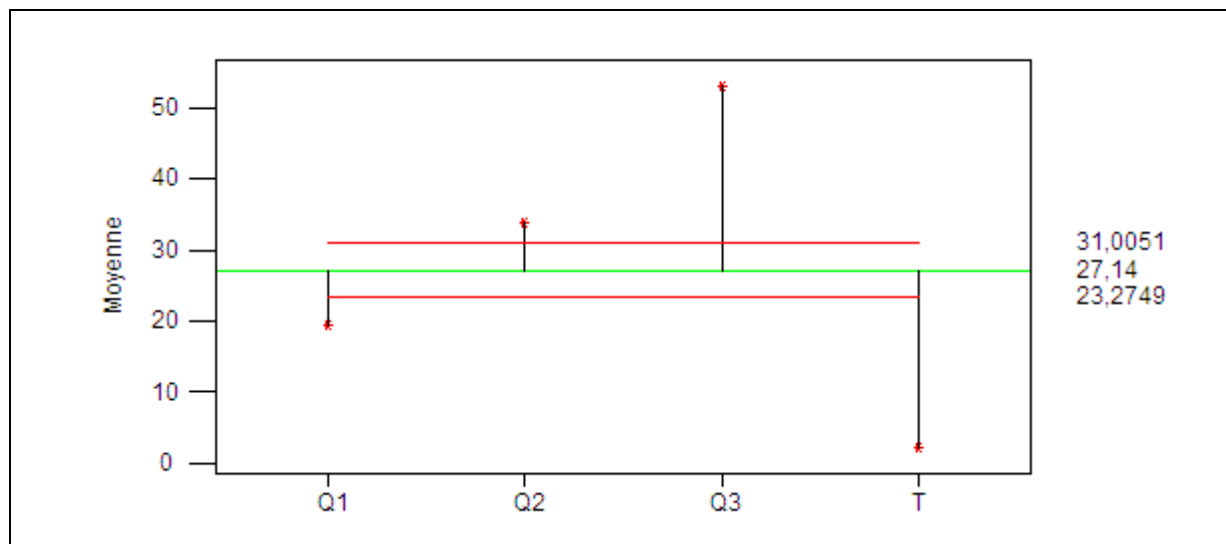
Vu cet effet très hautement significatif, nous abouterons au tableau de groupes homogènes suivant :

**Tableau 16.** Groupes homogènes des différents traitements pour les paramètres mesurés et les valeurs de p<sub>pd5%</sub>

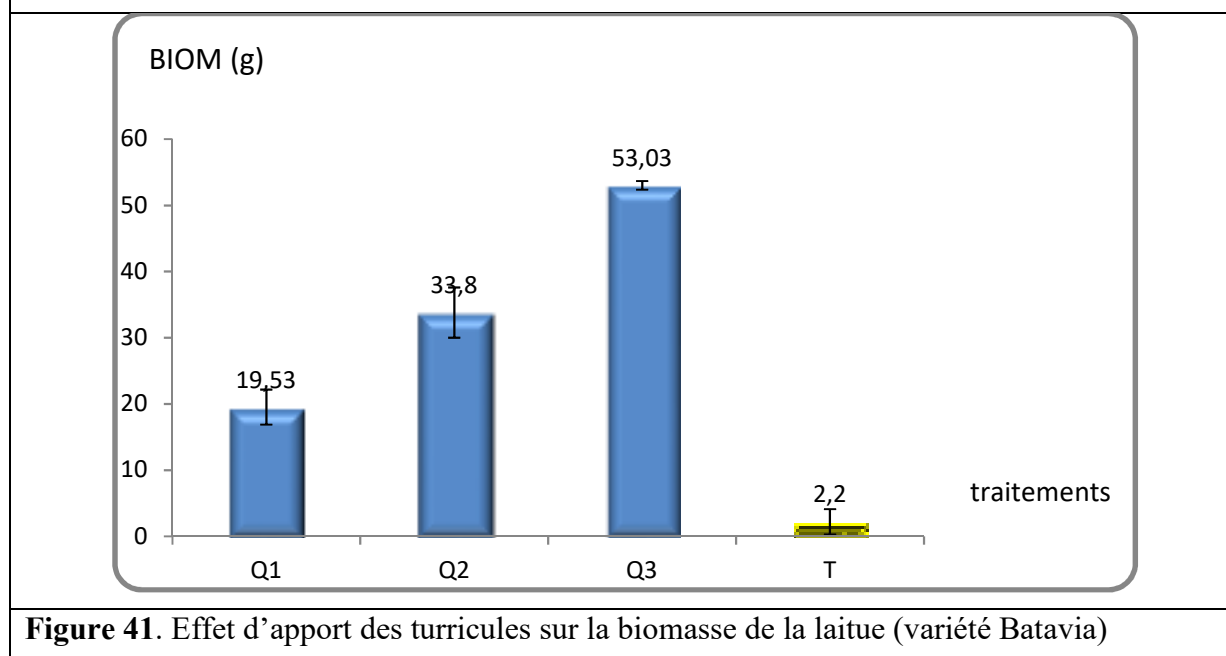
Traitements	BIOM	PF	Nbre F	Nbr R	SF	cha+b
Q1	19,53 C	17,537 C	6,33 C	5,67 C	37,38 B	1,24 B
Q2	33,8 B	30,41 B	7,67 B	9 B	46,48 B	2,14 B
Q3	53,03 A	51,71 A	11,33 A	13 A	62 A	2,86 A
T	2,2 D	1,897 D	4,33 D	3,33 D	8,29 C	0,83 C
ppds <sub>5%</sub>	4,753	6,056	1,087	1,537	11,449	0,935

### 3.1.Effet d'apport de turricules sur la biomasse totale de la laitue

L'analyse de la variance a révélée un effet apport des turricules très hautement significatif sur la biomasse de la laitue, ce qu'est nettement claire sur l'aspect expression végétative des plantes dans les différents traitements. Nous constatons d'après la figure (40), la présence des différences significatives entre les plantes traitées et les plantes témoins d'une part et entre les plantes traités par doses croissantes de turricules d'autre part où chaque traitement se classe dans un groupe homogène différent.



**Figure 40.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l’apport des turricules sur la biomasse de la laitue (variété Batavia)

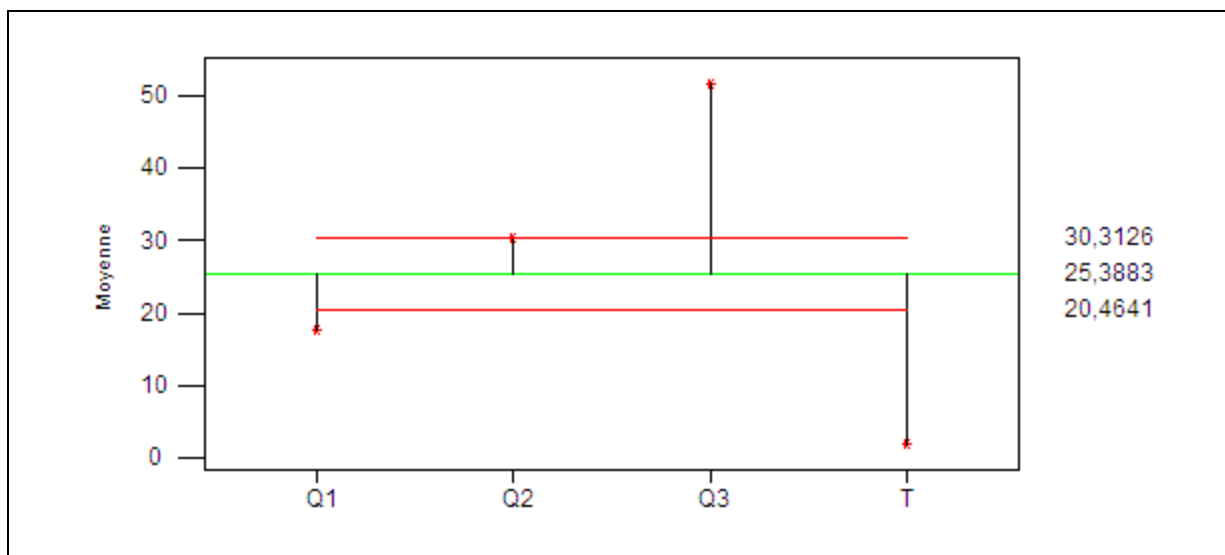


**Figure 41.** Effet d’apport des turricules sur la biomasse de la laitue (variété Batavia)

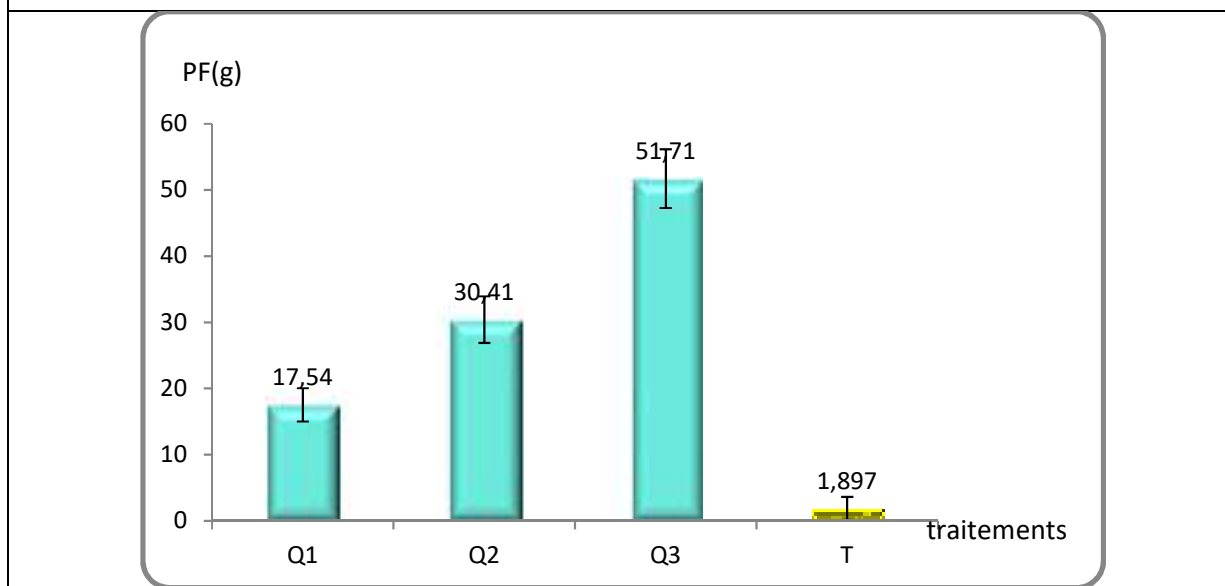
Les valeurs de la biomasse de la laitue passent de  $2,2 \pm 1,92$  g, valeur enregistrée chez le témoin à  $53,03 \pm 0,64$  g, valeur observée chez le traitement Q3 (plus grand apport de turriculés) et cela représente une augmentation énorme ; plus de 24 fois plus que la valeur de la biomasse moyennes du témoin. On note également que les deux autres traitements (Q1 : 100g/pot et Q2 : 250g/pot de turriculés) provoquent des augmentations intéressantes par rapport au témoin arrivent à presque à 9 et 15,5 fois respectivement. Alors que selon **Thuriès et al. (2000)**, la fertilisation organique (amendement et engrais) n'a pas d'effet significatif sur la productivité de la laitue, mais semble exercer un effet positif sur le melon.

### 3.2.Effet d'apport de turriculés sur la biomasse aérienne de la laitue

L'étude des moyennes de biomasse aérienne de la laitue (Batavia) la présence de 4 groupes différents, le groupe A constitué par le traitement Q3 représente ainsi le plus grand poids des feuilles avec une moyenne de  $51,71 \pm 4,44$  g, les groupes B et C formés respectivement par les traitements Q2 et Q1 et qui représentent des biomasses relativement moyennes ( $30,41 \pm 3,52$  et  $17,54 \pm 2,51$ g respectivement) et le dernier groupe D est constitué exclusivement par le témoin qui enregistre la plus basse valeur ( $1,90 \pm 1,73$  g) (fig 42 et43).



**Figure 42.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur poids des feuilles de la laitue (variété Batavia)

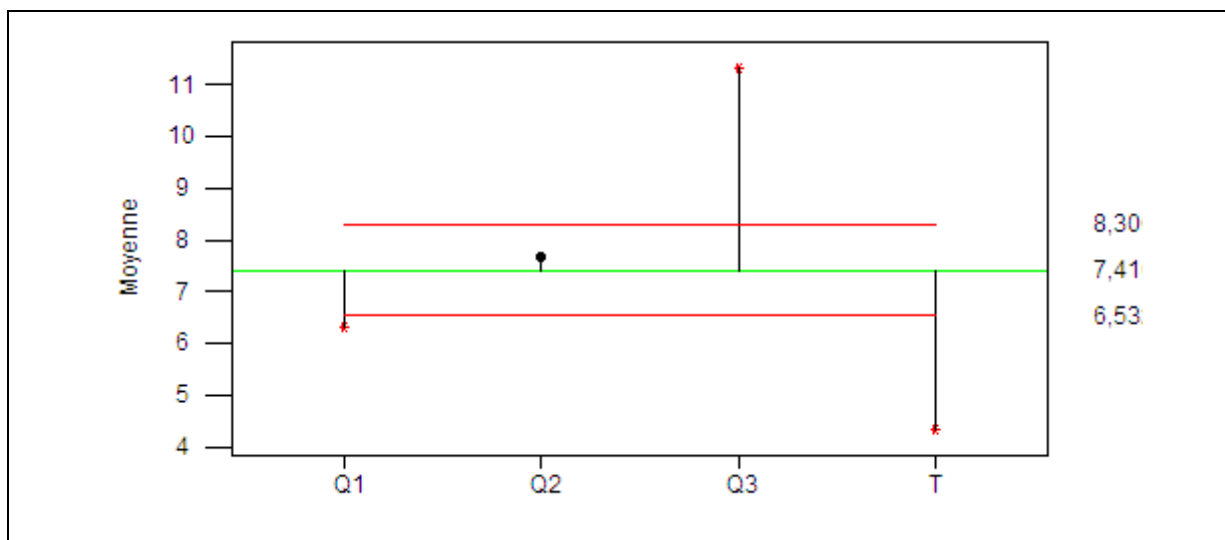


**Figure 43.** Effet d'apport des turriculés sur le poids des feuilles de la laitue (variété Batavia)

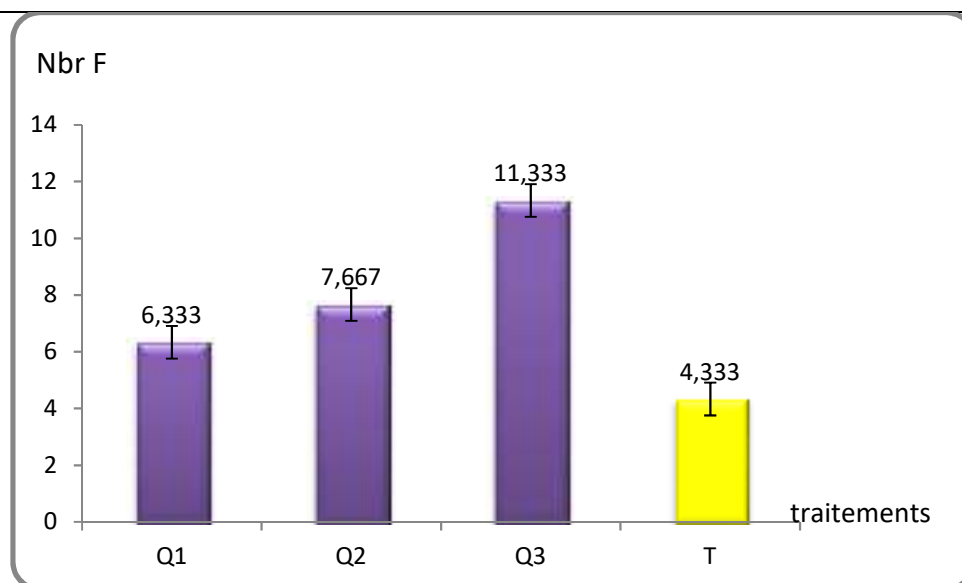
D'une façon générale, la biomasse aérienne augmente au fur à mesure l'accroissement des doses de turriculés apportées au sol.

### 3.3. Effet d'apport de turriculés sur le nombre des feuilles de la laitue

Comme les variables précédentes nombre de feuilles enregistre les mêmes variations, vu que ce paramètre est l'une des composantes de la biomasse aérienne et totale. L'étude des moyennes montre un effet très hautement significatif, nettement donc la présence des différences nettement claires entre les niveaux du facteur apport des turriculés. Les valeurs du nombre de feuilles de la laitue oscillent entre  $4,33 \pm 0,58$ , valeur enregistrée chez le témoin, et  $11,33 \pm 0,58$ , valeur marquée par le traitement Q3. ( Fig44.).



**Figure 44.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turriculés sur le nombre des feuilles de la laitue (variété Batavia)



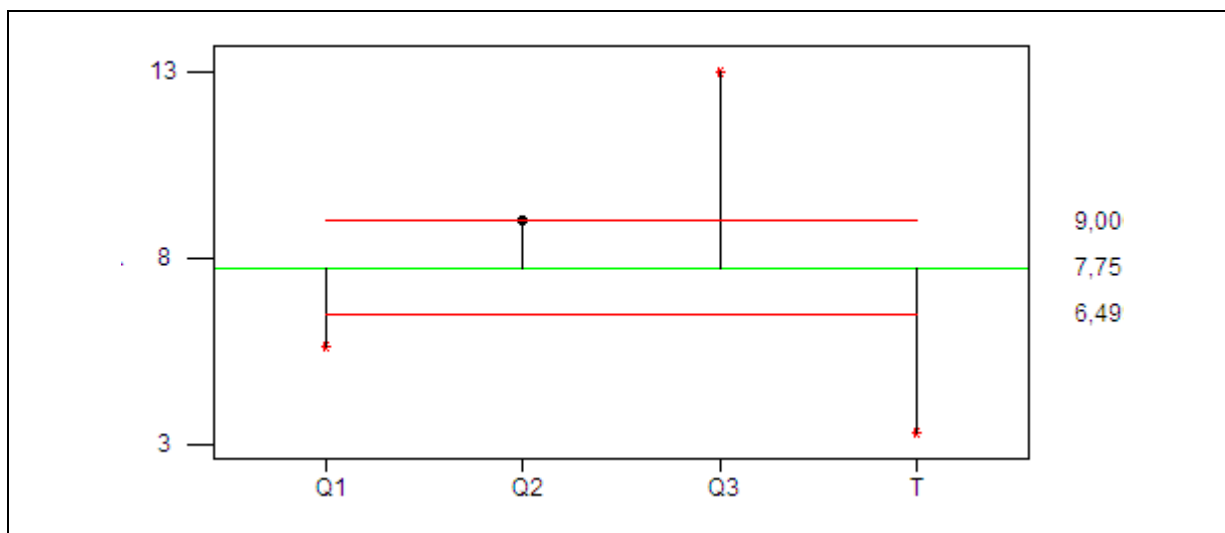
**Figure 45.** Effet d'apport des turriculés sur le nombre des feuilles de la laitue (variété Batavia)

L'apport des turriculés a engendré une amélioration des réserves du sol en substances nutritives et par conséquent une augmentation remarquable dans le rendement de la laitue

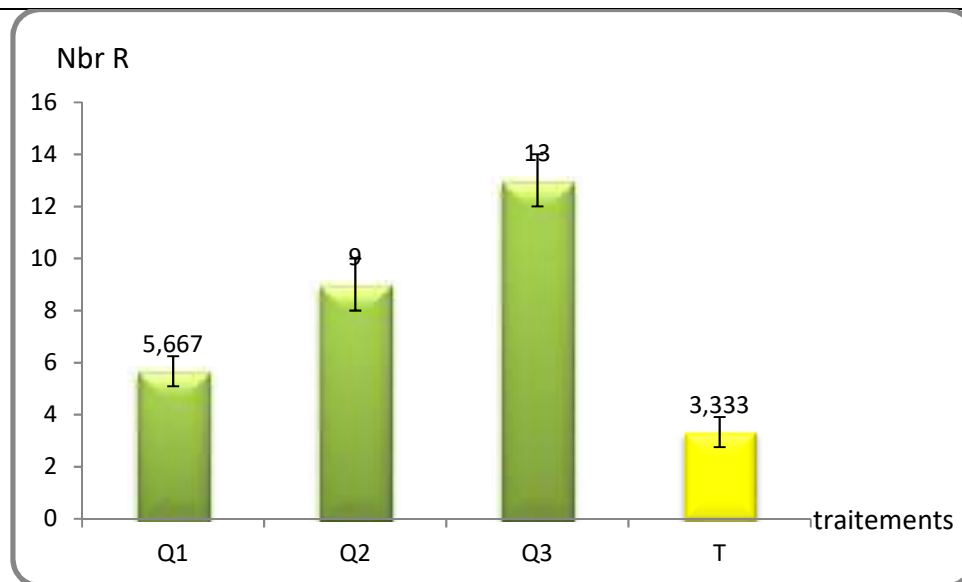
et spécialement le nombre de feuilles. Cette augmentation par rapport au témoin est de l'ordre de 46,19%, 77,14% et 161,66% pour les traitements Q1, Q2 et Q3 respectivement

### 3.4.Effet d'apport de turriculés sur le nombre des racines de la laitue

Vu le rôle principal des racines de puiser dans le sol l'eau et les éléments minéraux dissous dont l'appareil végétatif a besoin pour alimenter la photosynthèse, nous avons choisi le paramètre nombre de racine comme indicateur de l'activité racinaire.



**Figure 46.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turriculés sur le nombre des racines de la laitue (variété Batavia)



**Figure 47.** Effet d'apport des turriculés sur le nombre des racines de la laitue (variété Batavia)

L'apport des turriculés a stimulé l'augmentation du nombre de racines comparativement au témoin, où il a passé de 3,33, valeur moyenne observée chez ce dernier à 13, valeur

enregistrée chez le traitement Q3 (500g de turriculés/pot) (Fig 46), signalant ainsi une augmentation de 290,39%.

L'étude des moyennes, indique la présence de 4 groupes (A, B, C et D), un groupe pour chaque traitements dans l'ordre suivant Q3, Q2, Q1 et T respectivement (Fig 47) .

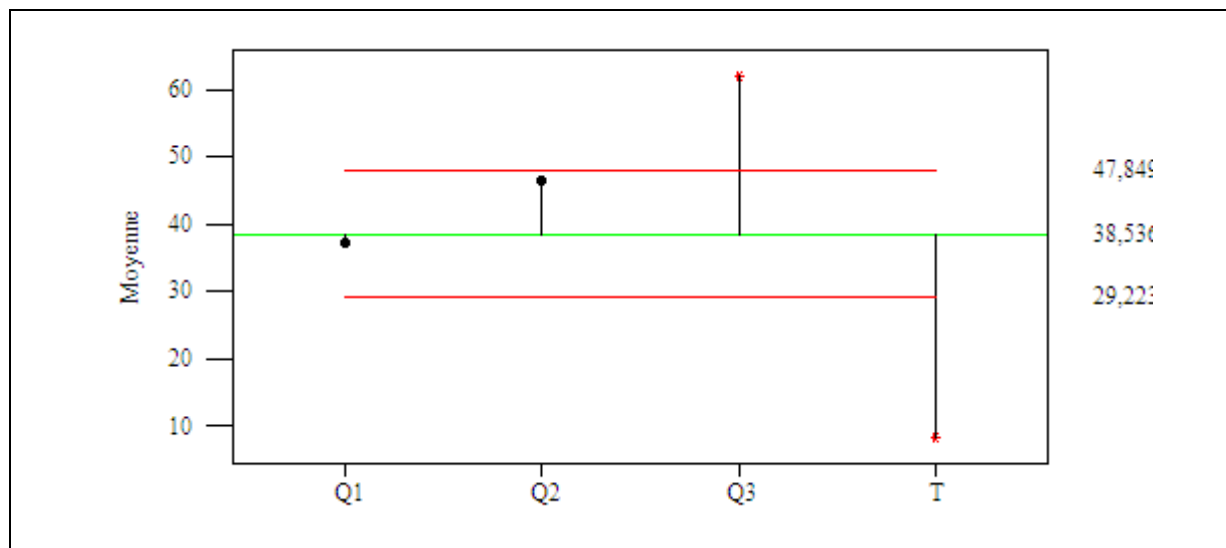
### **3.5.Effet d'apport de turriculés sur la surface foliaire de la laitue**

L'analyse de la variance indique la présence d'un effet apport de turriculés très hautement significatif sur la surface foliaire des plantes de la laitue (variété batavia), ce qui se traduit par des larges différences entre les valeurs de différents traitements.

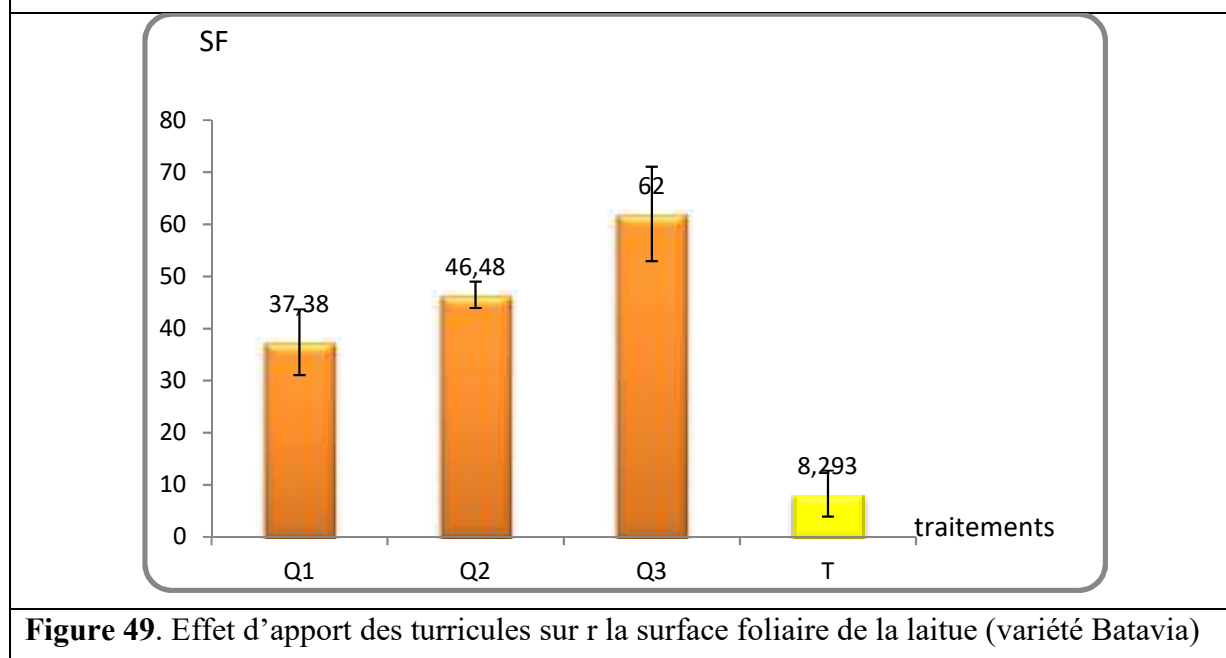
La comparaison des moyennes des différents traitements révèle l'existence de 3 groupes homogènes ; le premier groupe formé par le traitement Q3 qui se caractérise par une surface foliaire relativement supérieure aux autres traitements avec une moyenne de  $62 \pm 9,07 \text{ cm}^2$ , suivi par les traitements Q1 et Q2 avec des moyennes relativement plus faibles à celle du Q3 ( $37,48 \pm 2,52$  et  $46,48 \pm 6,33 \text{ cm}^2$  respectivement) formant ainsi le deuxième groupe, le trois groupe forme par le témoin et représente la plus faible surface foliaire avec une moyenne de  $8,29 \pm 4,41 \text{ cm}^2$  (Fig 48 et 49) .

L'apport des turriculé a engendré des augmentations par rapport au témoin de l'ordre de 7,5 fois pour le traitement Q3, 5,5 fois pour le traitement Q2 et Finalement 4,5 fois pour le Q1.

Malheureusement, nous avons récolté les plantes avant le stade de maturation à cause de contrainte de temps, pour cela les valeurs données restent globalement inférieures à celles enregistrées au stade de maturation, mais ça n'empêche pas la mise en valeur l'effet d'apport des turriculés sur ce paramètre important.



**Figure 48.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur la surface foliaire de la laitue (variété Batavia)

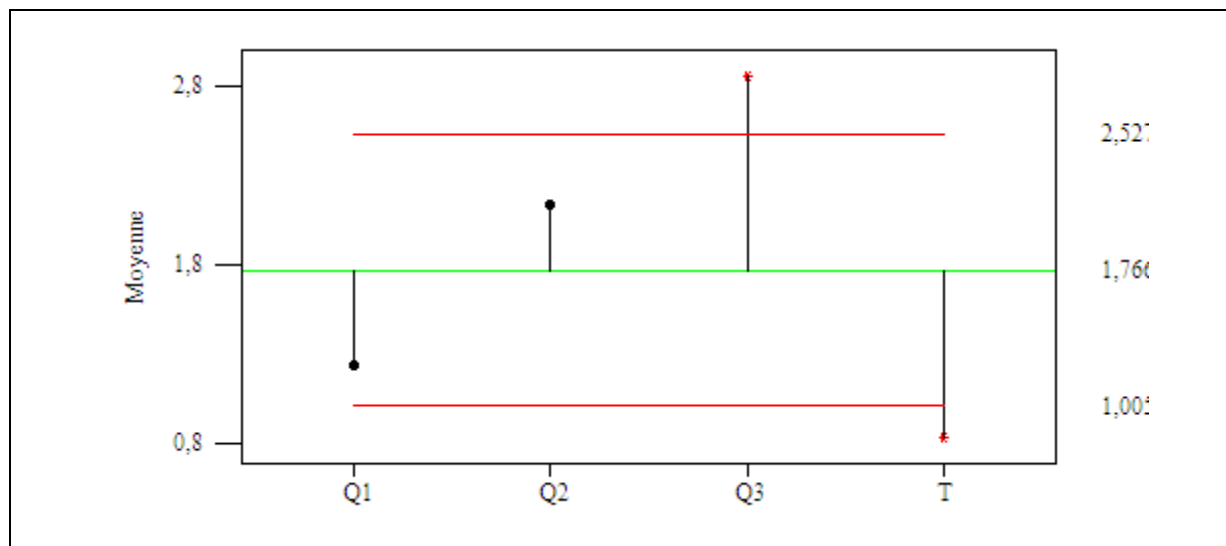


**Figure 49.** Effet d'apport des turricules sur la surface foliaire de la laitue (variété Batavia)

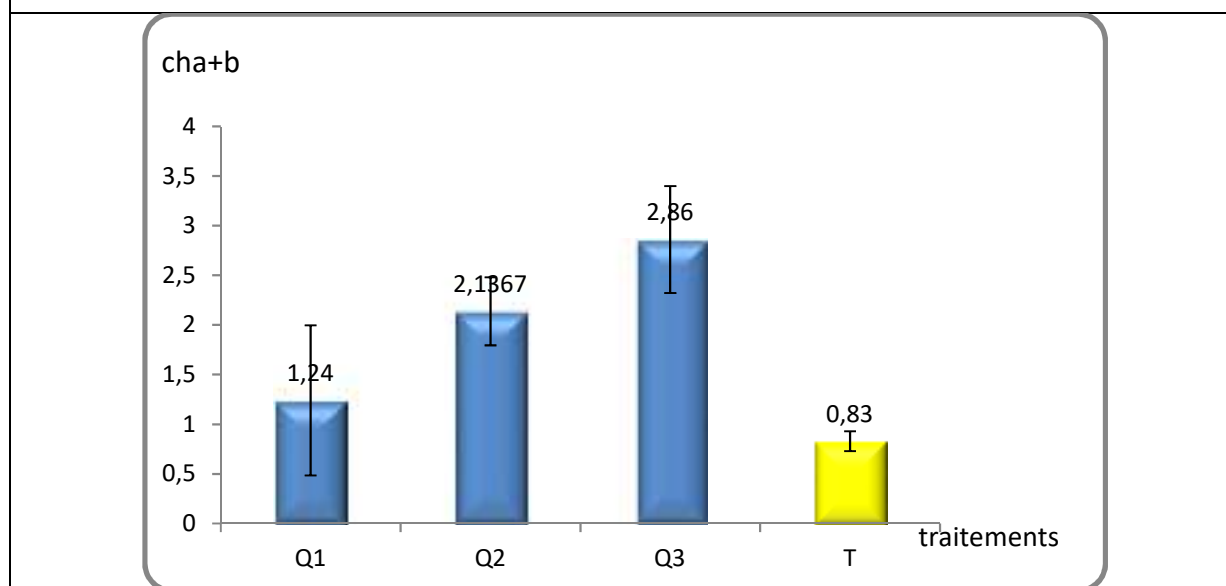
### 3.6.Effet d'apport de turricules sur la chlorophylle a + b de la laitue

La chlorophylle est le pigment végétal qui compose les plantes. Elle permet la photosynthèse, c'est-à-dire la production d'oxygène par le biais de l'eau et du soleil.

Les valeurs des chlorophylles oscillent entre  $0,83 \pm 0,1$  mg/l, valeur remarquée chez le témoin et  $2,86 \pm 0,54$  mg/l, valeur enregistrée chez le traitement Q3 soit une augmentation de 203%, se qui indique que l'apport de turricules a provoqué l'augmentation des teneur en chlorophylle et par conséquence il a favorisé la photosynthèse se qu'est nettement traduit par l'expression végétative.



**Figure 50.** Etude des moyennes des traitements étudiés liés à l'apport des turricules sur la chlorophylle a + b de la laitue (variété Batavia)



**Figure 51.** Effet d'apport des turricules sur la chlorophylle a + b de la laitue (variété Batavia)

On ajoute que sur le plan groupes homogènes le traitement Q3 forme le premier groupe les traitements Q1 et Q2 forment le deuxième groupe ce qui indique que les deux apports de turricules exercent le même effet et enfin le témoin qui forme le dernier groupe.

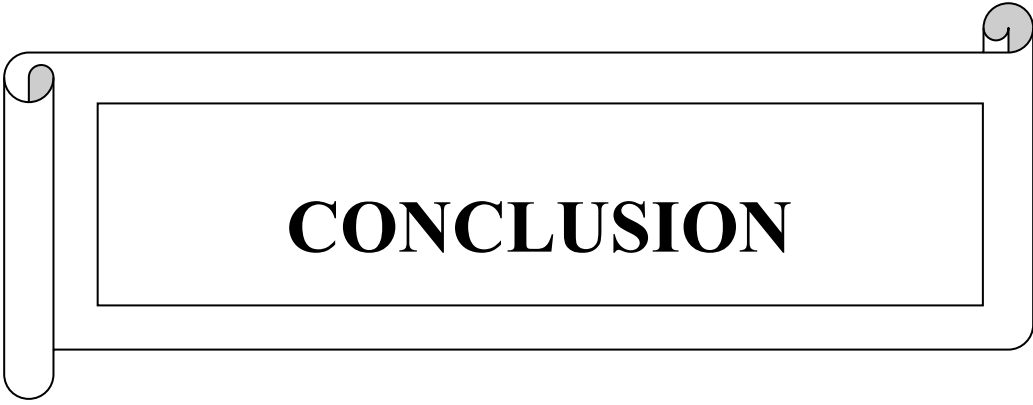
#### 4. Liaisons inter-caractères

L'étude des corrélations entre les différentes paires de caractères est menée pour identifier les caractères qui évoluent dans le même sens et ceux qui s'opposent. Parmi les liaisons les plus intéressantes, nous pouvons citer les corrélations positives du pH avec le calcium

( $r=0,763$ ), de la conductivité électrique avec le rapport C/N ( $r=0,779$ ), de la matière organique avec l'azote kjeldahl ( $r=0,916$ ), le rapport C/N ( $r=0,844$ ) le potassium ( $r=0,735$ ) et l'ensemble des paramètres végétatifs (Biomasse totale :  $r=0,939$ , Biomasse aérienne :  $r=0,966$ , Nombre de feuilles :  $r=0,929$ , nombre de racine :  $r=0,936$ , la surface foliaire :  $r=0,871$  et la somme des chlorophylles a+b :  $r=0,888$ ). Nous signalons également les corrélations positives de l'azote kjeldahl avec la calcaire total ( $r=0,725$ ), le potassium ( $r=0,758$ ) et l'ensemble des paramètres végétatifs (Biomasse totale :  $r=0,976$ , Biomasse aérienne :  $r=0,966$ , Nombre de feuilles :  $r=0,937$ , nombre de racine :  $r=0,971$ , la surface foliaire :  $r=0,909$  et la somme des chlorophylles a+b :  $r=0,885$ ) du rapport C/N avec la biomasse aérienne ( $r=0,720$ ), du potassium avec les variables végétatives (Biomasse totale :  $r=0,811$ , Biomasse aérienne :  $r=0,801$ , Nombre de feuilles :  $r=0,796$ , nombre de racine :  $r=0,775$ , la surface foliaire :  $r=0,921$  et la somme des chlorophylles a+b :  $r=0,742$ ), les corrélations positives entre les différents paramètres végétatifs eux mêmes ( $r_{BIOM \times Biom \text{ aé}}=0,994$ ,  $r_{BIOM \times nbr F}=0,959$ ;  $r_{BIOM \times nbr R}=0,967$ ;  $r_{BIOM \times SF}=0,937$ ;  $r_{BIOM \times cha+b}=0,879$ ;  $r_{Biom \text{ aé} \times nbr F}=0,956$ ,  $r_{Biom \text{ aé} \times nbr R}=0,962$ ,  $r_{Biom \text{ aé} \times SF}=0,937$ ,  $r_{Biom \text{ aé} \times cha+b}=0,896$ ;  $r_{nbr F \times nbr R}=0,982$ ;  $r_{nbr F \times SF}=0,888$ ;  $r_{nbr R \times SF}=0,887$ ; ;  $r_{nbr R \times cha+b}=0,886$ ; ;  $r_{SF \times cha+b}=0,790$ ). Nous observons également l'absence des relations négatives significatives (Tab 17).

**Tableau 17.** coefficients de corrélation entre les les différents caractères mesurés

	pH	CE	MOT%	NTK%	C/N	CaCO <sub>3</sub>	Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	BIOM	Biom				
										aé	nbr F	nbr R	SF	cha+b	
<b>pH</b>	1,000														
<b>CE</b>	-0,311	1,000													
<b>MOT%</b>	-0,442	0,504	1,000												
<b>NTK(%)</b>	-0,552	0,255	<b>0,916</b>	1,000											
<b>C/N</b>	-0,317	<b>0,779</b>	<b>0,844</b>	0,576	1,000										
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	-0,312	-0,085	0,615	<b>0,725</b>	0,293	1,000									
<b>Ca<sup>++</sup></b>	<b>0,763</b>	-0,05	-0,164	-0,199	-0,14	-0,177	1,000								
<b>K<sup>+</sup></b>	-0,557	0,44	<b>0,735</b>	<b>0,758</b>	0,589	<b>0,763</b>	-0,157	1,000							
<b>Na<sup>+</sup></b>	-0,125	0,367	0,581	0,562	0,467	0,09	0,275	0,228	1,000						
<b>BIOM</b>	-0,511	0,332	<b>0,939</b>	<b>0,976</b>	0,659	<b>0,775</b>	-0,174	<b>0,811</b>	0,523	1,000					
<b>Biom aé</b>	-0,478	0,372	<b>0,967</b>	<b>0,966</b>	<b>0,72</b>	<b>0,751</b>	-0,168	<b>0,801</b>	0,534	<b>0,994</b>	1,000				
<b>Nbr F</b>	-0,462	0,343	<b>0,929</b>	<b>0,937</b>	0,681	<b>0,731</b>	-0,079	<b>0,796</b>	0,512	<b>0,959</b>	<b>0,956</b>	1,000			
<b>Nbr R</b>	-0,536	0,308	<b>0,936</b>	<b>0,971</b>	0,652	<b>0,731</b>	-0,183	<b>0,775</b>	0,541	<b>0,967</b>	<b>0,962</b>	<b>0,982</b>	1,000		
<b>SF</b>	-0,503	0,212	<b>0,871</b>	<b>0,909</b>	0,629	<b>0,786</b>	-0,188	<b>0,821</b>	0,446	<b>0,937</b>	<b>0,937</b>	<b>0,888</b>	<b>0,887</b>	1,000	
<b>ca+cb</b>	-0,369	0,321	<b>0,888</b>	<b>0,885</b>	0,634	<b>0,734</b>	-0,147	<b>0,742</b>	0,535	<b>0,879</b>	<b>0,896</b>	<b>0,83</b>	<b>0,886</b>	<b>0,79</b>	1,000



## Conclusion

Notre travail consiste à étudier l'effet d'apport des turricules issues de la prairie préurbaine de la ville de Sétif sur les caractéristiques physico-chimique du sol de la pépinière de Kaïs et en premier lieu et sur la croissance de la laitue en deuxième lieu. Pour ce faire nous avons effectué des prélèvements sur la végétation et sur des sols qui ont reçu des apports croissants de turricules ainsi que sur un sol témoin.

L'essai a été réalisé dans des pots sous serre au sein de la pépinière de commune de Kais wilaya de Khenchela. La région se caractérise par un climat continental semi aride à hivers pluvieux et rigoureux et étés chauds et secs, et des sols calcaires limono-sableux pauvre en matière organique.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence l'effet bénéfique d'apport des turricules sur les propriétés chimiques de sol ;

Le pH diminue légèrement avec l'augmentation des doses des traitements appliqués (Q1=100g, Q2=250g et Q3=500g). Cette diminution n'est pas significative de point de vue statistique

En ce qui concerne la conductivité électrique, les valeurs de cette mesure passent  $0,27 \pm 0,058$  ms/cm valeur remarquée chez le sol témoin, à  $0,3 \pm 0,02$  ms/cm, valeur remarquée chez le traitement Q3, cette valeur est presque égale à celle du témoin.

Pour la MO, l'effet de l'apport de turricule a fortement augmenté le stock de la matière organique dans le sol qui devient significativement plus riche, cette augmentation atteint presque 300% par rapport au témoin chez le traitement Q3. Les teneurs en azote Kjeldahl total dans les sols étudiés suivent les mêmes variations que celles de la matière organique 1,06 % pour le traitement Q3. Les augmentations, par rapport au témoin observées de l'azote total arrivent à 130%. Le rapport C/N des sols étudiés révèle la présence d'une forte minéralisation

On a noté, également que le calcaire total augmente dans le sol avec l'augmentation des doses de turricules ( $84,44 \pm 7,21$  et  $83,49 \pm 2,15$  % valeur enregistrée dans le traitement Q1 et Q2, et  $87,61 \pm 1,9$ % valeur remarquée chez le traitement Q3) par rapport à la faible quantité dans le sol témoin ( $64,76 \pm 3,81$  %).

Pour les cations échangeables  $Ca^{++}$ ,  $K^+$  et  $Na^+$ , on constate que seul le potassium est sensible aux apports des turricules avec des valeurs de potassium oscillant entre  $26,32 \pm 9,2$  ; valeur

enregistrée chez le sol témoin et  $44,74 \pm 1,28$  valeur remarquée chez le traitement Q3, soit un accroissement de 68%.

L'effet d'apport des turricule n'a pas affecté les propriétés physiques de sol comme la granulométrie et la conductivité électrique.

Contrairement aux propriétés physiques de sol, les caractéristiques morfo-physiologiques de la laitue sont très fortement modifiées par l'apport des turricules ;

Les valeurs de la biomasse de la laitue passent de  $2,2 \pm 1,92$  g, valeur enregistrée chez le témoin à  $53,03 \pm 0,64$  g, valeur observée chez le traitement Q3, et cela représente une augmentation énorme.

Le traitement Q3 représente le plus grand poids des feuilles avec une moyenne de  $51,71 \pm 4,44$  g et les traitements Q2 et Q1 représentent des biomasses relativement moyennes ( $30,41 \pm 3,52$  et  $17,54 \pm 2,51$ g) par rapport au témoin qui enregistre la plus basse valeur ( $1,90 \pm 1,73$  g)

Les valeurs du nombre de feuilles de la laitue oscillent entre  $4,33 \pm 0,58$ , valeur enregistrée chez le témoin, et  $11,33 \pm 0,58$ , valeur marquée par le traitement Q3

Les valeurs des chlorophylles oscillent entre  $0,83 \pm 0,1$  mg/l, valeur remarquée chez le témoin et  $2,86 \pm 0,54$  mg/l, valeur enregistrée chez le traitement Q3 avec une augmentation de 203%.

d'une façon générale, l'apport de 500g de turricules a amélioré d'une manière significativement nette les propriétés chimiques de sol et la production végétale par rapport aux deux autres doses.

De point de vue corrélation, les liaisons les plus intéressantes sont celles existant entre les variables végétatives et la matière organique, l'azote kjeldah total et le potassium.

Nous espérons que cette étude se poursuit tout en tenant compte de d'autres paramètres que ce soit sur le plan fertilité de sol ou pollution (métaux lourds). Et cela pour minimiser au maximum le recours aux engrais chimiques nuisible à l'écosystème.

## A

**Abdessemed K.,( 1981).** Le Cèdre de l'Atlas dans les massifs de l'Aurès et du Belezma - Étude phytosociologique et problèmes de conservation et d'aménagement – Thèse. Doct. Ing. Fac. St. Jérôme, Marseille. 199 p

**Ablain, F., (2002).** Rôle des activités lombriciennes sur la redistribution des éléments traces métalliques issus de boue de station d'épuration dans un sol agricole. 152 p.

**Addad D., (2018).** Rôle de l'activité lombricienne dans la redistribution des éléments traces métalliques dans un sol irrigué par les effluents urbains de la ville de Sétif. thèse doctorat en science .université Ferhat Abbes Sétif.103 p

**Andriuzzi A, Walter S. Mirjam M. Pulleman b,c , Daniel Cluzeau d , Guénola Pérès e,f.,(2017).** Comparison of two widely used sampling methods in assessing earthworm community responses to agricultural intensification.145,145-151.

**Aubert G., (1978).** Méthodes d'analyses des sols. CNDP et CRDP (Ed.), Marseille, 189 p.

**Aude L., 2013.** Prévalence de pathogènes humains dans les sols français, effet des facteurs pédoclimatiques, biologiques et du mode d'utilisation des sols. THÈSE de doctorat en Écologie Microbienne

## B

**Bachelier G.,(1978).** La faune des sols son écologie et son action. Initiation-Documentations techniques N°38. O. R. S. T. O. M. PARIS. 400pp.

**Baize D., (2000)** Guide des analyses en pédologie choix- expression- présentation- interprétation. Ed. INRA France. 247p.

**Barois, I., Villemin, G., Lavelle, P. et Toutain, F. (1993).** "Transformation of the soil structure through *Pontoscolex corethrurus* (*Oligochaeta*) intestinal tract." *Geoderma* 56: 57-66.

**Bazri K., (2014)** Contribution à l'étude de la biodiversité des lombriciens dans le Nord Est algérien.

**Bazri K., (2015).** Contribution à l'étude de la biodiversité des lombriciens dans le Nord Est algérien, séminaire international, 22-25 novembre 2015, Constantine, Algérie. Biologie Végétale et Ecologie.

**Benmeziane, F. (2015).** Effet de la nature du sol sur la teneur en antioxydants de quelques variétés de raisin de la région d'El-Tarf. Thèse Doctorat en science, Université Badji Mokhtar-Annaba.139 p.

**Bhatti, H. K., (1962)** Experimental study of burrowing activities of earthworms. Agri.

**Biaou O. D. B., Saidou A., Bachabi F-X., Padonou G. E. & Balogoun I. (2017)** Effet de l'apport de différents types d'engrais organiques sur la fertilité du sol et la production de la carotte (*Daucus carota L.*) sur sol ferrallitique au sud Bénin. Int. J. Biol. Chem. Sci. 11(5): 2315-2326.

**Binet F. (1993).**- Dynamique des peuplements et fonctions des lombriciens en sols cultivés tempérés. Thèse d'Université, Rennes I. 299 p.

**Blanchart E. (1990)** Rôle fonctionnel des vers de terre dans la formation de la structure des sols de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire). Thèse de doctorat, Université Rennes I.

**Boersma O, Kooistra M (1994)** - Difference in soil structure of silt loam typicfluvents under various agricultural management practices. Agric. Ecosystem Environ. 51(1-2), 21-42.)

**Boström U. et Lofs-Holmin, A., (1986)** Growth of earthworms (*Allobophora caliginosa*) fed on shoots and roots of barley, meadow fescue and lucerne: studies in relation to particle size, protein, crude fiber and toxicity. Pedobiol. 29, 1-12.

**Bouché M.B. (1970)** Vers de terre, de Darwin à nos jours. Un révélateur heuristique. Académie des Sciences et lettres de Montpellier. Séance du 02/06/2003, Conférence n°3826. Montpellier, France.

**Bouché M.B. (1977)** Stratégies lombriciennes. *Bull Ecol.*, Paris, **25** : 122-132

**Bouché M. B. et Aliaga, R. (1986).** "L'échantillonnage des lombriciens: une urgente nécessité." *La Défense des Végétaux* 242: 30-36.

**Boudjerd K., Guettiche,M(2016)** ).(abondance des communautés lombriciennes dans des conditions pédoclimatiques différentes).mémoire de master en ecologie.université Abbes laghrour khenchela).2p.

**BOURGEAT, 1972** « Contribution à l'étude des sols sur socle cristallin à Madagascar : en particulier dans le Moyen-Ouest ».

**Brown G.G., (1995)** How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity? Plant and Soil 170, 209–231

**Brown G.G., Barois, I., Lavelle, P., (2000).** Regulation of soil organic matter dynamics and microbial activity in the drilosphere and the role of interactions with other edaphic functional domains. European Journal of Soil Biology 36, 177–198.

**Brown, G.G., Edwards, C.A. & Brussaard, L. (2004)** How earthworms affect plant growth: burrowing into the mechanisms. In Edwards, C.A. (ed) Earthworm ecology. CRC Press, Boca Raton, USA, pp. 13-49.

**Buck, C., Langmaack, M. et Schrader, S. (1999).** "Nutrient content of earthworm casts influenced by different mulch types." European Journal of Soil Biology 35(1) :23-30.

## C

**Calvet., (2003)** Le sol : Propriétés et fonctions tome 1 Constitution, Structure Phénomènes aux interfaces. France Agricole, Paris, 456p

**Campbell C.A. et Zentner R.P. (1993)** Soil Organic Matter as influenced by crop rotations and fertilizer. Soil Sci. Soc. Am. J. 57 : 1034-1040

**Cécile, I., M.,( 1997)** Les macroinvertébrés du sol dans différents systèmes d'agriculture au Congo : cas particulier de deux systèmes traditionnels (écobuage et brûlis) dans la vallée du Niari. Thèse de Doctorat en Ecologie. 163pp.

**Chacha, F. 2011.** Profil métabolique et fécondité en élevage bovin laitiers (Wilaya de Sétif). Thèse de Magistère. Centre Universitaire d'El-Tarf. 1-10p.

**Chapuis L., Brossard M., Lavelle P. & Schouller E. (1998)** Phosphorus transformations in a ferralsol through ingestion by *Pontoscolex corethurus*, a geophagous earthworm. Eur. J. Soil Biol., 34: 61-67.

**Clément, M., Jean, L(2009)** : le livre(dictionnaire encyclopédique de science de sol).608p.

**Claude,F., Christiane,F., Paul,M., Jean,L:**le livre(écologie approche scientifique et pratique) .5<sup>e</sup> édition-2<sup>e</sup> tirage p172/ 2006)

**CRAAQ. (2003)** Guide de référence en fertilisation. ed. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Sainte-Foy. xx, 294 pp.

**Crespy, A. (2003)** Fonctionnement des terroirs et savoir-faire viticole : les clés de la qualité. Avenir à l'écologie, Oenoplurimedia ed., 191p.

**Curry, J. P., (1998).** Factors affecting earthworm abundance in soils. In: Edwards, C. A. (eds), des sols, Presses polytechniques et universitaires romandes, vol 14, coll. Gérer l'environnement, 565pp

## D

**Dabin B., (1970)** Pédologie et développement, p.165237 (Les Facteurs de la Fertilité des Sols) - Techniques rurales en Afrique, no 10, BDPA - ORSTOM.

**Darwin C. (1881)** The formation of vegetable mould, through the action of worms: with observations on their habits. Murray, London.

**De Jong & al.(1979)** : «Measurement of apparent electrical conductivity of soils by an electromagnetic induction probe to aid salinity surveys,» Soil Sci. Soc. Am. J., 43, 810-812.

**Denis B., Bernard,J** : le livre (guide pour la description des sols) .édition quae rd 10 p112-209/2011) .

**Direction de l'aménagement des terres (DAT), (2001)** Guide de fertilisation des cultures.

Document pour interpréter et utiliser le rapport d'analyse de sol et de l'Aquaculture. Canada, 08-13p.

**Dominguez J., Aira M et Brandon M. G., (2009)** El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Mayo 2009. AEET: 20-31.

**Doran, J.W. et M. Safley. (1997).** Defining and assessing soil health and sustainable Earthworm Ecology. Boca Raton, St. Lucie Press, pp. 389.

**Doucet, R. (2006).** Le climat et les sols agricoles. ed. Berger, Eastman, Québec. xv, 443 pp

**Durand J.H, (1983).** Les sols irrigables, Agence de coopération culturelle et technique. P.U. France,

## E

**Edie H., (2008).** Fertilité chimique du sol : savoir interpréter les analyses pour gérer les apports d'éléments majeurs (phosphore, potasse, magnésie) en maraichage biologique. Dossier fertilité chimique du sol, maraichage bio infos n°56 - septembre - octobre 2008. GRAB - AGROPARC Avignon. 4p.

**Edwards, C.A., 2004.** Earthworm Ecology. CRC Press, London. 411 p.)

**Edwards C.A. & Bohlen P.J. (1996).**- The biology and ecology of earthworms. Chapman and Hall, New York. 426 p.

**Edwards, C. A. et Lofty, J. R., (1977)** The influence of invertebrates on root growth of crops

**El Harti A, Raouane M (2009)** Détermination de la région d'excrétion des substances rhizogènes chez *Lumbricus terrestris* L. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 13(1), 85-92.)

**El-Duweini, A. K. et Ghabbour, S. I., (1965)** Population density and biomass of earthworms in different types of Egyptian soils. J. Appl. Ecol. 2, 271-287.

**Evans, A.,C., et Guild W., J., (1948)** Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. IV - On the life cycles of some British Lumbricidae. V - Field populations. Ann. Appl. Biol., 35, 4, 471-484 et 485-493.

## F

**Fayolle L. & Stawiecki J. (1990)** - Effet de deux molluscicides sur les vers de terre. Phytoma, 416: 28 - 33.

**Francis F, .Lemtiri, A , Mungyeko, M , Aloni, J , Milau F** inventaire préliminaire de la faune lombricienne dans la réserve et domaine de chasse de bonbo-lumene,plateaux batéké,2018 ,36,1,3-10.

## G

**Girard M.C. et Girard C.M., 2000**– Traitement des données de télédétection. Ed. Dunod

**Girard M., Walter C., Rémy J., Berthelin J., Morel J. (2005)** Sols et environnements Collection: Sciences sup .

**Gobat, J.M., Aragno, M. & Matthey, W. (2010)** Le Livre (Le Sol Vivant : Base De Pédologie Et Biologie Des Sols). 3eme Edition Revue Et Augmentée P150-165/2010.

**Grignon (2015)** Cadmium effects on growth and mineral nutrition of two halophytes: *Sesuvium portulacastrum* and *Mesembryanthemum crystallinum*. *J Plant Physiol* 162: 1133-1140

**Guillaume G., 2000** *Pédologie*, EF Meymac, 147 p.

## H

**Hameed R, Cortez J, Bouché M (1993)** Biostimulation of *Lolium perenne* L. growth with nitrogen excreted by *Lumbricus terrestris* L. Flow measurement in the laboratory. *Soil Biol. Biochem.*, 26, 483-493.)

**Hans J. (1941).** Factors of soil formation : A system of quantitative pedology. Reprint of McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1941 edition. 320 p.

**Hartenstein, R. et Amico, L., (1983)** Production and carrying capacity for the earthworm *Lumbricus terrestris* in culture. *Soil Biol. Biochem.* 15, 51-54.

**Hendrix, P. F., Muller, B. R., Bruce, R. R., Langdale, G. W. et Parmelee, R. W., (1992)** Abundance and distribution of earthworms in relation to landscape factors on the Georgia Piedmont, USA. *Soil Biol. Biochem.* 24, 1357-1361.

**Henin S., Monnier G., (1969)** Le profil cultural l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques, Ed, Masson, 2<sup>ème</sup> édition, 332p.

**Hénin, S. (1976).** Cours de physique du sol: texture-structure-aération. in different types of Egyptian soils. *J. Appl. Ecol.* 2, 271-287.

**Huynh, T., M., D., 2009.** Impacts des métaux lourds sur l'interaction plante/ ver de terre/ microflore tellurique. Thèse de Doctorat de l'Université Paris-Est en Ecologie microbienne. 169pp

## I

**INRA, (2001).** L'acidification dans le massif vosgien : comprendre et guérir. Définitions & documents. site web : <https://www2.nancy.inra.fr/collectif/acidification/Liens/liens.html>

**ITCMI, (2010)** La culture de laitue. Fiche Tec. (Institut Technique des Cultures Maraichères et Industrielles) Alger. 5p.

## J

**Jansirani D, Nivethitha S, Singh MVP. 2012.** Production and utilization of vermicast using organic wastes and its impact on *Trigonella foenum* and *Phaseolus aureus*. *Int J Res Biol Sci* 2(4):187–189)

**James, S.W. (1991)** Soil, nitrogen, phosphorus, and organic-matter processing by earthworms in tallgrass prairie. *Ecology*, 72, 2101-2109.

**Jegou D. (1998).**- Rôle fonctionnel de quatre espèces lombriciennes dans la structuration du sol et dans les transferts de carbone. Thèse de Doctorat, Université de Rennes I, 153 p.

**Jones, C.G., Lawton, J.H. and Shachak, M.,( 1994)** Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69 (3), 373-386. Jongmans, A.G., Pulleman, M.M., Marinissen, J.C.Y., 2001. Soil structure and earthworm activity in a marine silt loam under pasture versus arable land. *Biol. Fertil. Soils* 33, 279–285..

**Jones, C.G., Lawton, J.H. and Shachak, M., (1997 )**Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology*, 78 (7), 1946-57.

## K

**Kaabeche T. et Mebrak A.R. (2010).** Contribution à l'étude des risques naturels (sismiques et mouvements de terrain) dans la Wilaya de Sétif.Mém. Ing . Uni. Ferhat Abbas. Sétif. Pp 46-56.

**Knops, J.M.H. et Tilman, D. (2000).** Dynamics of soil nitrogen and carbon accumulation for 61 years after agricultural abandonment. *Ecology* 81, 88-98

**König C. (2007).** Les vers de terre. Dossier-Recyclage naturel qui sont les décomposeurs ? FUTURA PLANETE. <https://www.futura-sciences.com>

## L

**L.Fayolle , Y.Gautronneau.,(1998).** détermination despeuplement et de l'activité lombricienne en grandes cultures,à l'aide du profil cultural

**Labiod,d,(2017).** contrubution l'etude de la biodiversité des lombriciens dans l'oust algérien.mémore de master en ecologie, Université de frères mentori constantine

**Lacoste A., Salanon R. (2001).** Eléments de biogéographie et d'écologie. Ed, Nathan, 318.

**Laossi K.-L., Ginot A., Noguera D.C., Blouin M and S. Barot. (2010).** Earthworm effects on plant growth do not necessarily decrease with soil fertility. *Plant Soil* 328:109–118.

**Lavelle P. 1997.** Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. *Advances in ecological soil research.* 27: 93-132.

**Lavelle P., Pashanasi B., Charpentier F., Gilot C., Rossi J.P., Derouard L., Andre J., Ponge J.F. & Bernier N. (1998)** - Large Scale effects of earthworms on organic matter and nutrient dynamics. In C.A. Edwards (Eds.), *Earthworm Ecology, Soil and Water Conservation Society Ankeny, Iowa*, pp 103-122.

**Lavelle, P., Bignell, D., Lepage, M., Wolters, V., Roger, P., Ineson, P., Heal, O.W. & Heal O.W. (1997)** – Soil function in a changing world : the role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. of Soil Biol.*, 33: 159-193.

**Le Bayon C.** Influence des activités des lombriciennes sur la dynamique (disponibilité, transfert) du phosphore en sols tempérés. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1.,1999, 133 p

**Leclerc B. (2012).** Roles des matières organiques dans le sol. LES SOLS VIVANTS BIO.4p.

[https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Occitanie/076\\_Inst-Occitanie/Documents/Productions\\_techniques/Agriculture\\_biologique/Espace\\_ressource\\_bio/Maraichage\\_bio/Pluri-espece/Fertilisation/RolesMO-PACA-2012.pdf](https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Occitanie/076_Inst-Occitanie/Documents/Productions_techniques/Agriculture_biologique/Espace_ressource_bio/Maraichage_bio/Pluri-espece/Fertilisation/RolesMO-PACA-2012.pdf)

**Lee, K. E. (1985).** Earthworms: their ecology and relationship with soils and land use. New York, 141.

**Lofs-Holmin, A., (1983)** Influence of agricultural practices on earthworms (*Lumbricidae*).*Acta Agricult. Scand.* 33, 225-234

## M

**Mackay, A.D., Springett, J.A., Syers, J.K. & Gregg, P.E.H. (1983)** Origin of the effect of

earthworms on the availability of phosphorus in a phosphate rock. *Soil Biol. Biochem.*, 15, 63-73.

**Mackay, D.** : Multimedia environmental models : the fugacity approach, CRC press, 2001

**Marinissen J.C.Y. (1995).** Earthworms, soil-aggregates and organic matter decomposition in agro-ecosystems in the Netherlands. Thèse d'Université, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, pp. 153.

**MATHIEU C. et PIELTAIN F., 1998.** Analyse physique des sols. Lavoisier Tec/Doc, 274 p.

**Mele, P. M. et Carter, M. R., (1999).** Impact of crop management factors in conservation Pakistan. 13, 779-794.

**Minnich, J. (1977)** The earthworm book: how to raise and use earthworms for your farm and garden. Rodale Press.

## O

**Oades, J. (1984).** Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, 76, 319-337

**Ouahrani G. et Gheribi-Aoulmi Z., 2013.** Settlement of the Lumbricidae in the semi-arid region of Constantine (eastern Algeria). 3ème Intern Ologochaeta taxonom. The Environnement service of the Ministry of Agriculture. *Advances in Earthwormes Taxonomy II. (Annelida: Oligochaeta)*. Proceedings of the international Ologochaeta Taxonomy Meeting (3ed IOTM). Platres, Cytrus, April 2nd to 6th 2013. Ed Terry Connelly. 163 173p.

## P

**Parkin, T.B. & Berry, E.C. (1999).** Microbial nitrogen transformations in earthworm burrows. *Soil Biol. Biochem.*, 31, 1765-1771

**Pelloux P., Dabin B., Fillmann G. & Gomez P. (1971).** Méthodes de détermination des cations échangeables et de la capacité d'échange dans les sols édition ORSTOM Paris, France, réimpression 1980. 131p.

**Pelosi, C., (2008).** Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre lumbricus terrestris au champ. Contribution a l'étude de l'impact de systèmes de culture sur les communautés lombriciennes Thèse Doctorat à l'université Agro pariTech. 141pp.

**Pérès G. et al., (2011).** Earthworm indicators as tools for soil monitoring, characterization and risk assessment.

**Pérès, G., Cluzeau, D., Curmi, P. et Hallaire, V.,(1998).** Earthworm activity and soil

**Pierzynsky GM., SIMS J. Thomas, Vance GF. (2005).** Soils and environmental. Quality, éd. Taylor & Francis, Etats Unis d'Amérique.

## R

**RANDRIANAMPY J., 1997** « Contribution à l'étude de l'aménagement des sols du secteur de Mahasolo », mémoire de D.E.A..

**Raoul CALVET, (2013)** Le livre (Le sol ) ,2 eme édition ; pp : 36,37 .France

**Robin, R., (2012).** Stimuler la croissance des plantes pour mieux valoriser les ressources agricoles : Les engrais minéraux comme hôtes de microorganismes stimulant la croissance des plantes. Congrès sucrier ARTAS / AFCAS 2012, La Réunion.

**Römbke J., Jansch S. & Didden W. (2005).** The use of earthworms in ecological soil classification and assessment concepts. Ecotoxicology and Environmental Safety 62,249- 265.

**Ruben PUGA FREITAS (2012)-** Effet du ver de terre *Aporrectodea caliginosa* sur la croissance des plantes, leur développement et leur résistance aux pathogènes. Thèse de doctorat. Université Paris est. Spécialité : Sciences de l'Univers et de l'Environnement. P 107).

## S

**Satchell J.E., (1955).** Some aspects of earthworm ecology. In: Mc Kevan, D. K. (eds), Soil Zoology. Butterworths, London, 180-201pp

**Satchell J.E., (1967).** Lumbricidae. In Soil Biology. (Eds., A. Burges and F. Raw): 259-322.

(Academic Press: London.).

**Saurel B., Bispo A., Blanchart E., Chenu C et Feix I., (2010).** La vie cachée des sols : L'élément essentiel d'une gestion durable et écologique des milieux. Octobre 2010. Programme GESSOL, France, 19 p.)

**Scheiner J.D. (2005).** Spéciation du carbone, de l'azote et du phosphore de différents boues de stations d'épuration au cours de leurs incubations contrôlées dans deux types de sol, Thèse de doctorat, 20-24p

**Scheu, S. (2003).** Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives: The 7th international symposium on earthworm ecology · Cardiff · Wales · 2002. *Pedobiologia*, 47, 846-856.

**Schmutz R., (2013)** Vers de terre architectes des sols fertiles. N°1619. FiBL, Suisse, 6 p.)

**Seltzer P. (1946).** - Le climat de l'Algérie. 1 vol., 219 p. Carbonel Alger.

**Sharpley A.N. & Syers J.K. (1976).**- Potential role of earthworm casts for the phosphorus enrichment of run-off waters. *Soil Biol. Biochem.*, 8 : 341-346.

**Shaw C. & Pawluk S. (1986).**- Faecal microbiology of *Octolasion tyrtaeum*, *Aporrectodea turgida* and *Lumbricus terrestris* and its relation to the carbon budgets of three artificial soils. *Pedobiol.*, 29 : 377-389.

**Shipitalo, M. J. et Protz, R. (1988).** "Factors influencing the dispersibility of clay in worm casts." , *Soil Science Society of America Journal* 52 :764-769.

**Shuster W.D., Subler S. & McCoy E.L. (2001).**- Deep-burrowing earthworm additions changed the distribution of soil organic carbon in a chisel-tilled soil. *Soil Biol. and Biochem.*, 33 : 983-996.

**Sims R.W. et Gerard B.M., (1999).** Earthworms: Notes for the Identification of British Species, Synopses of the British Fauna (New Series) n°31 (Revised). London: Linnean Society.

**Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S. & Denef, K. (2004)** A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79, 7-31..

**Spring J.-L., Ryser J.-P., Schwarz J.-J., Basler P., Bertschingerl Haselia.,(2003).**Données de base pour la fumure en viticulture. Station fédérales de recherches agronomiques de Changins et de wadenswil,24p.

**Stevenson, F.J. (1986)** Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients, John Wiley, New York.

**Syers J.K., Sharpley A.N., Keeney D.R. (1979).**- Cycling of nitrogen by surface-catsing earthworm in pasture ecosystem. *Soil Biol. Biochem.*, 1 :301-307

## T

**Thutiès L., Arrufat A., Dubois M., Feller C., Helmann P., Larré-Laiouy M.C., Martin C., M. Pansu, Bény J.C. et Vie M. (2000).** Influence d'une fertilisation organique et de la solarisation sur la productivité maraîchère et les propriétés d'un sol sableux sous abri. *Etude et Gestion des Sols*, 7, 1 , 2000 - pp 73-88.

**Tiunov A.V. & Scheu S. (1999).** Microbial biomass, biovolume and respiration in *Lumbricus terrestris* casts materail of different age. *Soil Biol. Biochem.*, **32** :265 :275.

**Tiwari, S.C., Tiwari, B.K. & Mishra, R.R. (1989).** Microbial populations, enzyme activities and nitrogen-phosphorus-potassium enrichment in earthworm casts and in the surrounding soil of a pineapple plantation. *Biol. Fertil. Soils*, 8, 178-182.

**Torsvik V. and Øvreas L(2008)** Microbial diversity, life strategies, and adaptation to life in extreme soils. In: P. Dion and C.S. Nautiyal (Editors), *Microbiology of extreme soils*. *Soil Biology* 13. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 15-43.

## V

**Védie H. & Leclerc B. (2015).** Synthèse des essais amendements organiques et engrais organiques conduits en maraîchage biologique. Rapport de projet, RESEA

## W

**Williams B.G. et Hoey D., (1982)** An electromagnetic induction technique for reconnaissance surveys of soil salinity hasards. *Austr. J. Soil Res.*, 20 : 107-118 p.

## Z

**Zhang, H. et Schrader, S. (1993).** "Earthworm effects on selected physical and chemical Zoology. Butterworths, London, 180-201pp.

**Annexe 01 : classification des vers de terre (BOUCHE ,1970).**

Classification	Phylogénie
Règne : Anilalia	Position
Embranchement : Annelia	Pilatériens
Classe : Clitellata	Protostomiens
Sous Class : Oligochaeta	Laphotrochzoaire
Ordre : Haplotaxida	Laphotrochzoaire
Sous Ordre : Lumbricina	Annélides Oligochètes

**Annexe 0 2:les échelles d'interprétation de calcaire totale (Baise, 2000).**

CaCO <sub>3</sub> (%)	Sol
CaCO <sub>3</sub> <1	Non calcaire
<1CaCO <sub>3</sub> <5	Peu calcaire
5<CaCO <sub>3</sub> <25	Modérément calcaire
25<CaCO <sub>3</sub> <50	Fortement calcaire
50<CaCO <sub>3</sub> <80	Très fortement calcaire
CaCO <sub>3</sub> >80	Excessivement calcaire

**Annexe 03: les échelles d'interprétation de l'azote totale (%) (HENIN, 1969).**

NT (%)	Sol
NT< ou = 0,5	Très pauvre
0,5<NT< 1	Pauvre
1 <NT< 1,5	Moyen
NT> 1,5	Bien pauvre

**Annexe 04 : Classement des sols en fonction de leur rapport C/N LAC (CALVET, 2003)**

C/N<6	Très faible	Sol à décomposition rapide de la matière organique.
6<C/N<8	Faible	
8<C/N<11	Normal	Bonne décomposition de la matière organique.
11<C/N<12	Légèrement élevé	
12<C/N<14	Elevé	Sol d'activité biologique réduite ramenant à une décomposition lente de la matière organique.
12<C/N<14	Très élevé	

**Annexe05.** Dimension et propriété des éléments minéraux composant le sol (**d'après Hénin, 1976**)

Eléments minéraux	Diamètre (µm)	Absorption des ions	Rétention de l'eau	Perméabilité
Argile	< 2	Forte	Forte	Faible
Limon fin	2 – 20	Faible	Moyenne	Faible
Limon grossier	20 – 50			
Sable fin	50 – 200	Nulle	Nulle	Forte
Sable grossier	200 – 2000			

**Annexe 06: résultat des analyses**

**1) Introduction**

Dans le sol, le calcaire est la source la plus fréquente de calcium, il peut se trouver dans le sol à l'état de dimensions différentes depuis les blocs et les graviers jusqu'à la taille des colloïdes argileux.

Le calcaire ou le carbonate de calcium prend son origine soit de la, roche mère (origine du sol). Il arrive aussi que le calcaire du sol ait une origine biologique et qu'il soit constitué, partiellement ou en totalité, par des coquilles des gastéropodes, il peut se produire également que le calcaire n'existe pas initialement dans les horizons du sol (roche mère non calcaire) mais qu'il ait apporté dans le profil en surface par colluvionnement à l'état fragmentaire, par ruissellement à l'état dissous, en profondeur par précipitation du carbone de calcium dissous dans la nappe phréatique, quand celle-ci remonte en saison humide dans les horizons proches de la surface et en fin par apport éolien (le vent).

Dans le sol, le calcaire joue un rôle physique car il rend la structure des sols plus meuble et plus stable. Celle-ci favorise la perméabilité à l'eau et à l'air. Elle facilite le travail du sol et la pénétration des racines. le calcium agit aussi sur la structure et sur la stabilité en favorisant l'humification et la stabilisation du complexe argilo-humique.

Le calcium joue un rôle chimique dans la mesure où il régularise le pH des sols et favorise les échanges d'ions. Aussi on note le rôle du calcium dans la fixation réversible du phosphore. Le calcium et le magnésium jouent un rôle sur l'activité biologique dans les sols surtout en créant des conditions préférentielles aux microorganismes du sol (mobilité de base Echangeables, pH neutre ou légèrement acide, bonne aération. Humidité moyenne etc....) (**LABIOD D ; 2017**)

## a) Calcaire totale

Enchantions	volume (ml)
Turriculé	32
TR1	36
TR2	46
TR3	40
Q1R1	46
Q1R2	47
Q1R3	45
Q2R1	48
Q2R2	49
Q2R3	46
Q3R1	45
Q3R2	47
Q3R3	44

## 2) PH et conductivités électriques

ECHANTILLON	PH	CE (ms)
TR1	7,43	0,34
TR2	7,58	0,25
TR3	7,82	0,23
Q1R1	7,45	0,26
Q1R2	7,63	0,25
Q1R3	7,67	0,23
Q2R1	7,38	0,29
Q2R2	7,3	0,24
Q2R3	7,4	0,22
Q3R1	7,47	0,32
Q3R2	7,67	0,28
Q3R3	7,31	0,3
TURRICULE	7,33	0,49

## 3) Matières organique

	<b>VOLUM ml</b>	<b>COT%</b>	<b>MOT%</b>
<b>TR1</b>	1,3	2,16	3,72
<b>TR2</b>	1,5	1,30	2,24
<b>TR3</b>	1,4	1,73	2,98
<b>Q1R1</b>	1,3	2,16	3,71
<b>Q1R2</b>	1,2	2,60	4,47
<b>Q1R3</b>	1,4	1,73	2,97
<b>Q2R1</b>	1,10	3,03	5,21
<b>Q2R2</b>	1,20	2,60	4,47
<b>Q2R3</b>	1,30	2,16	3,72
<b>Q3R1</b>	1,50	0,94	1,62
<b>Q3R2</b>	1,40	8,67	14,91
<b>Q3R3</b>	1,60	4,33	7,45
<b>Turriculé</b>	1,30	10,83	18,62

## 4) Granulométrie

	<b>A (%)</b>	<b>L (%)</b>	<b>S (%)</b>	<b>Texture</b>
<b>Turriculé</b>	6,83	13,83	79,79	SL
<b>TR1</b>	6,82	23,86	69,32	LS
<b>TR2</b>	10,23	21,59	68,18	LS
<b>TR3</b>	9,09	17,05	73,86	LS
<b>Q1R1</b>	8,08	31,31	60,61	LS
<b>Q1R2</b>	11,58	23,16	65,26	LS
<b>Q1R3</b>	11,58	25,16	63,16	LS
<b>Q2R1</b>	10,53	27,37	62,11	LS
<b>Q2R2</b>	9,47	32,63	57,89	LS
<b>Q2R3</b>	9,47	20	70,53	SL
<b>Q3R1</b>	11,58	33,68	54,74	LS
<b>Q3R2</b>	9,71	34,95	55,34	LS
<b>Q3R3</b>	6,17	13,58	80,25	SL

## 5) l'Azote kjeldahl total

	<b>Blanc</b>	<b>turricule</b>	<b>TR1</b>	<b>Q1R1</b>	<b>Q2R1</b>	<b>Q3R1</b>
<b>volume(ml)</b>	0,5	3,1	0,8	0,9	1,1	1,2
<b>NTK(mg/L)</b>	//	728000	84000	112000	168000	196000

## 6) les cations échangeables

	<b>Ca+</b>	<b>K+</b>	<b>Na+</b>
<b>TR1</b>	162,257	36,942	25,786
<b>TR2</b>	164,43	43,484	28,661
<b>TR3</b>	164,207	40,776	49,237
<b>Q1R1</b>	171,598	32,675	22,336
<b>Q1R2</b>	160,954	37,283	23,583
<b>Q1R3</b>	164,728	21,236	16,231
<b>Q2R1</b>	157,907	46,175	29,131
<b>Q2R2</b>	157,037	38,699	36,377
<b>Q2R3</b>	157,306	37,267	28,672
<b>Q3R1</b>	158,192	42,622	24,481
<b>Q3R2</b>	157,52	44,36	24,601
<b>Q3R3</b>	158,176	43,693	26,988
<b>TURICULé</b>	165,999	26,389	20,566

## 7) chlorophylle

645									
TR1	Q1R1	Q1R2	Q1R3	Q2R1	Q2R2	Q2R3	Q3R1	Q3R2	Q3R3
0,078	0,074	0,052	0,039	0,033	0,048	0,045	0,01	0,023	0,036

663									
TR1	Q1R1	Q1R2	Q1R3	Q2R1	Q2R2	Q2R3	Q3R1	Q3R2	Q3R3
0,83	0,112	0,08	0,085	0,133	0,094	0,2	0,032	0,075	0,059

Ca=10,34	Ca=1,23	Ca=0,88	Ca=0,97	Ca=1,6	Ca=1,07	Ca=2,42	Ca=0,38	Ca=0,89	Ca=0,65
Cb=-2,1	Cb=1,17	Cb=0,82	Cb=0,5	Cb=0,13	Cb=0,66	Cb=0,1	Cb=0,08	Cb=0,17	Cb=0,55

## ANNEXE 07



Figure 52. Préparation des échantillons

A : tamisage de  
turriculé; B : broyage de  
turriculé



Figure 53. récolt de sol



Figure 54. comparaison entre la croissance de plante dans le sol sans apport de turriculé et le sol contiennent déffirent dose de turriculé.

A : T (pots contiennent 3Kg de sol sans apport de turriculés); B : Q1(pots contiennent 3Kg sol + 100g de turriculés ; C : Q2 (pots contiennent 3Kg sol + 250g de turriculés ; D : Q3 (pots contiennent 3Kg sol + 500g de turriculés.

## **Abstract**

Fertile soils are the basis of agricultural production, effective nutrient management and soil fertility are essential for sustainable and profitable crops.

The objective of our work is to study the contribution of earthworm excretions on some physicochemical characteristics of soils (granulometry, pH, organic matter, electrical conductivity, tradable cations) and their impact on some morpho-physiological parameters lettuce. For this we chose three levels of intake (100, 250 and 500g of the earthworm excretion / 3Kg of soil).

In the light of the laboratory results, we found that the earthworm excretions are rich in nutrients such as nitrogen, calcium and potassium, which are very rich in organic matter (18.63%), and this is due to the fact that Selective feeding of earthworms that based on organic matter, as well as characterized by low alkaline acidity and electrical conductivity of 0.49 ms / cm, indicating that it is an unsalted substrate. the contribution of the earthworm excretion increased the soil content of organic matter, total nitrogen, potassium and total limestone, and it also had a positive effect on chlorophyll, above-ground and root biomass and on lettuce growth. Our study also indicated that the dose of 500g of the earthworm excretion / 3Kg of soil generated the greatest increases in the different parameters.

In general, the earthworm excretion plays a primordial role in fertility and equilibrium in the soil ecosystem.

**Key words:** earthworm excretions, earthworm, soil, plant, physicochemical characterization.

## Résumé

Les sols fertiles sont la base de la production agricole et d'une gestion efficace des éléments nutritifs. La fertilité du sol est essentielle pour des cultures durables et rentables.

L'objectif de notre travail est étude de l'effet d'apport des turriculées sur quelques caractéristiques physico-chimiques de sols (granulométrie, pH, matière organique, conductivité électrique, cations échangeables) et leur impact sur quelques paramètres morpho physiologique de la laitue. Pour cela nous avons choisi trois niveaux d'apport (100, 250 et 500g de turricules/3Kg de sol ).

À la lumière des résultats obtenus en laboratoire, nous avons constaté que les turricules sont riches en éléments nutritifs tels que l'azote, le calcium et le potassium, très riches en matière organique (18,63 %), et cela est due à l'alimentation sélective des vers de terre qui se base sur la matière organique, ainsi qui se caractérisés par une faible acidité alcaline et une conductivité électrique de 0,49 ms/cm, indiquant qu'il s'agit d'un substrat non salé. l'apport des turricules a augmenté la teneur des sols en matière organique, en azote total, en potassium et en calcaire total et il a également, un effet positif sur la chlorophylle, la biomasse aérienne et racinaire et sur la croissance de la laitue en générale. Notre étude a indiqué également que la dose de 500gde turricule/ 3Kg de sol a engendré les plus grandes augmentations dans les différents paramètres.

D'une manière générale les turricule jouent un rôle primordial dans la fertilité et des équilibres dans l'écosystème des sols.

**Mots clés :** turricule, ver de terre, sol, laitue, caractérisation physico-chimique.

## ملخص

التربة الخصبة هي أساس الإنتاج الزراعي و التنظيم المحكم للعناصر المغذية. خصوبة التربة ضرورية للمحاصيل المستدامة والمربحة.

إن الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير إضافة مخلفات دودة الأرض على بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة (قوام التربة الكمون الهيدروجيني ، المواد العضوية ، الناقلية الكهربائية ، الكاتيونات المتبادلة) وتأثيرها على بعض الخصائص الفيزيولوجية و المورفولوجية لنبات الخس، لهذا قمنا بإضافات تركيزات مختلفة من هذه المخلفات (100غ، 250غ و500غ/كل 3كغ من التربة)

على ضوء النتائج المتحصل عليها في المختبر وجدنا أن مخلفات دودة الأرض غنية بالمواد المغذية مثل النيتروجين والكالسيوم والبوتاسيوم ، وهي غنية جدًا بالمواد العضوية (18.63%) بسبب التغذية الانتقائية لديدان الأرض التي تعتمد على المادة العضوية ، وكذلك تتميز الحموضة القلوية المنخفضة وناقلية كهربائية تقدر ب0.49 ملي سمنس/سم، مما يشير إلى أنها غير مالحة. كما تبين من خلال الدراسة الحالية أن إضافة مخلفات دود الارض زاد من محتواها من المادة العضوية و الأزوت البوتاسيوم و الكلس و كذلك لها تأثيرًا إيجابيًا على نسبة اليخضور و الكتلة الحيوية الهوائية و الجذرية و نمو الخس. بصفة عامة.

بشكل عام ، تلعب فضلات دودة الأرض دورًا رئيسيًا في الخصوبة والتوازن في النظام البيئي للتربة.

**مفتاح الكلمات :** فضلات دودة الأرض ، دودة الأرض ، التربة ، النبات ، الخصائص الفيزيائية الكيميائية .

## Résumé

Les sols fertiles sont la base de la production agricole et d'une gestion efficace des éléments nutritifs. La fertilité du sol est essentielle pour des cultures durables et rentables.

L'objectif de notre travail est étude de l'effet d'apport des turriculées sur quelques caractéristiques physico-chimiques de sols (granulométrie, pH, matière organique, conductivité électrique, cations échangeables) et leur impact sur quelques paramètres morpho physiologique de la laitue. Pour cela nous avons choisi trois niveaux d'apport (100, 250 et 500g de turricules/ 3Kg de sol).

À la lumière des résultats obtenus en laboratoire, nous avons constaté que les turricules sont riches en éléments nutritifs tels que l'azote, le calcium et le potassium, très riches en matière organique (18,63 %), et cela est due à l'alimentation sélective des vers de terre qui se base sur la matière organique, ainsi qui se caractérisés par une faible acidité alcaline et une conductivité électrique de 0,49 ms/cm, indiquant qu'il s'agit d'un substrat non salé. l'apport des turricules a augmenté la teneur des sols en matière organique, en azote total, en potassium et en calcaire total et il a également, un effet positif sur la chlorophylle, la biomasse aérienne et racinaire et sur la croissance de la laitue en générale. Notre étude a indiqué également que la dose de 500gde turricule/ 3Kg sol a engendré les plus grandes augmentations dans les différents paramètres.

D'une manière générale les turricule jouent un rôle primordial dans la fertilité et des équilibres dans l'écosystème des sols.

---

**Mots clés :** turricule, ver de terre, sol, laitue, caractérisation physico-chimique.

## Abstract

Fertile soils are the basis of agricultural production, effective nutrient management and soil fertility are essential for sustainable and profitable crops.

The objective of our work is to study the contribution of earthworm excretions on some physicochemical characteristics of soils (granulometry, pH, organic matter, electrical conductivity, tradable cations) and their impact on some morpho-physiological parameters lettuce. For this we chose three levels of intake (100, 250 and 500g of the earthworm excretion / 3Kg of soil).

In the light of the laboratory results, we found that the earthworm excretions are rich in nutrients such as nitrogen, calcium and potassium, which are very rich in organic matter (18.63%), and this is due to the fact that Selective feeding of earthworms that based on organic matter, as well as characterized by low alkaline acidity and electrical conductivity of 0.49 ms / cm, indicating that it is an unsalted substrate. the contribution of the earthworm excretion increased the soil content of organic matter, total nitrogen, potassium and total limestone, and it also had a positive effect on chlorophyll, above-ground and root biomass and on lettuce growth. Our study also indicated that the dose of 500g of the earthworm excretion / 3Kg soil generated the greatest increases in the different parameters.

In general, the earthworm excretion plays a primordial role in fertility and equilibrium in the soil ecosystem.

---

**Key words:** earthworm excretions, earthworm, soil, plant, physicochemical characterization.

## ملخص

التربة الخصبة هي أساس الإنتاج الزراعي و التنظيم المحكم للعناصر المغذية. خصوبة التربة ضرورية للمحاصيل المستدامة والمربحة.

ان الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير إضافة مخلفات دودة الأرض على بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة (قوام التربة الكمون الهيدروجيني ، المواد العضوية ، الناقلية الكهربائية ، الكاتيونات المتبادلة ) وتأثيرها على بعض الخصائص الفيزيولوجية و المورفولوجية لنبات الخس. لهذا قمنا بإضافات تركيزات مختلفة من هذه المخلفات (100غ، 250غ و500غ/لكل 3 كغ من التربة).

على ضوء النتائج المتحصل عليها في المختبر وجدنا أن مخلفات دودة الأرض غنية بالمواد المغذية مثل النيتروجين والكالسيوم والبوتاسيوم ، وهي غنية جداً بالمواد العضوية (18.63%) بسبب التغذية الانتقائية لديدان الأرض التي تعتمد على المادة العضوية ، وكذلك تتميز الحموضة القلوية المنخفضة وناقلية كهربائية تقدر ب0.49 ملي سمنس/سم، مما يشير إلى أنها غير مالحة. كما تبين من خلال الدراسة الحالية أن إضافة مخلفات دود الارض زاد من محتواها من المادة العضوية و الأزوت البوتاسيوم و الكلس و كذلك لها تأثيراً إيجابياً على نسبة اليخضور و الكتلة الحيوية الهوائية و الجذرية و نمو الخس. بصفة عامة.

يشكل عام ، تلعب فضلات دودة الأرض دوراً رئيسياً في الخصوبة والتوازن في النظام البيئي للتربة.

---

**مفتاح الكلمات :** فضلات دودة الأرض ، دودة الأرض ، التربة ، النبات ، الخصائص الفيزيائية الكيميائية .