



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 DES SCIENCES AGRONOMIQUES

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

FILIERE : Sciences Agronomiques

OPTION : Production Végétale

Thème

***Etude de l'effet de l'urée 46% sur la croissance, la
reproduction, et la survie des lombrics***

Présenté par :

- **Bouziane Aicha khalida**
- **Merdaci Laalia**

Soutenu le 21 /09 / 2024

Mémoire de Master académique soutenu devant le jury composé de :

Président	Melle KADI Kenza (Pr)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela
Encadreur	Melle MEKERSI Nawal (MCB)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela
Examineur	Melle ADDAD Dalila (MCA)	Univ. Abbès Laghrou – Khenchela

Année universitaire : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Avant tout nous remercions ALLAH de nous avoir donné le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années et que grâce à lui ce travail a pu être réalisé.

Arrivé au terme de ce mémoire tiens à remercier toutes les personnes qui, de près ou de loin, qui ont aidée à le réaliser, spécialement notre encadreur Melle MEKERSI NAWAL, qui a fourni tous les efforts pour que nous fassions un bon travail.

Nos remerciements aussi à tous les membres du jury Mme. ADDAD, Mme. KADI KENZA

Aussi aux chefs de laboratoires de recherche d'ELHAMMA

Sans oublier nos profs de département d'agronomie

Aussi, KHALED Ansar et Mr BADIS .Z pour leurs encouragements au cours de notre travail.

Enfin, nous sommes reconnaissantes à tous les membres de nos familles, et à tous nos amis qui nous soutenue tout au long de nos études.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :
À l'âme pure de mon père, que Dieu lui
fasse miséricorde.
À ma mère Meriem pour leur amour et
leur encouragement qu'ils trouvent le
Témoignage de ma profonde affection et
gratitude.
À mes enfants qui sont l'espoir de ma vie
Islem, Rihem, Miral.
À mon mari Brahim.
À mes frères Achraf, Amine,
Mouhamed et leurs petites familles.
À ma sœur Nadia et sa petite famille.
À tous les amis de la promo M1
2023/2024.
À tous mes amies et voisins surtout
Atmina et sa petite famille
À chère amies Laalia, Khadidja et tous
mes collègues

Khalida

Dédicace

*À l'âme de mes parents Rahmat Allah
Atlihoum*

*À mon grand frère <Merddaci merdess> qui m'a
encouragé de retournera mes étude après 26ans
de rupture et qui m'a soutenu à chaque étape de
ma vie.*

*À mon mari <khiarabd Flatif> qui m'a
encouragé tout au long de mes études*

*À mes chers frères < Moumene, Athmed,
Farbi, Yahia , Rabeh > et mes sœurs leurs
petites familles bien-aimés, et ma petite <Rokia>*

*À ma chère amie <Aticha khalida bouziane> qui
a été à mes cotes tout au long de ce parcours*

*À mes collègues de CFM < Houari
Boumadien -Khenchela>*

Laalia

Résumé

Notre étude vise à évaluer l'impact des nitrates (urée 46%) sur la survie, la croissance et la reproduction des vers de terre, en particulier l'espèce *Lumbricus terrestris*. Un protocole expérimental rigoureux a été mis en place, dans lequel des échantillons homogènes de vers de terre ont été placés dans des microcosmes. Les vers ont été exposés à différentes doses de nitrate (urée 46%) (T0 = témoin, T1=1.57g, T2=3.15g, T3=6.30g) pendant huit semaines. À la fin de l'expérimentation, des analyses physico-chimiques du sol ont été réalisées afin de mesurer l'impact des nitrates (urée 46%) sur les paramètres biologiques des vers de terre.

Les résultats montrent des effets dose-dépendants des nitrates (urée 46%) :

- Croissance : Le traitement T1 a stimulé la croissance des vers de manière optimale, alors que le traitement T3 a eu un effet inhibiteur important, réduisant considérablement leur développement.
- Survie : Les vers exposés à T1 ont affiché un taux de survie élevé, alors que T3 a considérablement réduit leur survie.
- Reproduction : Seul le traitement T1 a permis une reproduction limitée des vers, alors que les doses plus élevées (T2 et T3) ont complètement inhibé ce processus.

Ces résultats mettent en évidence l'importance de l'ajustement précis des doses de nitrate (urée 46%) s pour minimiser leurs effets négatifs sur la biodiversité du sol, tout en favorisant une agriculture durable.

Mots-clés : *Lumbricus terrestris*, Nitrate (urée 46%), Sol, Croissance, Survie, Reproduction.

Abstract

Our study aims to evaluate the impact of nitrate (urea 46%) on the survival, growth, and reproduction of earthworms, particularly the species *Lumbricus terrestris*. A rigorous experimental protocol was set up, in which homogeneous samples of earthworms were placed in microcosms. The worms were exposed to different doses of nitrate (urea 46%) s (T0 = control, T1=1.57g, T2=3.45g, T3=6.30g) for eight weeks. At the end of the experiment, physicochemical analyses of the soil were carried out to measure the impact of nitrate (urea 46%) s on the biological parameters of earthworms.

The results show the dose-dependent effects of nitrate (urea 46%):

- Growth: Treatment T1 optimally stimulated worm growth, while treatment T3 had a significant inhibitory effect, significantly reducing their development.
- Survival: Worms exposed to T1 showed a high survival rate, while T3 significantly reduced their survival.
- Reproduction: Only treatment T1 allowed limited reproduction of worms, while higher doses (T2 and T3) completely inhibited this process.

These results highlight the importance of precisely adjusting nitrate doses to minimize the negative effects on soil biodiversity while promoting sustainable agriculture.

Keywords: *Lumbricus terrestris*, Nitrate (urea 46%), Soil, Growth, Survival, Reproduction.

الملخص

تهدف دراستنا إلى تقييم تأثير النترات على بقاء ونمو وتكاثر ديدان الأرض، وخاصة نوع *Lumbricus terrestris*. تم وضع بروتوكول تجريبي صارم، حيث تم وضع عينات متجانسة من ديدان الأرض في عوالم مجهرية. تعرضت الديدان لجرعات مختلفة من النترات

(T0 = التحكم، T1 = 1.57 g، T2 = 3.15 g، T3 = 6.30 g) لمدة ثمانية أسابيع. في نهاية التجربة، تم إجراء تحليلات فيزيائية وكيميائية للتربة لقياس تأثير النترات على المعايير البيولوجية لديدان الأرض. تظهر النتائج التأثيرات المعتمدة على الجرعة للنترات:

- النمو: حفزت المعالجة T1 نمو الديدان بشكل مثالي، بينما كان للعلاج T3 تأثير مثبط كبير، مما قلل بشكل كبير من نموها.

- البقاء على قيد الحياة: أظهرت الديدان المعرضة لـ T1 معدل بقاء مرتفع، بينما قلل T3 بشكل كبير من بقائها.
- التكاثر: سمحت المعالجة T1 فقط بتكاثر محدود للديدان، في حين أن الجرعات الأعلى (T2 و T3) منعت هذه العملية تمامًا. تسلط هذه النتائج الضوء على أهمية ضبط جرعات النترات بدقة لتقليل أثارها السلبية على التنوع البيولوجي للتربة مع تعزيز الزراعة المستدامة.

الكلمات المفتاحية: *Lumbricus terrestris*، النترات، التربة، النمو، البقاء، التكاثر.

Table Des matières

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1

Première partie : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralité sur les vers de terre

I.1. Présentation des vers de terre.....	4
I.1.1. Classification des vers de terre.....	5
I.1.1.1. Classification taxinomique.....	5
I.1.1.2. Classification écologique.....	6
I.1.1.2.1. Les épigés	6
I.1.1.2.2. Les anéciques	7
I.1.1.2.3. Les endogés.....	7
I.2. Biologie des Vers de terre.....	8
I.2.1. Nutrition	8
I.2.2. Morphologie.....	9
I.2.2.1. Taille	9
I.2.2.2. Coloration	9
I.2.2.3. Soies	9
I.2.2.4. Tête	10
I.2.2.5. Pigydium.....	10
I.2.2.6. Pores dorsaux	10
I.2.3. Cycle de vie	11
I.2.4. Reproduction et longévité.....	12
I.3. Importance des vers de terre.....	13
I.3.1. Formation des galeries.....	13
I.3.2. Drilosphère.....	14
I.3.3. Formation des turriculés.....	14
I.4. Utilisation des vers de terre en tant que bio indicateurs.....	14

Chapitre II : Généralité sur les engrais, l'azote et le nitrate (urée 46%)

II.1. Les engrais.....	16
II.2. Importance des engrais	17

Table des matières

II.3. Les engrais azotés minéraux.....	17
II.3.1. Engrais nitriques.....	17
II.3.2. Engrais ammoniacaux-nitriques.....	17
II.3.3. Engrais ammoniacaux.....	17
II.4. Nitrate.....	17
III.4.1. Les caractéristiques physico-chimiques des nitrates.....	17
II.5. L'impact sur l'environnement	18

Deuxième partie : Partie expérimentale

Chapitre III : Matériels et méthodes

III.1. Contexte de l'étude.....	20
III.2. Objectif.....	20
III.3. Matériel utilisé.....	20
III.3.1. Matériel organique : Les nitrates (urée 46%)	20
III.3.2. Matériel animal : Les vers de terre.....	21
III.3.3.1. Caractéristiques morphologiques.....	21
III.3.3.2. Classification scientifique.....	22
III.3.4. Le sol.....	23
III.3.4.1. Echantillonnage des vers de terre.....	23
III.3.4.2. Description de l'essai.....	24
III.4. Détermination de la survie, de la croissance et de la reproduction des vers de terre	26
III.5. Les analyses physico-chimiques du sol.....	27
III.5.1. Le pH du sol.....	27
III.5.2. La conductivité électrique du sol	28
III.5.3. Carbone Organique Total (COT%) et la matière organique (MO%).....	29
III.5.4. Préparation des solutions.....	29
III.5.5. Mode opératoire	30
III.5.6. Calcaire Total (CaCO ₃)	31
III.5.7. Dosage de l'azote total	33
III.6. Analyse statistique.....	38

Chapitre IV : Résultats et discussions

IV.1. Les paramètre du sol	40
IV.1.1. L'effet des nitrate (urée 46%) sur le pH du sol	40
IV.1.2.L'effetedsnitrate sur la Conductivité du sol.....	41
IV.1.3. L'effet des nitrate (urée 46%) sur la matière organique du sol.....	43
IV.1.4. Effet de nitrate (urée 46%) sur le calcaire du sol	45
IV.1.5. Effet de nitrate (urée 46%) sur l'azote du sol.....	47
IV.1.6. Effet de nitrate (urée 46%) sur les cations majeur du sol (Ca ⁺² , Na ⁺ , K ⁺).....	48
IV.1.7. L'effet des nitrate (urée 46%) sur la texture du sol	51

Table des matières

IV.2. L'effet des traitements appliqué sur la croissance la survie, et la reproduction des vers de terre	52
IV.2.1. Effet des traitements sur la croissance des vers de terre	53
IV.2.2. Effet des traitements sur la survie des vers de terre	56
IV.2.3. Effet des traitements sur la reproduction des vers de terre	57
IV.2.4. Corrélation linéaire entre la croissance et la survie du ver de terre et le temps d'exposition temps d'exposition.....	59
Conclusion générale.....	63
Références bibliographiques.....	66

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1: Photopriés d'un ver de terre..	4
Figure 2: Aspect général d'un ver de terre..	5
Figure 3: Ver de terre épigé.	6
Figure 4: Ver de terre anécique.	7
Figure 5 : Ver de terre endogé.	8
Figure 6: Répartition écologique des vers de terre.	8
Figure 7: Les soies des vers de terre.....	10
Figure 8: La tête des vers de terre.	10
Figure 9 : Cycle biologique du ver de terre.	11
Figure 10: L'accouplement chez les lombrics.....	13
Figure 11 : Les nitrates (urée 46%)	22
Figure 12: Posage de l'urée.....	23
Figure 13 : Localisation de la commune de M'toussa wilaya de Khenchela.	24
Figure 14 : L'espèce de ver de terre <i>Lumbricus terrestris</i>	25
Figure 15 : Les vers de terre utilisés.....	26
Figure 16 : Schéma d'un microcosme.....	27
Figure 17 : Placement des vers de terre utilisés.....	28
Figure 18 : Posage des vers de terre	29
Figure 19 : Les étapes de mesure du pH	30
Figure 20 : Les étapes de mesure de la conductivité électrique.....	31
Figure 21 : Différents produits et étapes de mesure du Carbone Organique Total (COT).	33
Figure 22 : Le calcimètre utilisé pour la mesure du Calcaire Total (CaCO_3).....	34
Figure 23 : Différentes étapes de minéralisation et distillation.....	37
Figure 24 : Différentes étapes de titrage.....	37
Figure 25 : Différentes étapes de mesure des échanges cationiques	38
Figure 26 : Détermination de la distribution des particules de sol.....	39
Figure 27 : L'effet moyen des traitements sur les paramètres mesurés des vers de terre (la croissance, la survie et la reproduction),.....	55
Figure 28 : L'effet moyen des traitements sur la croissance.	58
Figure 29 : L'effet moyen des traitements sur la survie.....	60
Figure 30 : L'effet moyen des traitements sur la reproduction.....	62
Figure 31 : Régression linéaire représentant le taux de croissance (%) et le taux de survie (%) sur 8 semaines pour <i>L. terrestris</i>	64

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification taxinomique des vers de terre.	5
Tableau 2: Principaux éléments nutritifs et oligo-éléments pour les plantes.	17
Tableau 3 : Conditions expérimentales.....	27
Tableau 4 : Analyse de variance du PH	42
Tableau 5 : Les valeurs de PH du sol en fonction des traitements par nitrate (urée 46%)	43
Tableau 6 : Analyse de variance de la conductivité du sol	44
Tableau 7 : Les valeurs de la conductivité (CE) du sol en fonction des traitements par nitrate (urée 46%)	45
Tableau 8 : Analyse de variance de la matière organique (MO) du sol	45
Tableau 9 : Les valeurs de la matière organique (MO) du sol en fonction des traitements par nitrate (urée 46%)	47
Tableau 10 : Analyse de variance du calcaire du sol.....	48
Tableau 11 : Les valeurs de calcaire total (CaCO ₃) du sol en fonction des traitements par nitrate (urée 46%)	49
Tableau 12 : Analyse de variance de l'azote du sol	49
Tableau 13 : Les valeurs de l'azote Kjeldahl total (N) du sol en fonction des traitements par nitrate (urée 46%)	50
Tableau 14 : Analyse de variance du Ca ²⁺ du sol	51
Tableau 15 : Analyse de variance pour le Na ⁺ dans le sol.....	51
Tableau 16 : Analyse de variance pour le K ⁺ dans le sol	52
Tableau 17 : Les valeurs de cationsmajeurdu sol (Ca+2, Na+, K+) en fonction des traitements par nitrate (urée 46%)	53
Tableau 18 : Les résultats de l'effet des nitrate (urée 46%) sur la texture du sol.	54
Tableau 19 : Analyse de la variance des effets de traitement sur la croissance des vers de terre	56
Tableau 20 : Analyse de la variance de l'effet des traitements sur la survie des vers de terre	58
Tableau 21 : Analyse de la variance de l'effet des traitements sur la reproduction des vers de terre	60

Liste des abréviations

Liste des abréviations

N : Nitrate (urée 46%)

PH : Potentiel hydrogène (Indice d'acidité ou de basicité)

CE : Conductivité électrique (mesure de la salinité)

DDL : Degrés de liberté (statistique)

ANOVA : Analyse de la variance

MAT : Matière Azoté Totale

MO : Matière Organique

P : probabilité de commettre l'erreur alpha

T : Traitement témoin (0g de N)

T1 : Traitement 1 (1.57g de N)

T2 : Traitement 2 (3.15 g de N)

T3 : Traitement 3 (6.30 g de N)

NT : Azote total

COT : Carbone organique total

CEC : Capacité d'échange cationique

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction générale

Chaque année, d'importantes quantités d'engrais et d'amendements minéraux ou organiques sont appliquées sur les sols afin d'augmenter leur productivité (**Charbonneau et al., 2005 ; Giroux et al. 2005**). En revanche, la consommation continue à croître dans le Tiers-monde. Entre 1970 et 2000, l'utilisation des engrais a augmenté de 450 % en Asie, de 200 % en Amérique latine et de 100 % en Afrique (**Ramade, 2005**).

En Algérie, l'utilisation de ces engrais a connu une hausse ces dernières années en raison du développement agricole. Les engrais sont incorporés au sol afin d'accroître ou de maintenir la fertilité en apportant aux végétaux les éléments nutritifs essentiels (**Mazoyer, 2002**). Cependant, ces traitements peuvent entraîner des conséquences environnementales et sanitaires à long terme, dues à l'infiltration de ces substances dans les sols, les nappes phréatiques et les eaux souterraines, avant d'être transférées aux plantes, aux animaux et, en fin de chaîne, à l'homme. De plus, ces substances sont également utilisées dans des actions de lutte contre les nuisibles.

L'utilisation adéquate des engrais est essentielle pour protéger l'environnement et maintenir la fertilité des sols. Elle dépend de la composition initiale du sol en éléments fertilisants, du type de sol, du moment d'application, et des objectifs de rendement (**Badraoui et al., 2000 ; Evans, 1998 in Latiri, 2002 ; Latiri, 2002**). Parmi ces techniques, la fertilisation azotée joue un rôle clé dans la croissance des plantes et reste le facteur limitant de l'augmentation de la production, sous réserve que les autres conditions soient optimales : climat, techniques culturales, etc. De nombreux auteurs ont démontré l'importance de la nutrition azotée pour les cultures céréalières (**Soltner, 2003 ; N'dayegamiye et Poulin, 2011 ; Hirel et al., 2007**).

Cependant, depuis la Révolution verte il y a plus de 50 ans, les agriculteurs ont optimisé l'utilisation de la fertilisation azotée pour maximiser les rendements. Une quantité suffisante d'azote est nécessaire pour obtenir une bonne récolte (**Hirel et al., 2007**).

Les vers de terre, en particulier les lombrics, sont les invertébrés du sol ayant la plus grande biomasse. En se nourrissant de matière organique dans le sol, ils jouent un rôle crucial dans sa régénération, la décomposition de la matière organique, et l'amélioration de sa structure. Cependant, leur survie et leur reproduction sont menacées par divers facteurs environnementaux, dont la contamination chimique (**Lowe et al., 2004**). Parmi ces contaminants, les nitrates (urée 46%), largement utilisés dans les engrais agricoles, ont suscité

Introduction Générale

des préoccupations croissantes. Les pratiques agricoles intensives ont conduit à une augmentation des concentrations de nitrate (urée 46%) dans les sols, avec des effets potentiels sur les organismes du sol tels que les vers de terre (**Domínguez et Edwards, 2010**). À des concentrations élevées, les nitrates (urée 46%) peuvent être toxiques pour la faune du sol, affectant non seulement la survie des vers de terre, mais aussi leur capacité à se reproduire, perturbant ainsi les écosystèmes (**Monroy et al., 2006**).

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des nitrates (urée 46%) à trois doses différentes, basées sur les doses recommandées par l'État. Les résultats préliminaires se concentrent sur l'impact de ces engrais sur différents paramètres vitaux tels que la croissance, la reproduction et la survie de l'espèce anécique de ver de terre *Lumbricus terrestris*. Ce manuscrit est organisé en deux parties :

Partie I : Synthèse bibliographique

- **Chapitre 1** : Généralités sur les vers de terre
- **Chapitre 2** : Généralités sur les engrais azotés et les nitrate (urée 46%)

Partie II : Partie expérimentale

- **Chapitre 3** : Matériels et méthodes qui regroupent le matériel utilisé, les méthodes suivies dans cette étude.
- **Chapitre 4** : Résultats et discussion qui est une présentation des principaux résultats obtenus sous forme de tableaux et figures ainsi que leurs discussions.

Chapitre I

Généralité sur les vers

De terre

I.1. Présentation des vers de terre

Les Lombricidé sont des métazoaires, triploblastiques, coelomates et protostomiens, font partie des Annélides qui sont principalement représentés dans les écosystèmes terrestres par les vers de terre de la classe des oligochètes, représentant une composante majeure de la macrofaune du sol puisque, dans la plupart des écosystèmes terrestres, ils dominent en biomasse. (Edwards et Bohlen, 1996).



Figure 1: Photo prise d'un ver de terre. (Bazri, 2015).

Selon **Lavelle et Spain (2001)**, les lombricidés également appelés vers de terre sont des membres du macrofaune du sol. Ils se distinguent par une anatomie allongée et cylindrique, caractérisée par une série d'anneaux successifs appelés « métamères » (de 60 à 200), qui constituent une structure régulièrement répétée. Leur corps est annelé, composé d'anneaux. La première section est appelée "Positonium", la deuxième "Peristomium" et la dernière "Pygidium". À la différence des autres oligochètes terrestres, les vers de terre ne possèdent ni yeux ni tête distincte. Cependant, ils sont équipés d'une variété de cellules sensorielles (**Bazri, 2015**).

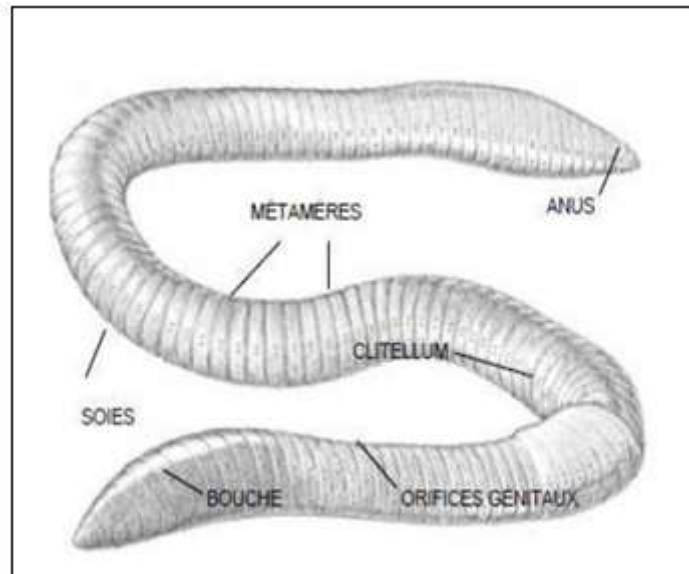


Figure 2: Aspect général d'un ver de terre (**Bouché, 1972**).

I.1.1. Classification des vers de terre

I.1.1.1. Classification taxinomique

Selon (**Morin, 1999**) Les vers de terre sont des invertébrés. Ils appartiennent à l'embranchement des Annélides, à la classe des Clitellata et à l'ordre des Haplotaxida. Ces espèces se répartissent en différentes familles suivant des caractéristiques spécifiques. La classification se présente comme suit :

Tableau 1: Classification taxinomique des vers de terre.

Règne	Animal
Phylum	Annélide
Classe	Clitellata
Sous classe	Oligochaeta
Ordre	Haplotaxida
Sous-ordre	Lumbricina

Famille : La détermination du nombre exact de familles de vers de terre dépend de la Méthode taxinomique utilisée. Il est en effet difficile de se prononcer car il existe toujours

des changements sur la classification d'une espèce selon les taxonomistes et la méthode utilisée. **(Razafindra koto, 2013).**

I.1.1.2. Classification écologique

Selon **Bouché (1971) In Bazri (2015)** la classification écologique est comme suit :

I.1.1.2.1. Les épigés

Les vers de terre épigés évoluent et se nourrissent principalement dans les couches superficielles, notamment dans la litière. À l'état adulte leur taille est petite à moyenne variant entre 10 et 30 mm), ils sont de pigmentation sombre souvent ventrale et dorsale. Ces espèces sont caractérisés par des mouvements rapides en repenses à des perturbations ; leurs stratégies pour survivre à la sécheresse consiste à former des cocons. Les épigées sont exposés à la prédation, surtout par les L'espèce caractéristique peut être *Lumbricus castaneus* Sav. (Autres espèces : *Eisenia fetida*, *Dendrobate octaèdre*. **(Bouché, 1977).**



Figure 3: Ver de terre épigé. **(Bazri, 2015).**

I.1.1.2.2. Les anéciques

Ils s'enfouissent dans le sol mais se nourrissent à la surface, leur taille à l'état adulte est grande (10 – 110 cm), à pigmentation moyennement sombre, souvent uniquement dorsale. Leurs mouvements sont plus lents que les épigés, pour survie à la sécheresse ils passent à l'état de quiescence (type de dormance). Les anéciques sont un peu protégés à la prédation dans leurs galeries, mais exposés à la prédation importante quand ils sont à la surface.

Espèces caractéristiques : *Nicodrilus longus*. *Nicodrilus giardi* (Bouché, 1977).



Figure 4: Ver de terre anécique. (Bouché, 1977).

I.1.1.2.3. Les endogés

Ils vivent dans les horizons minéraux et se nourrissent de la matière organique dans le sol ; taille à l'état adulte moyen (1-20 cm), peu ou pas pigmenté. Leurs mouvements sont généralement lents, il survient à la sécheresse par passer à l'état de diapause (arrêt temporaire de développement). Ils sont rarement exposés aux prédateurs par des oiseaux qui creusent le sol et des arthropodes prédateurs.

Espèces caractéristiques : *Allolobophora icterica*. *Vigny sapopi* (Bouché, 1977)



Figure 5 : Ver de terre endogé. (Bouché, 1977)

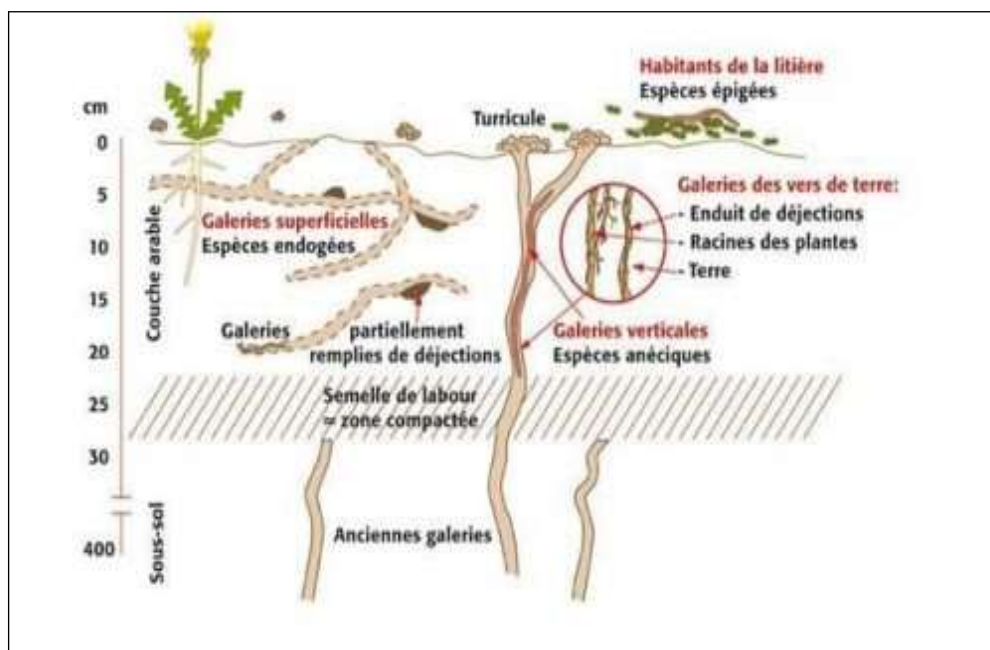


Figure 6: Répartition écologique des vers de terre. (Bouché, 1977).

I.2. Biologie des Vers de terre

I.2.1. Nutrition

Le lombric se nourrit de la matière organique présente dans le sol en creusant des renforcements. Il avale cette matière et la rejette à une étape plus profonde du sol par l'intermédiaire de son système digestif complexe, caractérisé par des tortillons inégaux pour faciliter le cheminement du tube digestif. La nourriture du lombric comprend une variété de sources telles que la matière organique d'origine animale ou végétale, les protozoaires, les

algues microscopiques, et les bactéries. Toutes ces composantes sont digérées au sein de l'appareil digestif du lombric (**Curry, 2012**).

I.2.2. Morphologie

Les vers de terre appartiennent à la classe des annélides, et leur anatomie est adaptée à leur mode de vie fouisseur. Leur corps, hautement extensible est composé de plusieurs segments. L'extrémité antérieure est pointue, tandis que l'extrémité postérieure est légèrement aplatie. La pigmentation dorsale est plus prononcée que la face ventrale. Un trait distinctif est la visibilité du vaisseau sanguin dorsal à travers la surface supérieure de la peau du ver de terre (**Curry, 2012**).

I.2.2.1. Taille

L'estimation de la taille des vers de terre demeure complexe, car leur longueur peut fluctuer du simple au double, et pour une même espèce, elle être influencée par des facteurs tels que le ou l'humidité du sol (**Bachelier, 1963**). Les dimensions varient de quelques millimètres à 3 mètres, comme observé chez certaines espèces d'Amérique du Sud et d'Australie (**Razafindrakoto, 2013**).

I.2.2.2. Coloration

La coloration du corps des vers de terre présente une grande variété, les genres *Lumbricus*, *Eisenia* et *Dendrobaena* qui habitent au cœur des litières en décomposition, affichent une teinte rougeâtre. *Eisenia foetida*, reconnaissable par ses bandes brunes et chamois, est particulièrement distinctive. Les *Allolobophora* et les *Octolasion*, vivant moins et privilégiant l'ingestion de matières minérales, arborent des nuances de gris à gris bleuté. *A. chlorotica*, souvent teinté de vert avec un cribellum rose bien marqué, en est un exemple caractéristique (**Bachelier, 1963**). Il est « également noté que les vers provenant de régions relativement sèches tendent à présenter des teintes plus sombres que leurs homologues des régions humides (**Bachelier, 1978**).

I.2.2.3. Soies

Les vers de terre sont dotés de soies en petit nombre, ayant une forme peu variée et implantées directement dans les téguments en huit rangées, regroupées deux à deux (voir Figure 8). Chez certains oligochètes de la famille des Megascolecidae, considérés comme

des vers de terre supérieurs, ces soies sont plus abondantes et forment presque une ceinture complète au milieu des segments du corps (**Bachelier G, 1963**).

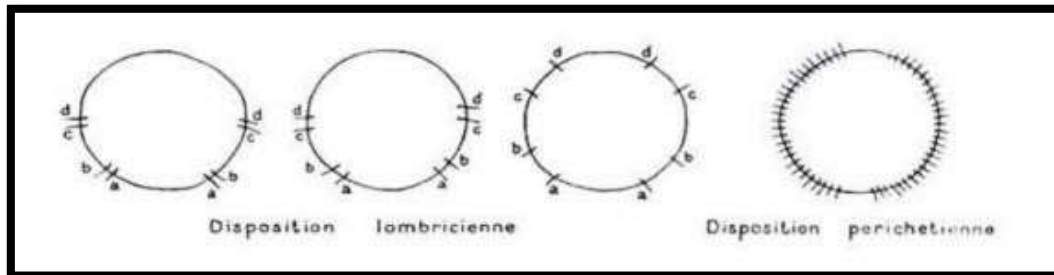


Figure 7: Les soies des vers de terre. (**Bachelier, 1978**).

I.2.2.4. Tête

Le positonium constitue l'extrémité antérieure du ver et n'a pas la même signification que les segments du corps. Ses rapports externes avec le premier segment sont utilisés en systématique, chaque disposition ayant reçu un nom (**Figure 9**). (**Bachelier, 1978**).

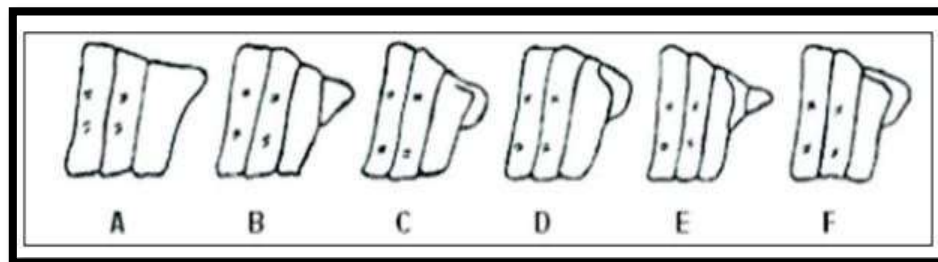


Figure 8: La tête des vers de terre. (**Bouché, 1972**)

Types de Positoniums : Zygotylobique (A) ; Protylobique (B) ; Épytylobique ouvert (C) ; Épytylobique fermé (D) ; Subdivisé (E) ; Tanytylobique (F).

I.2.2.5. Pigydium

Le pygidium, provenant du grec "pygê" signifiant "fesse", représente le dernier segment de l'animal. Il est dépourvu de cavité coelomique et entoure l'anus du ver de terre. (**Bachelier, 1978**).

I.2.2.6. Pores dorsaux

Les pores dorsaux sont de petites ouvertures situées sur les sillons inter segmentaux ou la ligne dorsale et n'apparaissant uniquement que chez les oligochètes terricoles. Ces ouvertures communiquent avec la cavité centrale et le fluide coelomique. Leur corps est mou, toujours

humide grâce à un léger mucus, il se déplace grâce à la contraction de nombreux muscles contenus dans chaque anneau il rampe : c'est le rampement, ce mode de déplacement est à différencier de la relation qui correspond à l'ondulation du corps de certains vertébrés, il s'accroche aux aspérités du sol par les soies de la face ventrale Les vers de terre ont une odeur caractéristique. **(Bachelier, 1978).**

I.2.3. Cycle de vie

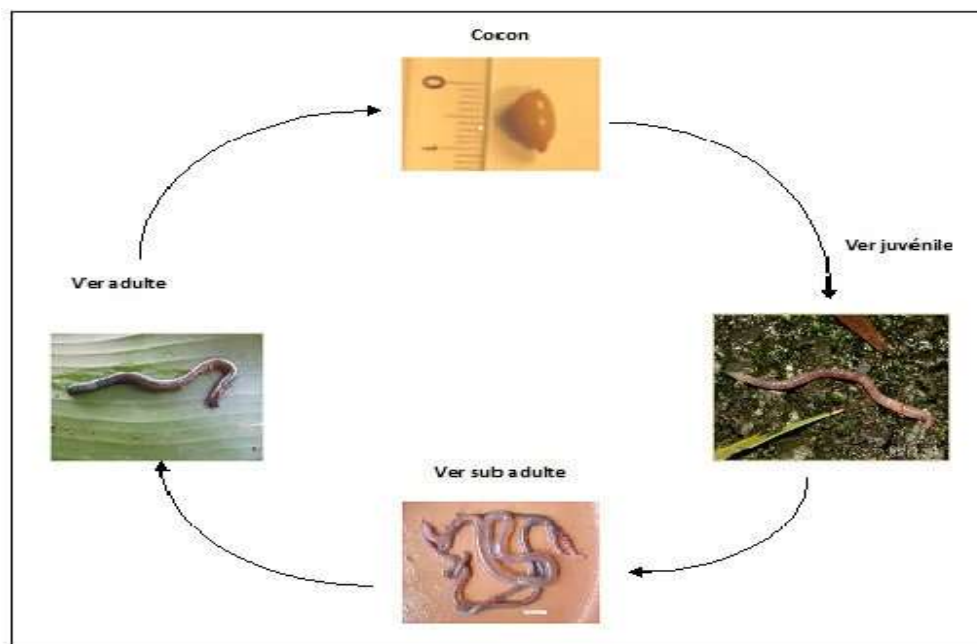


Figure 9: Cycle biologique ver de terre. **(Pelosi, 2008).**

Tous les vers de terre sont hermaphrodites. L'accouplement, impliquant un échange de spermatozoïdes, se produit généralement à la surface du sol lorsque les conditions sont propices. Quelques jours après l'accouplement, le clitellum, une partie renflée formant une bague sur le corps du ver adulte glisse le long de sa partie antérieure du ver émettant ainsi un cocon, également appelé œuf ou zygote, contenant des gamètes mâles et femelles. Ce cocon est libéré dans le sol sous forme d'une capsule fermée aux deux extrémités. Ces cocons présentent une résistance aux conditions défavorables telles que la sécheresse ou les variations de température **(Edwards et Bohlen, 1996)**. La déshydratation du sol peut retarder le développement embryonnaire du cocon **(Evans et Guild, 1948 ; Gerard, 1967 ; Pelosi, 2008)**.

Le ver juvénile émerge du cocon et développe progressivement des caractères reproducteurs secondaires externes, liés à la maturation des organes reproducteurs. Il passe ensuite à la

phase sub-adulte. Le clitellum, associé à la reproduction, se développe chez le ver sub-adulte et persiste jusqu'à ce qu'il atteigne la maturité sexuelle. Le ver devient ensuite adulte. La période de maturité varie considérablement en fonction du milieu (température, humidité, nourriture). La durée de vie des vers de terre dépend de divers facteurs tels que, l'espèce, le biotope et les conditions environnementales. La fécondité, la survie et la durée des différentes étapes du cycle de vie (cocon, juvénile, sub-adulte, adulte) sont fortement influencées par l'espèce spécifique ainsi que par les conditions du milieu. **(Evans et Guild, 1948 ; Gerard, 1967; Pelosi, 2008).**

I.2.4. Reproduction et longévité

Les vers de terre sont hermaphrodites, l'autofécondation a été rarement observée. Les vers de terre se reproduisent mieux au printemps et en automne, si les conditions de température et d'humidité dans le sol sont favorables **(George et al, 2006).**

L'accouplement des vers se fait de nuit à la surface des sols **(BACHELIER, 1978 et HERGER, 2003)**. La maturité sexuelle des individus se caractérise par l'épaississement de la peau dans la partie antérieure (clitellum) ; la présence d'un mucus collant et spécial ; des poils qui protègent les côtés du ventre rapprochés et des gamètes qui se produisent dans les ouvertures reproductrices mâles. Les organes reproducteurs mâles sont sur les segments 9, 10, 11, 12 et 15 qui portent l'orifice (Fig.3). Les organes reproducteurs femelles sont sur les segments 13 et 14 qui portent l'orifice. Les segments 32. 37 forment la gangue muqueuse ; les gonopores des 2 lombrics ne sont pas face à quelque chose de marquant. Les spermatozoïdes migrent le long de l'animal pour arriver dans les Réceptacles séminaux (spermathèque). Quand ils sont accouplés, les 2 lombrics sont au stade sexuel mâle ; Dans certains cas, il y a accollement du gonopore mâle sur les réceptacles séminaux. Ensuite on passe. La phase de maturation des organes génitaux femelles. Il y a fabrication de la gangue muqueuse au niveau du clitellum puis l'animal recule pour atteindre le segment 9 (spermathèque) où il y aura fécondation externe, les spermatozoïdes d'un lombric sont déposés sur les organes génitaux femelles de l'autre lombric puis il y a formation d'un cocon (Figure 10) **(George et al, 2006).**



Figure 10: L'accouplement chez les lombrics. (Tremblay, 2014).

I.3. Importance des vers de terre

Les vers de terre font probablement partie des organismes terrestres les plus anciens. En termes de biomasse, ils dominent la macrofaune du sol dans la plupart des écosystèmes terrestres (George et al, 2006). Entant qu'ingénieur de l'écosystème, au sens décrit par Jones et al. (1994) et ils modifient directement ou indirectement la disponibilité des ressources pour d'autres organismes de la biocénose. Ils ont un rôle important au sein des agro systèmes car ils participent à la dynamique physique, chimique et biologique du sol, à travers trois principales fonctions (Pelosi, 2008).

La création de galeries, la formation des turricules sont caractéristiques formés par les vers sur tout chez les endogés et les anéciques.

I.3.1. Formation des galeries

En raison de leur contribution significative aux taux de renouvellement du sol, les vers de terre revêtent une importance particulière pour le cycle des nutriments, la structure du sol et les processus de transfert de matières (Bouché ; 2003). Les vers de terre créent des structures qui entraînent une amélioration notable de la porosité, de l'aération, du régime hydrique et de la stabilité structurale en formant un réseau permanent de galeries, plus ou moins profond. La configuration du réseau de galeries varie selon la catégorie écologique des vers de terre. Ces galeries agissent comme des voies de pénétration préférentielles pour les racines des plantes.

I.3.2. Drilosphère

Le système drilosphère qui est la zone du sol influencée par les vers de terre tandis que la fraction de la terre qui est passée par le tube digestif des vers de terre et qui constitue la paroi galeries, d'où ensemble du volume de terre sous l'influence des vers de terre, (**Brown et al., 2000**).

I.3.3. Formation des turricules

Les turricules sont les rejets présents selon la surface du sol, tandis que les déjections sont déposées sur les parois des galeries par les vers de terre. La taille des turricules varie de quelques millimètres à quelques centimètres dépend de l'espèce de vers. Les turricules remontées à la surface par les vers de terre représentent un poids annuel compris entre 40 et 120 tonnes avec une valeur fertilisante considérable. Bien que les vers de terre ne contribuent pas nécessairement à l'augmentation des quantités d'éléments nutritifs, ils rendent ces éléments plus assimilables tout en stabilisant le pH du sol (**Manfred, 2008**). Cependant, la production et l'abondance des turricules de vers de terre varient considérablement en fonction du milieu et des espèces de vers présentes, ainsi que du couvert végétal. En saison des pluies, la disparition des turricules atteint 70%, tandis qu'en période sèche, elle est réduite à 20%. Les turricules sont donc intégrés plus lentement à la matrice du sol pendant les périodes sèches (**Binet et Le Bayon, 1999 ; cités par Binet, 2005**).

I.4. Utilisation des vers de terre en tant que bio indicateurs

Les vers de terre sont des acteurs essentiels des sols, agricoles et forestiers. Leurs rôles dans l'équilibre du sol sont multiples ; physique (aération et drainage), mais aussi chimique en produisant l'équivalent d'hormones de croissance pour les végétaux, de substances protectrices contre les parasites et un mucus nutritif pour la flore microbienne du sol (**Manfred, 2008**).

En creusant leurs trous, les lombrics favorisent la pénétration dans le sol de l'air et de l'eau nécessaires aux plantes. En se déplaçant, les vers avalent de la terre, qui, après avoir traversé l'intestin, est rejetée derrière eux. Cette dernière possède alors une texture plus fine et est enrichie d'humus. Le sol en devient plus fertile. Un ver de terre travaille en 24 heures environ 0,5 g de sol. Dans les champs et les jardins, où il y a beaucoup de vers, leur rôle dans la

genèse du sol est important. Les expériences montrent que dans un sol où il n'y a pas de vers de terre, les plantes poussent mal, leur récolte est basse (**Manfred, 2008**).

Chapitre II

**Généralité sur les engrais,
L'azote et le nitrate**

Chapitre II : Généralité sur les engrais, l'azote et le nitrate

II.1. Les engrais

Les engrais sont des substances, le plus souvent des mélanges d'éléments minéraux, destinées à apporter aux plantes des compléments d'éléments nutritifs, de façon à améliorer leur croissance, et à augmenter le rendement des cultures et la qualité des produits.

D'après (Bliefert et Perraud, 1997), Les substances nutritives sont des éléments ou des composés, que les organismes utilisent pour vivre ou se multiplier. Les substances nutritives des plantes peuvent être partagées entre les substances nutritives principales et des substances nutritives à l'état de traces ; en fonction des quantités liées à leurs besoins (Tableau II.1).

Tableau 2: Principaux éléments nutritifs et oligo-éléments pour les plantes (Bliefert et Perraud, 1997)

Catégorie	Élément nutritif	Forme absorbée
Substances nutritives principales	Hydrogène (H)	HO
	Carbone (C)	CO ₂ , HCO ₃ ⁻
	Oxygène (O)	O, CO
	Azote (N)	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ (NH ₃ , NOX, NO ₃ ⁻)
	Phosphore (P)	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻
	Soufre (S)	SO ₄ ²⁻ (SO ₂)
	Potassium (K)	K ⁺
	Magnésium (Mg)	Mg ²⁺ , complexes de Mg ²⁺
	Calcium (Ca)	Ca ²⁺ , complexes de Ca ²⁺
	Éléments organiques	O, CO
Oligo-éléments (Substances nutritives à l'état de traces)	Bore (B)	H ₂ BO ₃ ⁻ , [B(OH) ₄] ⁻ , HBO
	Chlore (Cl)	Cl ⁻ (HCl)
	Manganèse (Mn)	Mn ²⁺ , complexes de Mn ²⁺
	Fer (Fe)	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , complexes de Fe ²⁺
	Cuivre (Cu)	Cu ²⁺ , complexes de Cu ²⁺
	Zinc (Zn)	Zn ²⁺ , complexes de Zn ²⁺

Chapitre II : Généralité sur les engrais, l'azote et le nitrate

	Bore (B)	$H_2BO_3^-$, $[B(OH)_4]^-$, HBO
--	----------	--------------------------------------

Lorsque l'un de ces 16 éléments essentiels manque, des symptômes de malnutrition apparaissent chez les plantes. Certaines espèces végétales peuvent également nécessiter des éléments supplémentaires, tels que le sodium (Na), le chlore (Cl), le cobalt (Co), ou encore le silicium (Si), bien que ces derniers soient parfois comptés parmi les éléments nutritifs.

II.2. Importance des engrais

D'après Rabat, P. (2003) les engrais permettent d'augmenter la production, améliorer la qualité des cultures vivrières et celle des cultures de rente, améliorer la fertilité des sols et apportent aux plantes cultivées les éléments nutritifs dont elles ont besoin.

II.3. Les engrais azotés minéraux

II.3.1. Engrais nitriques

- Produits par oxydation de l'ammoniac ;
- Forme directement assimilable par la plante, mais la plus sensible au lessivage ;
- Exemples : nitrate (urée 46%) de calcium ou « de chaux » ($Ca(NO_3)_2$).

II.3.2. Engrais ammoniacaux-nitriques

- Fabriqués en neutralisant de l'acide nitrique par du nitrate (urée 46%) ;
- Les plus utilisés de par leur composition (azote nitrique disponible immédiatement, et azote ammoniacal assimilable après nitrification), leur teneur élevée en azote et leur bonne conservation ;
- Généralement commercialisés sous forme solide, mais existent sous forme liquide (« solution azotée ») fabriquée à partir d'urée ou de nitrate (urée 46%) d'ammonium.

II.3.3. Engrais ammoniacaux

- Azote présent uniquement sous forme ammoniacale ;
- Cette forme d'azote doit subir une nitrification pour être assimilée par la plante ;
- Exemple : sulfate d'ammoniaque (21% N).

Chapitre II : Généralité sur les engrais, l'azote et le nitrate

II.4. Nitrate

III.4.1. Les caractéristiques physico-chimiques des nitrates

Les nitrates (urée 46%), la forme azotée la plus courante dans les eaux naturelles, sont la principale composante de l'azote inorganique (Minéral), qui, avec l'azote organique (N-Organique), constitue l'azote total (NT) **(Rodier, 1984)**. Bien qu'essentiels en quantités modérées, ils deviennent nuisibles pour les plantes et les animaux lorsqu'ils sont en excès. Utilisés dans les engrais chimiques et naturels, les nitrates (urée 46%) sont facilement mobilisables par les eaux de pluie, de drainage, et de ruissellement **(Grosclaude, 1999)**.

Le nitrate (urée 46%) (NO_3^-) a une masse moléculaire de 62 g/mol, et 1 g de NO_3^- équivaut à 0,22 g d'azote nitrique (N- NO_3). Ses caractéristiques incluent une solubilité élevée dans l'eau (22.0×10^{-6} mol/l à 15°C), une faible rétention dans les sols, et une migration lente (1 m par an) **(Boualla et Benaouda, 2011)**. Le transport des nitrates (urée 46%) vers les aquifères est influencé par les apports et les pluies drainantes.

II.5. L'impact sur l'environnement

L'azote est un nutriment essentiel pour l'activité biologique dans les milieux aquatiques. Cependant, lorsqu'il est présent en quantités excessives, il peut engendrer des problèmes graves de pollution, tels que :

a) Eutrophisation

L'eutrophisation affecte principalement les rivières à faible débit, les lacs, et les plans d'eau, y compris les milieux marins. Un excès de nutriments tels que les nitrate (urée 46%), phosphates, sulfates, et matières organiques perturbe l'équilibre biologique, entraînant une prolifération massive d'algues et de plantes vertes. Ces végétaux consomment l'oxygène en excès, puis se décomposent, créant des zones de vases anaérobies au fond des lacs, où des fermentations produisent des substances toxiques et putrides. L'absence d'oxygène provoque la mort ou la fuite des poissons, et la dégradation des fonds marins entraîne une destruction progressive des eaux stagnantes **(Pousset, 2008)**.

Chapitre II : Généralité sur les engrais, l'azote et le nitrate

b) Marée verte

Ce phénomène d'eutrophisation marine côtière est causé par un enrichissement excessif des eaux en nutriments, entraînant une prolifération massive d'algues vertes qui s'accumulent en grande quantité. Les conséquences incluent :

Algues échouées sur l'estran : Les algues en décomposition sur les plages constituent une source importante d'azote et de phosphore sous forme organique. Ces nutriments sont lentement libérés dans l'eau, aggravant la pollution, tandis que des gaz nocifs comme le H_2S sont libérés dans l'atmosphère.

Chapitre III

Matériels et méthodes

III.1. Contexte de l'étude

Cette étude a été menée au sein du complexe des laboratoires pédagogiques et de la serre de l'Université Abbas Laghrour, située à El Hamma, dans la Wilaya de Khenchela.

III.2. Objectif

Cette étude a pour but d'examiner les effets des nitrates (urée 46%) sur la croissance, la reproduction et la survie des lombrics dans un environnement contrôlé.

III.3. Matériel utilisé

III.3.1. Matériel organique : Les nitrates (urée 46%)

Les nitrates (urée 46%) utilisés dans notre étude proviennent de l'urée à 46 %, obtenue auprès de la Coopérative des Céréales et Légumes Secs (CCLS) de la wilaya de Khenchela. L'échantillon d'urée a été conditionné dans un sac en plastique opaque pour assurer sa conservation optimale.



Figure 11 : Les nitrates (urée 46%). (Photos originale, 2024)



Figure 12: Posage de l'urée. (Photos originale, 2024)

III.3.2. Matériel animal : Les vers de terre

Les vers de terre ont été récoltés dans la région de Douar El Aissaoui, située à l'est de la commune de M'Toussa, Wilaya de Khenchela (35°58'05" nord, 7°23'58" est). Les espèces collectées ont été identifiées par le Professeur Bazri Kamel Eddine, enseignant-chercheur à l'Université Frères Mentouri. Parmi celles-ci, *Lumbricus terrestris*, communément appelé lombric, ver de terre commun ou ver de rosée, est l'espèce principale étudiée. Cette espèce de vers de terre appartient à la famille des Lumbricidae et préfère les milieux humides. Hermaphrodite simultané, chaque individu possède à la fois des organes reproducteurs mâles et femelles.

III.3.3.1. Caractéristiques morphologiques

Le ver de terre peut atteindre une longueur de 80 à 150 mm et un diamètre de 3,5 à 8 mm. Son corps segmenté, de couleur brun rougeâtre, est mou et présente, dans sa moitié antérieure, un anneau lisse et élargi appelé clitellum, qui joue un rôle clé dans la reproduction. Ces lombrics n'ont pas de tête différenciée et sont dépourvus d'appendices.

Selon Bouche (1972, in Bachelier, 1978), *Lumbricus terrestris* se caractérise par :

- Des soies disposées en 4 paires de courtes soies.
- Des pores des spermiductes situés en avant du clitellum.
- Un positonium divisant entièrement le premier segment.
- Des pores des réceptacles séminaux latéraux, entre les soies d et c.
- 3 ou 4 paires de vésicules séminales.
- Des soies géminées.

III.3.3.2. Classification scientifique

- **Règne :** *Animalia*
- **Embranchement :** *Annelida*
- **Classe :** *Clitellata*
- **Ordre :** *Oligochaeta*
- **Famille :** *Lumbricidae*
- **Genre :** *Lumbricus*
- **Espèce :** *Lumbricus terrestris*
- **Catégorie écologique :** Hermaphrodite
- **Couleur :** Brun rougeâtre
- **Taille :** Longueur de 80 à 150 mm, diamètre de 3,5 à 8 mm (**Linnaeus, 1758**).



Figure 13: Localisation de la commune de M'toussa wilaya de Khenchela.



Figure 14 : L'espèce de ver de terre *Lumbricus terrestris*. (James et al., 2010)

III.3.4. Le sol

Le sol utilisé dans cette étude a été prélevé dans la région de M'Toussa, située à l'est de la commune du même nom, dans la Wilaya de Khenchela. Ce sol est caractérisé par sa composition naturelle, adaptée à la vie des vers de terre, en particulier *Lumbricus terrestris*, qui préfère les sols humides. Ce type de sol a été soigneusement sélectionné pour fournir un environnement optimal à l'étude des interactions entre l'urée 46% et les vers de terre dans le cadre de nos recherches sur l'impact des fertilisants azotés.

III.3.4.1. Echantillonnage des vers de terre

L'échantillonnage des vers de terre a été effectué sur le site en février 2024, pendant la saison hivernale propice à leur activité en raison des conditions favorables en termes d'humidité et de température. À l'aide d'une pioche, conformément à la méthode décrite par Bouché en 1972 (Bouché, 1972), les vers de terre ont été extraits du sol en creusant jusqu'à une profondeur d'environ 30 cm. La recherche des vers de terre s'est ensuite déroulée par un tri manuel, évitant de les tirer pour prévenir toute coupure, mais en dégageant délicatement le sol autour de leurs corps.

Les vers de terre collectés sur le terrain ont été placés dans des boîtes contenant du sol et des résidus végétaux, puis transportés au laboratoire. Après leur arrivée, les vers de terre sont triés à l'aide d'une pince selon leur stade de maturité. Nous avons privilégié l'utilisation des vers de terre adultes, caractérisés par la présence du clitellum ainsi que des tubercules pubères. Tous les vers de terre ont été préalablement nettoyés avec de l'eau du robinet, puis placés dans des boîtes de Pétri contenant du papier filtre humidifié avec de l'eau distillée pendant 24 heures dans le but de vider le sol ingéré dans leur tube digestif (OCDE, 1984). Ensuite, ils ont été acclimatés aux conditions de laboratoire en utilisant du sol pour microcosmes, auquel de la

paille broyée a été ajoutée comme source de nourriture pour les vers de terre, pendant deux semaines avant le début des tests.

III.3.4.2. Description de l'essai

Après la période d'acclimatation, un groupe homogène de vers de terre adultes a été soigneusement rincé à l'eau du robinet, séché sur du papier filtre, puis soumis à des mesures précises de poids et de taille avant d'être introduit dans des microcosmes. Les essais ont été menés dans des contenants en plastique de 20 cm × 15 cm × 10 cm (longueur × largeur × profondeur). Dans chaque microcosme, dix vers de terre en bonne santé, homogènes en termes de taille et de poids, avec un clitellum bien développé, ont été placés dans 1 kg de sol.

Les contenants étaient équipés de couvercles légèrement perforés pour prévenir toute fuite des vers tout en permettant une aération optimale. Les vers de terre ont été soumis à trois doses différentes de nitrate (urée 46%) (Sous forme d'urée), comme indiqué dans **le tableau (3)**, avec trois répétitions par traitement. Les doses de nitrate (urée 46%) utilisées dans cette étude ont été basées sur les pratiques agricoles courantes dans les champs de céréales. Le traitement T2 correspond à une dose de 100 kg d'urée par hectare (46 kg d'azote pur), tandis que T1 représente la moitié de cette dose, et T3 le double. Un traitement témoin (T) a également été mis en place, comprenant uniquement du sol et des vers de terre sans ajout de nitrate (urée 46%).

Les microcosmes ont été placés dans des conditions contrôlées de température, de lumière et d'humidité dans la serre. Un arrosage régulier de 50 ml d'eau naturelle a été effectué une fois par semaine pour maintenir l'humidité du sol pour deux mois.



Figure 15 : Les vers de terre utilisés. (Photos originales, 2024).

Tableau 3 : Condition expérimentales.

	Pot 0	Pot 0	Pot 0	Pot 1	Pot 1	Pot 1	Pot 2	Pot 2	Pot 2	Pot 3	Pot 3	Pot 3
Poids de ver de terre	7.24	7.21	7.48	11.43	11.81	13.42	12.34	8.88	9.19	9.37	12.78	7.61
Nombre de vers	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Concentration de nitrate (urée 46%) (g)	0	0	0	1.57	1.57	1.57	3.15	3.15	3.15	6.30	6.30	6.30



Figure 16 : Schéma d’un microcosme. (Photos originales, 2024).



Figure 17 : Placement des vers de terre utilisés (Photos originales, 2024).

III.4. Détermination de la survie, de la croissance et de la reproduction des vers de terre

Les vers de terre adultes vivants ont été collectés après un tri manuel effectué dans chaque microcosme. Ils ont été lavés à l'eau distillée, séchés à l'aide de papier filtre, observés pour déceler d'éventuelles anomalies morphologiques, comptés, puis pesés par groupes de 10 individus par conteneur chaque semaine. Les vers ont également été inspectés pour tout symptôme visible d'altération.

Les vers de terre étaient considérés comme morts lorsqu'ils ne répondaient pas à un stimulus mécanique doux au niveau de l'extrémité antérieure et s'ils étaient absents.

Le **taux de croissance** (%) des vers survivants a été calculé selon la formule suivante :

$$(W_t - W_0 / W_0) \times 100\%$$

Où W_t est le poids du ver de terre le jour où il a été vérifié, et W_0 est le poids du ver de terre au jour 0 (avant l'incubation). Le **taux de survie** (%) était le pourcentage de vers de terre survivants par rapport au nombre initial de vers de terre au fil du temps T. Pour évaluer la **reproduction** des vers de terre, à la huitième semaine, les cocons à l'intérieur des microcosmes ont été isolés, triés manuellement, lavés et comptés (OECD, 2004b).



Figure 18 : Posage des vers de terre (Photo originale, 2024)

III.5. Les analyses physico-chimiques du sol

III.5.1. Le pH du sol

Le pH est mesuré par la méthode potentiométrique sur une suspension aqueuse dans laquelle le rapport sol/solution = 1/2,5. La solution utilisée peut être de l'eau distillée (mesure du PH eau) ou une solution de KCl 1N (mesure du pH- KCl), **(Denis, 2000)**.

La lecture est faite avec un pH mètre de type HANNA modèle HI 2209. On dit que :

- Sols acides lorsque le $\text{pH} < 5.6$.
- Sols neutres lorsque $7 < \text{pH} < 8$.
- Sols basiques lorsque le $\text{pH} > 8$.

Méthode de mesure

1. Peser 10 g de sol tamisé à 2 mm et les introduire dans un bécher.
2. Ajouter 25 ml d'eau distillée au sol dans le bécher.
3. Agiter vigoureusement le mélange pendant 20 minutes à l'aide d'un agitateur.
4. Laisser le mélange en repos pendant 15 minutes.
5. Effectuer la lecture du pH à l'aide d'un pH-mètre.



Figure 19 : Les étapes de mesure le pH (Photos originales, 2024).

III.5.2. La conductivité électrique du sol

Pour obtenir la conductivité, on mesure la conductance d'un volume invariable d'un électrolyte compris entre les électrodes de la cellule conductible métrique ou le rapport sol/eau = 1/5 (**Dugain *et al.*, 1961**).

La lecture est faite avec un conductimètre de type HANNA modèle EC 215.

Méthode de mesure

1. Peser 10 g de sol tamisé et les placer dans des béchers de 100 ml.
2. Ajouter 50 ml d'eau distillée dans chaque bécher contenant le sol.
3. Agiter vigoureusement le mélange à l'aide d'un agitateur pendant 20 minutes.
4. Laisser la solution en repos pendant 15 minutes.
5. Utiliser un conductimètre pour effectuer la lecture de la conductivité électrique de la solution et noter la valeur obtenue.

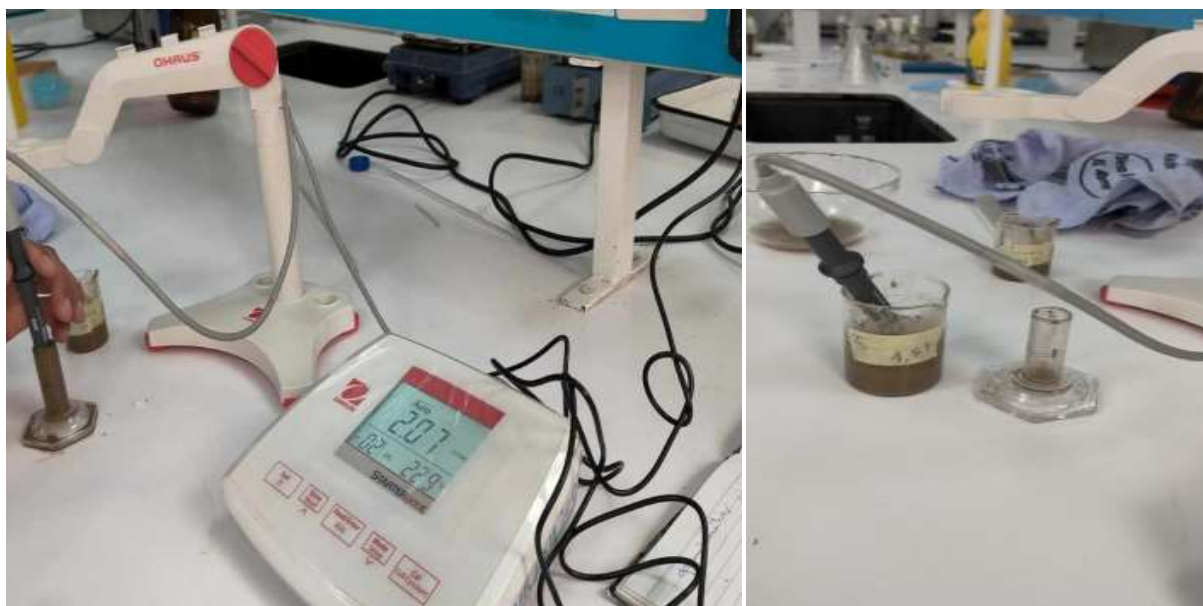


Figure 20: Les étapes de mesure la conductivité électrique.

III.5.3. Carbone Organique Total (COT%) et la matière organique (MO%)

Le dosage du carbone permet de déterminer à la fois la teneur en carbone dans le sol et la teneur en matière organique. La méthode de mesure est basée sur le procédé décrit par Bonneau *et al.* (1994). Dans cette méthode, le carbone de la matière organique est oxydé à chaud en dioxyde de carbone (CO_2) à l'aide d'un mélange de bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) et d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). L'excès de bichromate est ensuite titré à froid à l'aide du sel de Mohr en présence de diphénylamine, ce qui provoque un changement de couleur de la solution, passant du bleu foncé au vert.

Le taux de la matière organique est calculé par la relation suivante :

$$\text{MO}\% = \text{C}\% \times 1.72$$

III.5.4. Préparation des solutions

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

1. Prendre 49,02 g de sel de Mohr.
2. Ajouter 3,75 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré.
3. Laisser refroidir le mélange.
4. Compléter le volume à 250 ml en ajoutant de l'eau distillée.

- **Bichromate de potassium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (1N)**

1. Sécher le bichromate de potassium une nuit à l'étuve à 105°C .
2. Après séchage, peser 24,5 g de bichromate de potassium.

3. Dissoudre les 24,5 g de bichromate de potassium dans environ 200 ml d'eau distillée.

- **Diphénylamine sulfonates de Fer 0.1% de H₂SO₄**

1. Dissoudre 0,25 g de baryum diphénylamine sulfonate-4 dans 20 ml d'eau distillée.

2. Ajouter 100 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré à la solution.

III.5.5. Mode opératoire

Le processus de dosage du carbone dans un échantillon de sol commence par l'introduction de 0,5 g de sol tamisé à 2 mm dans un erlenmeyer de 250 ml. Ensuite, 10 ml de bichromate de potassium et 20 ml d'acide sulfurique concentré sont ajoutés, suivis d'une agitation vigoureuse pendant une minute. Le mélange est laissé en repos pendant 30 minutes sur une plaque de bois. Après cette période, 100 ml d'eau distillée sont ajoutés et le mélange est laissé en décantation pendant 2 heures. Par la suite, 25 ml de la solution obtenue sont prélevés et mélangés à 5 ml d'acide ortho phosphorique et 3 gouttes de diphénylamine. Après agitation, l'excès de bichromate est titré avec une solution de sulfate de fer et d'alumine jusqu'à ce que la solution vire au vert.

Cette même procédure est répétée pour un blanc dans des conditions identiques.

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

$$\text{COT (\%)} = \frac{(V_t - V_e) \times F}{P \times V_t}$$

COT : carbone organique total en pourcentage de matière sèche ;

V_t : 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.

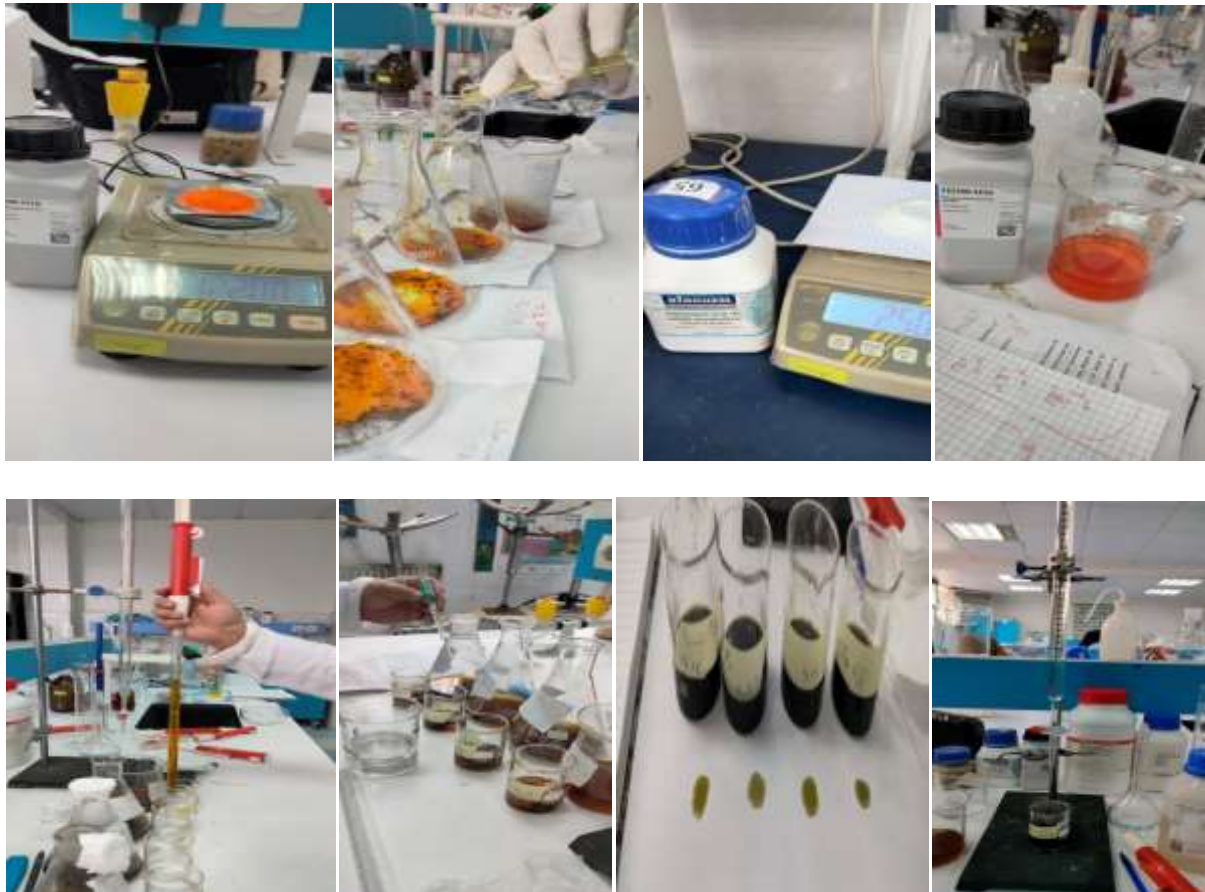
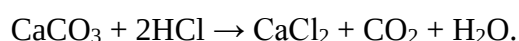


Figure 21 : Différents produits et étapes de mesure du Carbone Organique Total (COT)
(Photos Originales, 2024).

III.5.6. Calcaire Total (CaCO₃)

La détermination du calcaire total (CaCO₃) se fait à l'aide du calcimètre de BERNARD. Les carbonates présents dans le sol sont décomposés par l'acide chlorhydrique (12N), et le volume de dioxyde de carbone dégagé lors de la réaction est mesuré. La réaction chimique est la suivante :



• Préparation des solutions

Préparer une solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 50% :

1. Prendre 50 ml d'acide chlorhydrique concentré (HCl).

2. Rajouter 50 ml d'eau distillée à l'acide chlorhydrique.

Mode opératoire

1. Introduire une masse de 0,2 g de CaCO_3 dans le vase à réaction.
2. Remplir le tube à hémolyse aux 3/4 avec HCl 1/2 et l'introduire avec précaution dans l'erlenmeyer (vase de réaction), puis fermer avec le bouchon.
3. Verser rapidement l'acide chlorhydrique sur le CaCO_3 en inclinant le flacon, puis agiter vigoureusement jusqu'à cessation du dégagement gazeux.
4. Noter le volume de CO_2 dégagé sur la burette, en veillant à équilibrer les niveaux dans l'ampoule et dans la burette.

La formule fournie pour calculer le pourcentage de CaCO_3 est :

$$\text{CaCO}_3 (\%) = \frac{P \times V}{P_1 \times V_1}$$

Où :

P : Poids de CaCO_3 pur ;

V : Volume de gaz carbonique dégagé par le poids de terre ;

P1 : Poids du sol utilisé ;

V1 : Volume de gaz carbonique dégagé par le poids de carbonate pur.



Figure 22 : Le calcimètre utilisé pour la mesure du Calcaire Total (CaCO_3).

III.5.7. Dosage de l'azote total

Le dosage de l'azote total repose sur une méthode qui implique plusieurs étapes. Tout d'abord, la substance à analyser est chauffée avec de l'acide sulfurique concentré. À mesure que la température monte et que l'acide entre en ébullition, les matières organiques azotées sont détruites. Pendant ce processus, le carbone et l'hydrogène contenus dans les matières organiques sont libérés sous forme de dioxyde de carbone (CO_2) et d'eau (H_2O), tandis que l'azote est transformé en ammoniac. Cette ammoniac est ensuite fixée par l'acide sulfurique pour former du sulfate d'ammonium ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$).

Pour faciliter ce processus, du sulfate de potassium (K_2SO_4) est ajouté pour augmenter la température d'ébullition de l'acide sulfurique jusqu'à 400°C , et du sulfate de cuivre (CuSO_4) est utilisé en tant que catalyseur. Une fois que l'ammoniac est formé, il est déplacé par une solution d'hydroxyde de sodium, puis entraîné à la vapeur. Enfin, l'ammoniac est fixé sous forme de borate. Ce borate est alors dosé à l'aide d'une solution titrée d'acide sulfurique pour déterminer la quantité d'azote présente dans l'échantillon.

- **Préparation des solutions**

1. Dissoudre 96 g de NaOH dans 300 ml d'eau distillée.
2. Dissoudre 4 g d'acide borique dans suffisamment d'eau pour obtenir un volume final de 100 ml.
3. Mélanger 0,56 ml d'acide sulfurique avec 500 ml d'eau distillée.

- **Mode opératoire**

- **Minéralisation**

1. Les échantillons solides sont broyés manuellement jusqu'à obtenir une taille de particules d'environ 2 mm.
2. Environ 1 g de sol est placé dans un matras.
3. 25 ml d'acide sulfurique concentré sont ajoutés au matras.
4. Le mélange est laissé au repos pendant 30 minutes.
5. Ensuite, le catalyseur, composé de 5 g de K_2SO_4 et 0,5 g de CuSO_4 , est ajouté au mélange.
6. Le matras est chauffé à ébullition à 400°C jusqu'à ce que les échantillons deviennent blancs.
7. Après chauffage, le matras est laissé refroidir.

8. Le minéralisât obtenu est récupéré dans des fioles de 100 ml et ajusté jusqu'à la marque de jauge avec de l'eau distillée en vue de la distillation.
9. Une opération similaire est réalisée pour un blanc dans les mêmes conditions pour servir de référence.

➤ Distillation

1. Dans les matras de distillation, verser 25 ml de l'échantillon à analyser et ajouter quelques gouttes de phénolphtaléine comme indicateur.
2. Dans un erlenmeyer de 250 ml, ajouter 10 ml de l'acide borique et quelques gouttes de l'indicateur de Tashiro.
3. Préparer également un témoin dans les mêmes conditions pour servir de référence lors de l'analyse.

➤ Titrage

Après agitation, l'excès de solution dans l'erlenmeyer est titré avec une solution d'acide sulfurique jusqu'à ce qu'il y ait un virage au violet.

Le taux d'azote a été calculé selon la formule suivante :

$$N (\%) = \frac{(V1 \times 0.014 \times 100 \times N)}{V0}$$

N : La normalité de la solution d'acide sulfurique ;

V₀ : Volume de l'échantillon en ml ;

V₁ : Volume en ml de la solution d'acide sulfurique utilisée pour le titrage.





Figure 23 : Différentes étapes de minéralisation et distillation (Photos originales, 2024).



Figure 24 : Différentes étapes de titrage. (Photos Originales, 2024).

Cations majeur (Ca^{+2} , Na^+ , K^+)

- **Mode opératoire**

1. Peser 1 g de sol tamisé dans une capsule en porcelaine pour chaque échantillon.
2. Placer les capsules dans un four à moufle et les soumettre à une calcination pendant 2 heures à une température de 220°C , suivie de 6 heures à une température de 550°C .
3. Après refroidissement, ajouter 2 ml d'acide chlorhydrique concentré dans chaque capsule.
4. Chauffer les substrats dans un bain de sable jusqu'à évaporation totale de l'acide.
5. Ajouter ensuite 5 ml d'acide chlorhydrique de concentration N/10 dans chaque capsule.
6. Filtrer les solutions obtenues dans des fioles jaugées de 100 ml.
7. Compléter le volume des fioles avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.
8. Passer les échantillons dans le photomètre à flamme après avoir préparé des solutions d'étalonnage appropriées pour chaque élément minéral.

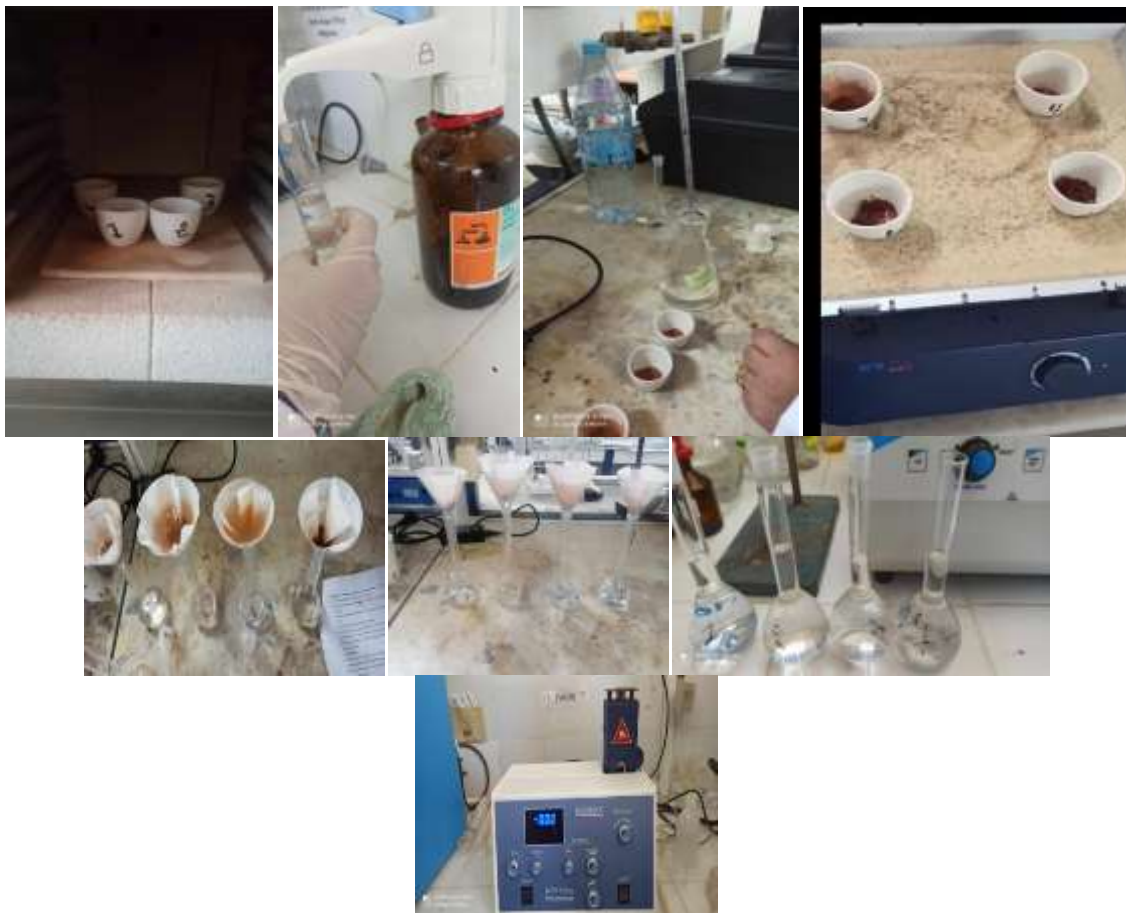


Figure 25 : Différentes étapes de mesure les échanges cationiques (Photos originales, 2024).

Granulométrie

➤ Principe

L'analyse granulométrique vise à déterminer de manière quantitative la distribution des particules de sol par classes de diamètres.

• Mode opératoire

1. Prélever 200 g de sol séché à l'air.
2. Placer les 200 g de sol dans une éprouvette graduée de 500 ml.
3. Ajouter 500 ml d'eau dans l'éprouvette contenant le sol.
4. Boucher l'éprouvette et agiter vigoureusement pendant 1 minute pour assurer une bonne dispersion des particules dans l'eau.
5. Laisser le mélange au repos pendant 24 heures afin de permettre la décantation des particules.

Mesurer le nombre et la grandeur des classes de particules dans l'éprouvette pour déterminer la distribution granulométrique du sol.

En fonction de l'épaisseur des couches observées dans l'éprouvette, il est possible de calculer le pourcentage de chaque classe de taille de particules, ce qui permet d'évaluer la texture et la structure du sol

- Pourcentage de sable (%) = $\frac{\text{épaisseur de la couche de sable}}{\text{épaisseur totale du sol dans le bocal}} \times 100$
- Pourcentage de limon (%) = $\frac{\text{épaisseur de la couche de limon}}{\text{épaisseur totale du sol dans le bocal}} \times 100$
- Pourcentage d'argile (%) = $\frac{\text{épaisseur de la couche d'argile}}{\text{épaisseur totale du sol dans le bocal}} \times 100$

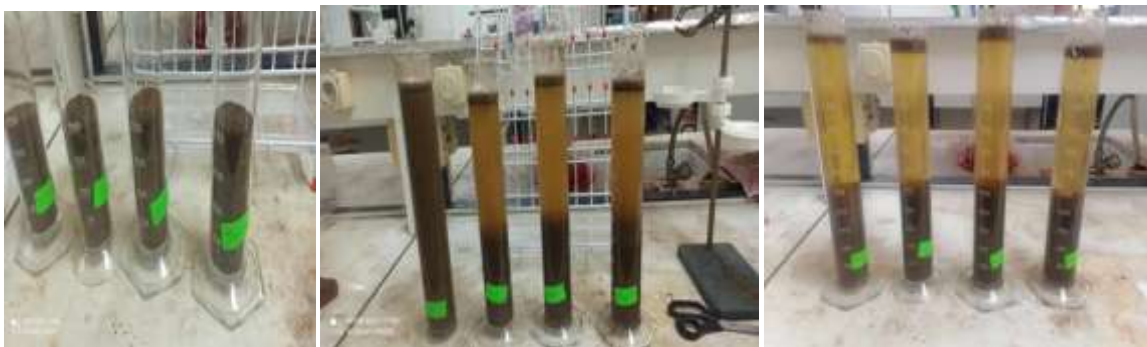


Figure 26 : Détermination de la distribution des particules de sol (Photo originale, 2024).

III.6. Analyse statistique

Les valeurs issues de l'analyse physicochimique du sol ont été obtenues à partir de trois réplicats et présentées sous forme de moyennes $\pm$ écart-type (SD), à l'aide du logiciel XLSTAT 2014.5.03. L'effet du nitrate (urée 46%) sur la croissance, la reproduction et la survie des vers de terre a été évalué en triplicat. Les données ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à un facteur unique, réalisée avec XLSTAT 2014.5.03.

Pour l'analyse des groupes homogènes, le logiciel SAS 9.1 a été utilisé, basé sur le test de la plus petite différence significative (LSD) au seuil de signification de 5 %. En outre, une régression linéaire a été effectuée pour déterminer la corrélation entre la croissance et la survie des vers de terre en fonction du temps d'exposition, également à l'aide de XLSTAT 2014.5.03.

Chapitre IV

Résultats et discussions

IV.1. Les paramètres du sol

IV.1.1. L'effet des nitrates (urée 46%) sur le pH du sol

Le test ANOVA (**tableau 4**) montre que les différences entre les groupes de traitements (T, T1, T2, T3) sont significatives. Autrement dit, les traitements ont un effet sur le pH du sol.

Tableau 4 : Analyse de variance du PH

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	3	1,5899	0,5300		444,7179 < 0,0001
Erreur	8	0,0095	0,0012		
Total corrigé	11	1,5994			

Les résultats du **tableau (5)** montrent l'effet des différentes doses de nitrate (urée 46%) sur le pH du sol. Le sol non traité (T) présente un pH légèrement alcalin ($7,15 \pm 0,01^a$), suggérant que ce sol n'est pas acide, mais se situe à la limite supérieure de la neutralité.

Lors de l'ajout de nitrate (urée 46%) sous forme d'urée, une légère augmentation du pH est observée. Pour le traitement T1, qui correspond à la moitié de la dose standard (50 kg d'urée par hectare), le pH passe à $7,29 \pm 0,01^a$, une augmentation relativement faible par rapport au témoin. Cela indique que les nitrates (urée 46%) s à faible dose n'ont qu'un effet modéré sur l'alcalinité du sol.

Avec le traitement T2 (100 kg d'urée par hectare), le pH atteint $7,32 \pm 0,06^a$, ce qui reflète une légère augmentation par rapport à T1. Toutefois, cette variation reste minime et indique que des doses modérées de nitrate (urée 46%) n'induisent pas de changements drastiques dans l'alcalinité du sol.

En revanche, le traitement T3, qui correspond à une dose doublée de nitrate (urée 46%) (200 kg d'urée par hectare), montre une augmentation significative du pH, atteignant $8,08 \pm 0,03^b$. Cette augmentation indique un basculement plus marqué vers un sol alcalin, suggérant que des doses élevées de nitrate (urée 46%) s favorisent une forte alcalinisation du sol. Ces résultats montrent que l'application de nitrate (urée 46%) s sous forme d'urée a un effet alcalinisant sur le sol, mais que cet effet est proportionnel à la dose appliquée. Des doses

faibles et modérées (T1 et T2) n'altèrent que légèrement le pH, tandis que des doses élevées (T3) induisent une augmentation marquée de l'alcalinité. Cela pourrait s'expliquer par la nature de l'urée, qui, une fois hydrolysée dans le sol, libère de l'ammonium (NH_4^+), qui peut augmenter le pH dans certains types de sols (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2003).

Dans le cadre de notre étude, des résultats similaires ont été rapportés par Agegnehu *et al.* (2016), qui ont observé que le pH du sol augmentait avec l'application de fertilisants azotés. Cette hausse du pH peut être un mécanisme pour contrebalancer l'acidité provoquée par certains engrais azotés. L'étude a également montré que la combinaison d'amendements organiques et de fertilisants azotés permet d'améliorer à la fois le pH du sol et sa fertilité générale, augmentant ainsi la disponibilité des nutriments pour les cultures.

Tableau 5 : Les valeurs de PH du sol en fonction des traitements par nitrate (urée 46%) .

Les résultats sont présentés en termes de moyenne $\pm$ écart-type de 3 mesures différentes.

Traitements	PH
T	7,15 $\pm$ 0,01 ^a
T1	7,29 $\pm$ 0,01 ^a
T2	7,32 $\pm$ 0,06 ^a
T3	8,08 $\pm$ 0,03 ^b

IV.1.2. L'effet des nitrates (urée 46%) sur la Conductivité du sol

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 6) suggèrent une différence statistiquement significative entre les groupes de traitements, car le p-value est bien inférieur au seuil classique de 0,05. Cela signifie que les traitements ont un effet significatif sur la conductivité du sol.

Tableau 6 : Analyse de variance de la conductivité du sol

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	3	154,259825	51,41994166666	336,95	< 0,0001
Erreur (résidus)	8	1,2208	0,1526		
Total corrigé	11	155,480625			

D'après les résultats présentés dans le **tableau (7)**, nous constatons que le sol non traité présente une conductivité électrique initiale élevée de ($4,00 \pm 0,14^a$ dS/m), reflétant une concentration importante en sels minéraux. Avec l'application de nitrate (urée 46%), la conductivité électrique diminue nettement, atteignant ($2,05 \pm 0,01^b$ dS/m) pour la dose la plus faible (T1), puis augmente progressivement à ($2,51 \pm 0,77^b$ dS/m) (T2) et atteint ($3,42 \pm 0,03^c$ dS/m) avec la dose la plus élevée (T3). Cette variation montre que les doses croissantes de nitrate (urée 46%) influencent directement la CE du sol, avec une réduction initiale suivie d'une augmentation progressive en fonction des quantités appliquées.

Ces résultats sont cohérents avec ceux de **Huang et Li (2002)**, qui ont observé des modifications similaires de la conductivité électrique du sol après l'application de nitrate

(Urée 46%). Leur étude souligne que la fertilisation azotée affecte de manière significative la CE, bien que l'ampleur de cette influence dépende de la dose appliquée. Dans notre cas, les doses croissantes de nitrate (urée 46%) ont entraîné une accumulation de sels, comme en témoigne l'augmentation de la CE.

De plus, **Zhang et Liu (2015)** ont noté que l'application d'engrais azotés dans les régions arides conduit à des modifications notables de la salinité du sol, et par conséquent de sa conductivité électrique. Leurs travaux montrent que des doses élevées de fertilisants azotés augmentent la CE, bien que les effets puissent varier selon les conditions expérimentales. Nos résultats, obtenus dans des conditions spécifiques, reflètent ces observations, avec des effets similaires sur la CE, en particulier avec les doses les plus élevées de nitrate (urée 46%).

Moumni et Houssni (2014) ont également rapporté que les nitrates (urée 46%) influencent les propriétés physico-chimiques du sol, en particulier la salinité et la conductivité électrique. Leurs conclusions confirment nos observations selon lesquelles l'application de nitrate (urée

46%) modifie la CE du sol, en particulier avec des doses croissantes. Ces changements dans la CE peuvent avoir des implications importantes pour la gestion des sols agricoles.

Enfin, l'étude de Feng, **Zhang et Xu (2010)** a examiné l'impact des fertilisants azotés et phosphatés sur la conductivité électrique du sol, montrant que des variations dans les concentrations de ces fertilisants entraînent des modifications mesurables des propriétés du sol, y compris la CE. Bien que notre étude se concentre uniquement sur les nitrates (urée 46%), leurs conclusions corroborent nos résultats en démontrant l'effet des fertilisants sur la CE.

Tableau 7 : Les valeurs de la conductivité (CE) du sol en fonction des traitements par nitrate (urée 46%). Les résultats sont présentés en termes de moyenne $\pm$ écart-type de 3 mesures différentes.

Traitements	CE (DS / m)
T	4,00 $\pm$ 0,14 ^a
T1	2,05 $\pm$ 0,01 ^b
T2	2,51 $\pm$ 0,77 ^b
T3	3,42 $\pm$ 0,03 ^c

IV.1.3. L'effet des nitrates (urée 46%) sur la matière organique du sol

Les résultats de l'ANOVA (**tableau 8**), montrent qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les groupes de traitements en termes de matière organique (MO) dans le sol. Les différents traitements ont donc un effet significatif sur la teneur en matière organique dans le sol.

Tableau 8 : Analyse de variance de la matière organique (MO) du sol

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	3	83,7616	27,9205	536,7615	< 0,0001
Erreur (résidus)	8	0,4161	0,0520		

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Total corrigé	11	84,1778			

D'après les résultats présentés dans **le tableau (9)**, nous observons une variation significative des valeurs de matière organique (MO) en fonction des traitements par nitrate (urée 46%) . Le sol non traité (T) présente le pourcentage de MO le plus bas à ($2,26 \pm 0,04a$ %), ce qui reflète une teneur initiale faible en matière organique. Cette faible variabilité indique une homogénéité dans les conditions de départ, soulignant que le sol est initialement pauvre en matière organique sans traitement spécifique.

L'application de nitrate (urée 46%) entraîne une augmentation progressive de la matière organique. Le traitement T1 ($3,66 \pm 0,03a$ %) montre une hausse modérée par rapport à T, avec une faible incertitude, suggérant une amélioration constante de la MO. Cette réponse indique que les nitrates (urée 46%) exercent un effet bénéfique sur l'enrichissement du sol en matière organique, probablement en stimulant des processus biologiques favorables à la formation de MO.

Le traitement T2 ($5,69 \pm 0,50b$ %) révèlent une augmentation plus marquée de la MO comparée à T et T1, bien que l'incertitude plus élevée indique une variabilité accrue dans les résultats. Cette variabilité pourrait refléter des différences dans la réponse du sol aux nitrates (urée 46%) ou une hétérogénéité dans l'application du traitement. L'augmentation substantielle observée avec T2 suggère que ce traitement pourrait induire des processus de décomposition et de minéralisation plus intenses, bien que la réponse ne soit pas entièrement homogène.

Le traitement T3 ($9,29 \pm 0,13c$ %) présente le pourcentage de MO le plus élevé avec une incertitude modérée, ce qui indique des résultats relativement cohérents et fiables. Cela suggère que T3 est le traitement le plus efficace pour enrichir le sol en matière organique. Cette augmentation importante pourrait être due à une application plus intensive des nitrates (urée 46%), favorisant une accumulation significative de MO dans le sol.

Ces observations démontrent une tendance générale à l'augmentation progressive de la matière organique avec les traitements par nitrate (urée 46%), T3 ayant l'effet le plus marqué. Ces résultats sont en accord avec ceux d'**Insam et al. (1996)**, qui ont trouvé que l'ajout de nitrate (urée 46%) stimule l'activité microbienne du sol, ce qui peut accélérer la décomposition de la MO. Cependant, **Campbell et al. (1991)** soulignent que l'application prolongée d'engrais azotés peut aussi mener à une réduction du carbone organique, en raison d'une minéralisation rapide, ce qui pourrait expliquer les variations observées dans nos résultats.

De plus, **Myrold et al. (1989)** ont noté que les nitrates (urée 46%) modifient la composition des communautés microbiennes du sol, en favorisant les bactéries capables de minéraliser la matière organique. Cette modification peut influencer la dynamique de stockage de la MO, expliquant en partie les différences entre les traitements. Les variations observées dans la MO en réponse aux traitements par nitrate (urée 46%) pourraient donc refléter ces effets complexes sur la biologie du sol et la dynamique de la matière organique.

Tableau 9 : Les valeurs de la matière organique (MO) du sol en fonction des traitements par nitrate (urée 46%) .Les résultats sont présentés en termes de moyenne $\pm$ écart-type de 3 mesures différentes.

Traitements	MO (%)
T	2,26 $\pm$ 0,04 ^a
T1	3,66 $\pm$ 0,03 ^a
T2	5,69 $\pm$ 0,50 ^b
T3	9,29 $\pm$ 0,13 ^c

IV.1.4. Effet de nitrate (urée 46%) sur le calcaire du sol

Les résultats de l'analyse de la variance (**Tableau 10**), suggèrent qu'il existe une différence statistiquement significative entre les groupes en termes de calcaire du sol. La très faible p-value indique que les effets des traitements sur le calcaire du sol sont significatifs. Les traitements ont donc un impact significatif sur la quantité de calcaire dans le sol.

Tableau 10 : Analyse de variance du calcaire du sol

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	3	60,3681	20,1227		6175,7647 < 0,0001
Erreur	8	0,02606666666	0,003258333		
Total corrigé	11	60,394166			

D'après les résultats présentés dans **le tableau (11)**, nous constatons que le sol témoin présente une teneur en calcaire total de 6 %. Après l'application des nitrates (urée 46%), la teneur en calcaire montre des variations significatives en fonction des doses appliquées. Avec une dose modérée de (T1), le taux de calcaire augmente à $8 \pm 0,03^b\%$, tandis qu'avec des doses plus élevées de (T2) et (T3), il diminue respectivement à $4 \pm 0,11^c\%$ et $2 \pm 0,05^d\%$. Ces variations indiquent une réponse non linéaire du calcaire à l'ajout de nitrate (urée 46%).

Les résultats obtenus pour le traitement T1 sont en accord avec les observations de **Zhang et Liu (2015)**, qui ont rapporté que l'ajout de nitrate (urée 46%) peut entraîner une augmentation de la teneur en calcaire du sol. Ils expliquent cela par une possible réaction chimique entre les nitrates (urée 46%) et les minéraux présents dans le sol, qui peut favoriser la formation de carbonate de calcium (CaCO_3), augmentant ainsi la teneur en calcaire.

En revanche, l'application de doses plus élevées de nitrate (urée 46%) (T2 et T3) a entraîné une diminution du taux de calcaire, ce qui diffère des résultats obtenus par **Huang et Li (2002)**, qui n'ont pas observé de réduction significative de la teneur en calcaire avec des doses modérées d'engrais azotés. Cette diminution pourrait être liée à la dissolution du carbonate de calcium sous l'effet des nitrates (urée 46%), un phénomène accentué par les doses plus importantes. Ce mécanisme pourrait expliquer la baisse du taux de calcaire à des concentrations plus élevées de nitrate (urée 46%) dans notre étude.

Moumni et Houssni (2014) ont également observé que les fertilisants azotés peuvent influencer la teneur en calcaire du sol, avec des effets modérés selon les doses appliquées. Leur étude soutient notre observation que des doses croissantes de nitrate (urée 46%) entraînent une diminution progressive du calcaire, en particulier avec les doses les plus

élevées (T3), suggérant que les interactions chimiques entre les nitrates (urée 46%) et les composés du sol sont complexes et dépendent de multiples facteurs.

Enfin, **Zhang et Xu (2010)** ont étudié l'impact des fertilisants azotés sur les propriétés chimiques du sol, y compris le calcaire, et ont constaté que des doses excessives d'engrais pouvaient entraîner une dissolution du carbonate de calcium. Cette conclusion rejoint nos résultats, où l'application de nitrate (urée 46%) à forte dose a provoqué une réduction significative du calcaire.

Tableau 11 : Les valeurs de calcaire total (CaCO_3) du sol en fonction des traitements par nitrate (urée 46%). Les résultats sont présentés en termes de moyenne $\pm$ écart-type de 3 mesures différentes.

Traitements	$\text{CaCO}_3(\%)$
T	$6 \pm 0,10^a$
T1	$8 \pm 0,03^b$
T2	$4 \pm 0,11^c$
T3	$2 \pm 0,05^d$

IV.1.5. Effet de nitrate (urée 46%) sur l'azote du sol

Les résultats de l'analyse de la variance (**tableau 12**), montrent qu'il existe une différence statistiquement significative entre les groupes en ce qui concerne la quantité d'azote dans le sol. La très faible p-value indique que les traitements ou conditions ont un effet significatif sur l'azote du sol.

Tableau 12 : Analyse de variance de l'azote du sol

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	3	1,1819	0,393966666	2954,7499	$< 0,0001$
Erreur (résidus)	8	0,00106666	0,000133333		
Total corrigé	11	1,182966666			

D'après les résultats présentés dans le **tableau (13)**, nous constatons une diminution notable de l'azote Kjeldahl total (N) dans le sol en fonction des traitements par nitrate (urée 46%). Le sol témoin (T) présente une teneur en azote de $2,35 \pm 0,02$ %, tandis que les traitements avec des doses croissantes de nitrate (urée 46%) se montrent une réduction progressive, atteignant $1,54 \pm 0,01$ % pour le traitement T3, la dose la plus élevée. Ces résultats suggèrent que l'application de nitrate (urée 46%) s'influence directement la quantité d'azote Kjeldahl dans le sol, bien que l'effet soit inversement proportionnel à la dose appliquée.

Cette tendance diffère légèrement des résultats observés par **Huang et Li (2002)**, qui ont noté une augmentation de l'azote total du sol après l'application d'engrais azotés. Leur étude suggère que les fertilisants azotés augmentent l'azote Kjeldahl en convertissant des formes non assimilables d'azote en formes utilisables par les plantes, augmentant ainsi la disponibilité de l'azote dans le sol. Toutefois, dans notre étude, nous observons une diminution de l'azote total, probablement en raison de la lixiviation ou de l'épuisement rapide de l'azote dans des conditions spécifiques de traitement.

Zhang et Liu (2015) ont également rapporté une augmentation de l'azote total en réponse à des doses croissantes de fertilisants azotés, confirmant que l'azote ajouté reste disponible dans le sol. Cependant, notre étude montre que l'azote Kjeldahl diminue avec des doses élevées de nitrate (urée 46%), ce qui peut indiquer que l'azote est rapidement transformé en formes non mesurées par cette méthode ou est perdu sous forme de gaz (par volatilisation).

Par ailleurs, **Moumni et Houssni (2014)** ont observé que les augmentations de l'azote Kjeldahl dans le sol suivent généralement une relation proportionnelle aux doses d'engrais appliquées, ce qui diffère de nos résultats. Cette divergence peut être attribuée à des facteurs tels que le type de sol, les conditions climatiques ou les interactions chimiques spécifiques entre les nitrates (urée 46%) et les composants du sol dans notre expérience.

Enfin, **Zhang et Xu (2010)** ont montré que l'efficacité des fertilisants azotés dépend souvent de la gestion des applications et des interactions avec d'autres nutriments présents dans le sol. Ils suggèrent que l'efficacité des nitrates (urée 46%) peut être modifiée par les conditions spécifiques du sol, ce qui pourrait expliquer les variations observées dans notre étude.

Tableau 13 : Les valeurs de l'azote Kjeldahl total (N) du sol en fonction des traitements par nitrate (urée 46%) .

Les résultats sont présentés en termes de moyenne $\pm$ écart-type de 3 mesures différentes.

Traitements	N(%)
T	2,35 $\pm$ 0,02 ^a
T1	1,77 $\pm$ 0,01 ^b
T2	1,65 $\pm$ 0,01 ^b
T3	1,54 $\pm$ 0,01 ^c

IV.1.6. Effet de nitrate (urée 46%) sur les cations majeurs du sol (Ca^{2+} , Na^+ , K^+)

Les résultats de l'ANOVA (**tableau 14**), montrent qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les groupes en termes de concentration de Ca^{2+} dans le sol. La très faible p-value indique que les traitements ou conditions ont un effet significatif sur le niveau de Ca^{2+} du sol.

Tableau 14 : Analyse de variance du Ca^{2+} du sol

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	3	643,2225	214,4075		3176,407 < 0,0001
Erreur (résidus)	8	0,539999	0,0674999		
Total corrigé	11	643,7625			

Les résultats de cette ANOVA (**tableau 15**), montrent qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les groupes de traitements en termes de concentration de Na^+ dans le sol.

Tableau 15 : Analyse de variance pour le Na^+ dans le sol

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	3	1286,7025	428,900833		8873,81034 < 0,0001
Erreur (résidus)	8	0,386666666	0,0483333333		

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Total corrigé	11	1287,089166			

Les résultats de cette ANOVA (**tableau 16**), montrent qu'il existe des différences statistiquement significatives entre les groupes de traitements en termes de concentration de K^+ dans le sol. La p-value (0,0017) étant inférieure à 0,05, cela indique que les différences observées entre les groupes ne sont pas dues au hasard, mais à un effet réel des traitements.

Tableau 16 : Analyse de variance pour le K^+ dans le sol

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	3	205,27	68,4233	113,5657	< 0,0001
Erreur (résidus)	8	4,82	0,6025		
Total corrigé	11	210,09			

D'après les résultats du **tableau (17)**, l'application de nitrate (urée 46%) a effectivement influencé les concentrations des cations majeurs (Ca^{2+} , Na^+ , K^+) dans le sol, bien que ces effets varient en fonction des doses appliquées. Concernant le calcium (Ca^{2+}), nous observons une légère diminution dans le traitement T1, avec une concentration de 69 mg/kg, mais une stabilisation à des niveaux proches du témoin pour les traitements T2 et T3 (83 mg/kg). Cette stabilité relative pourrait indiquer que le calcium est moins affecté par l'application de nitrate (urée 46%), ou que les effets sur ce cation sont compensés par d'autres mécanismes chimiques dans le sol. Ce résultat est en accord partiel avec les conclusions de **Zhang et Liu (2015)**, qui ont rapporté que les fertilisants azotés pouvaient influencer la disponibilité des cations, bien que l'effet soit plus marqué sur certains cations que d'autres.

Concernant le sodium (Na^+), une augmentation notable est observée avec la dose modérée de nitrate (urée 46%) (T1), où la concentration passe à 54 mg/kg, contre 37 mg/kg dans le sol témoin. Cependant, cette tendance s'inverse avec la dose la plus élevée (T3), où la concentration chute à 25 mg/kg. Cette variation pourrait s'expliquer par un effet de lixiviation ou de déséquilibre ionique provoqué par une concentration excessive de nitrate (urée 46%), ce qui pourrait déplacer le sodium hors du sol. Ces fluctuations reflètent également les

observations de **Moumni et Houssni (2014)**, qui ont noté que les fertilisants pouvaient modifier les interactions ioniques dans le sol, affectant la mobilité et la concentration des cations comme le sodium.

Pour le potassium (K^+), les résultats montrent une légère augmentation dans les traitements T1 et T2, mais une diminution significative avec la dose la plus élevée (T3), où la concentration de potassium chute à 30 mg/kg. Cette diminution suggère que l'application de fortes doses de nitrate (urée 46%) pourrait entraîner un effet de lessivage ou une concurrence entre les ions nitrate (urée 46%) et potassium pour les sites de rétention dans le sol. Selon, **Zhang et Xu (2010)**, les interactions entre les nitrates (urée 46%) et les autres nutriments peuvent entraîner des déséquilibres dans le sol, ce qui pourrait expliquer la baisse des concentrations de potassium à des doses élevées.

Dans l'étude **d'Agegnehu et al. (2016)**, l'application de fertilisants azotés et d'amendements organiques a significativement amélioré la capacité d'échange cationique (CEC) du sol, favorisant ainsi la disponibilité des cations majeurs comme le Ca^{2+} , Na^+ et K^+ . Cela a conduit à une meilleure rétention et circulation des nutriments dans le sol. Dans notre étude, nous avons également observé que l'application de nitrate (urée 46%) s a entraîné des variations notables des concentrations de ces cations, perturbant leur équilibre dans le sol. Ces résultats sont en accord avec ceux d'Agegnehu et al, qui ont constaté que les fertilisants azotés peuvent influencer les interactions ioniques et la disponibilité des cations dans le sol

Tableau 17 : Les valeurs de cations majeurs du sol (Ca^{2+} , Na^+ , K^+) en fonction des traitements par nitrate (urée 46%). Les résultats sont présentés en termes de moyenne $\pm$ écart-type de 3 mesures différentes.

Traitements	Ca^{2+} (mg/kg)	Na^+ (mg/kg)	K^+ (mg/kg)
T	89 $\pm$ 0,36 ^a	37 $\pm$ 0,15 ^a	37 $\pm$ 0,78 ^a
T1	69 $\pm$ 0,30 ^b	54 $\pm$ 0,20 ^b	39 $\pm$ 0,67 ^a
T2	83 $\pm$ 0,20 ^a	41 $\pm$ 0,30 ^c	41 $\pm$ 0,79 ^a
T3	83 $\pm$ 0,10 ^a	25 $\pm$ 0,20 ^d	30 $\pm$ 0,76 ^c

IV.1.7. L'effet des nitrates (urée 46%) s sur la texture du sol

Les résultats du **tableau (18)**, montrent que l'application de nitrates a provoqué des changements dans les proportions de sable, d'argile et de limon du sol, bien que ces modifications n'aient pas entraîné une altération majeure de la texture globale du sol. Le sol témoin (T0) est classé comme **limon sableux**, avec une teneur élevée en limon (83 %). À faible dose de nitrates (T1), la proportion de sable augmente considérablement (60,37 %) tandis que la teneur en limon diminue, suggérant une amélioration potentielle de l'aération et du drainage. Avec des doses modérées (T2), les proportions de sable et de limon se rapprochent, maintenant la classification du sol en **limon sableux**. Cependant, à une dose élevée de nitrates (T3), la teneur en argile augmente de manière significative (18%), on conclut que la texture du sol est **limon sableux**

Tableau 18 : Les résultats de l'effet des nitrates sur la texture du sol. Les résultats sont présentés en termes de moyenne $\pm$ écart-type de 3 mesures différentes.

Traitements	Sable %	Argile %	Limon %	Type de sol
T0	41,66 $\pm$ 0,12 ^a	16,66 $\pm$ 0,7 ^b	83 $\pm$ 0,4 ^a	Limon sableux
T1	60,37 $\pm$ 0,5 ^b	5,66 $\pm$ 0,32 ^a	33,9 $\pm$ 0,2 ^b	Limon sableux
T2	40 $\pm$ 0,1 ^a	8 $\pm$ 0,3 ^a	52 $\pm$ 0,8 ^b	Limon sableux
T3	33 $\pm$ 0,3 ^c	18 $\pm$ 0,6 ^c	40 $\pm$ 0,11 ^b	Limon sableux

IV.2. L'effet des traitements appliqué sur la croissance la survie, et la reproduction des vers de terre

Les vers de terre, en particulier les espèces anéciques comme *Lumbricus terrestris*, sont des bio indicateurs clés de la santé des sols. En jouant un rôle vital dans la structuration des sols, la décomposition de la matière organique et le cycle des nutriments, ils influencent directement la fertilité du sol et la productivité agricole, et qui font l'objet de plusieurs recherches. Cependant, les pratiques agricoles intensives, notamment l'utilisation d'engrais azotés, peuvent affecter leur vitalité. Les effets des engrais azotés sur la faune du sol sont essentiels pour les pratiques agricoles, la gestion de l'environnement et la conservation de la nature. Cependant, peu d'informations ont été publiées à ce jour concernant l'impact des

engrais azotés sur les bios indicateurs du sol, tels que les vers de terre, qui devraient pourtant constituer une priorité de recherche. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet des nitrates (urée 46%) à trois doses différentes, basées sur les doses recommandées par l'État. Les résultats préliminaires présentés portent sur l'impact de ces engrais sur différents paramètres vitaux, tels que la croissance, la reproduction et la survie de notre espèce anécique de ver de terre, *Lumbricus terrestris*, comme indiqué ci-dessous.

Le choix de *Lumbricus terrestris* est justifié d'une part pour sa dominance dans la région de Khenchela, et d'autre part par son abondance dans les sols tempérés et sa relative facilité d'échantillonnage, ce qui en fait un excellent modèle biologique pour la bio indication. Ses grandes dimensions et son rôle central dans la structuration du sol en tant qu'espèce anécique facilitent son suivi dans les études écologiques. Ces caractéristiques, combinées à sa sensibilité aux perturbations environnementales comme l'utilisation d'engrais, en font un indicateur précieux de la santé des sols. Grâce à sa répartition étendue et à son importance fonctionnelle dans les écosystèmes terrestres, il est largement utilisé pour évaluer l'impact des pratiques agricoles et des polluants sur la biodiversité du sol (Godet, 2010 ; Calisi *et al.*, 2011).

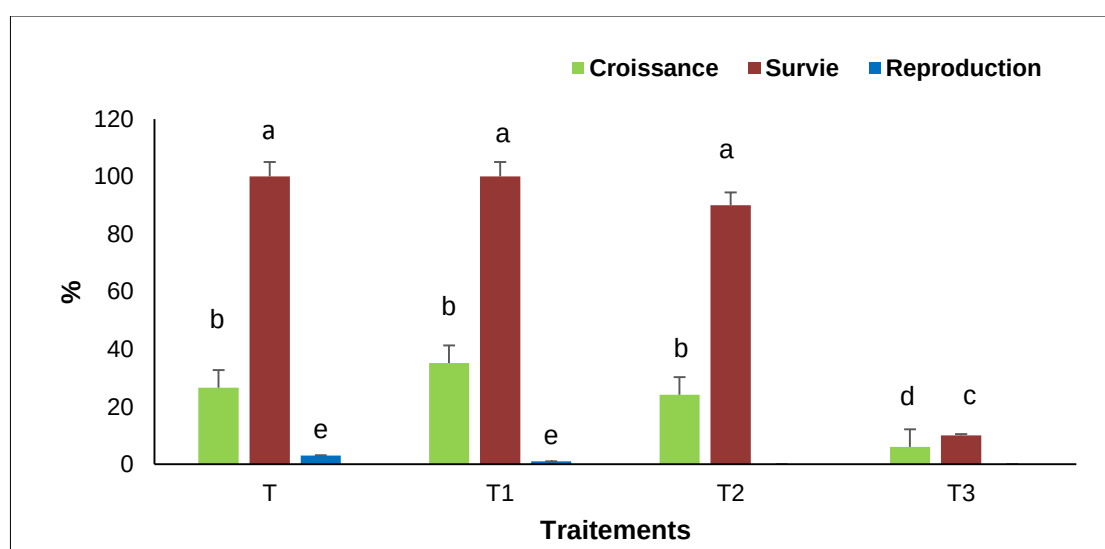


Figure 27 : L'effet moyen des traitements sur les paramètres mesurés des vers de terre (la croissance, la survie et la reproduction),

Les résultats sont présentés en termes de moyenne et écart-type de 3 mesures différentes, a,b,c groupes homogènes

La figure (27) met en évidence des différences significatives entre les différents traitements pour l'ensemble des paramètres mesurés. Les vers de terre utilisés souvent pour mesurer les effets des substances polluantes par l'étude de leur survie, de leur croissance, de leur reproduction et de leur comportement en contact des produits chimiques (Godet, 2010).

IV.2.1. Effet des traitements sur la croissance des vers de terre

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 19), suggèrent que les traitements ont un effet significatif sur la croissance des vers de terre. Les différences entre les groupes de traitement sont suffisamment grandes pour être statistiquement significatives, ce qui indique que le traitement appliqué influence de manière significative la croissance des vers de terre.

Tableau 19 : Analyse de la variance des effets de traitement sur la croissance des vers de terre

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	3	1355,1132	451,7044	4,77	< 0,0001
Erreur (résidus)	8	7,57306E-29	9,46633E-30		
Total corrigé	11	1355,1132			

Concernant la variable de croissance (Figure 28), l'analyse des moyennes a révélé l'existence de trois groupes homogènes. Le premier groupe, caractérisé par une croissance élevée, inclut le traitement T1, qui a exercé une influence positive significative sur la croissance des vers de terre avec une moyenne de $35,18 \pm 0,12\%$. Le deuxième groupe, composé des traitements T et T2, présente également une croissance notable, bien que légèrement inférieure à celle du premier groupe, avec des moyennes de $26,55 \pm 1,02\%$ et $24,18 \pm 0,79\%$ respectivement. Ces traitements ont donc favorisé la croissance des vers de terre, bien qu'à un degré moindre que le traitement T1. Enfin, le troisième groupe, désigné comme groupe C, comprend le traitement T3, qui a révélé la croissance la plus faible, avec une moyenne de $6 \pm 0,13\%$, indiquant un effet potentiellement inhibiteur à cette dose.

Cette classification en groupes homogènes souligne l'importance des doses appliquées d'engrais azotés sur la croissance des vers de terre. Le traitement T1 semble avoir un effet optimal, stimulant de manière significative la croissance, tandis que des doses plus élevées, comme celles appliquées dans le traitement T3, pourraient entraîner une réduction notable de cette croissance. Ces résultats sont cruciaux pour comprendre les effets dose-réponse et pour optimiser les pratiques d'application des engrais dans une optique de gestion durable des sols.

La variation du poids des vers de terre après traitement avec différentes doses d'urée peut être expliquée par plusieurs mécanismes biologiques et chimiques. Les doses modérées d'urée, comme celles appliquées dans le traitement T1, offrent une quantité équilibrée de nutriments qui favorise la croissance des vers de terre. À ces niveaux, les vers de terre bénéficient d'une amélioration de la disponibilité des nutriments dans le sol, stimulant ainsi leur croissance **Edwards et Bohlen (1996)**, ont constaté que la croissance des vers de terre et leur abondance étaient favorisées par les engrais organiques (fumier, foin, engrais vert, résidus de culture, etc.) et inorganiques.

En revanche, des doses élevées d'urée, comme celles dans le traitement T3, peuvent entraîner une concentration excessive de composés azotés, conduisant à un stress osmotique et à une toxicité accrue. L'urée se décompose en ammoniac, un composé toxique qui peut altérer les fonctions physiologiques des vers de terre, comme la digestion et la respiration, réduisant ainsi leur poids. De plus, une concentration élevée d'urée peut acidifier le sol, modifiant le pH et affectant la disponibilité des nutriments **(Ivask et al., 2012; Owojori and Reinecke, 2010)**. Les vers de terre, exposés à des conditions extrêmes, peuvent montrer une réponse adaptative initiale, mais un stress prolongé peut entraîner une diminution significative de leur poids.

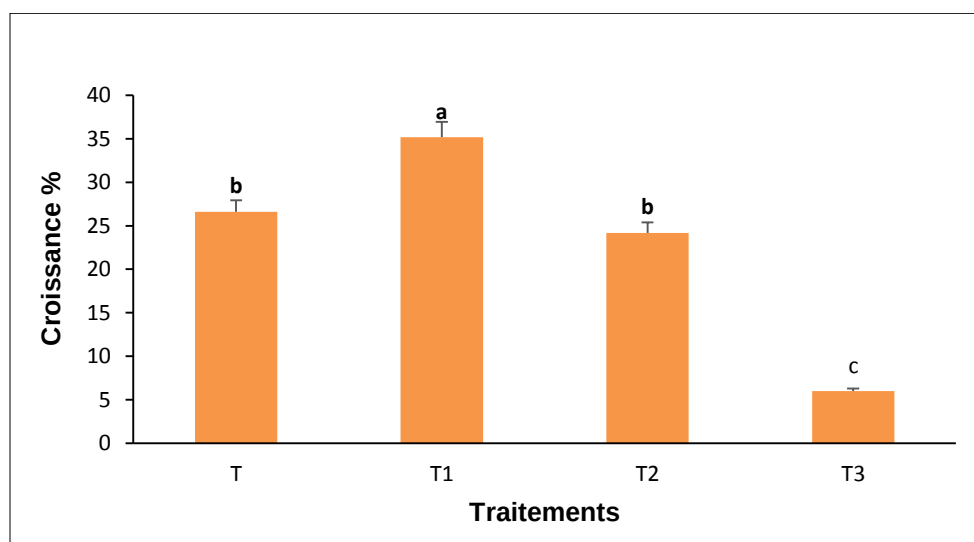


Figure 28 : L'effet moyen des traitements sur la croissance. Les résultats sont présentés en termes de moyenne et écart-type de 3 mesures différentes, a, b, c groupes homogènes

IV.2.2. Effet des traitements sur la survie des vers de terre

Les résultats de l'ANOVA (**tableau 20**), montrent que les traitements ont un effet significatif sur la survie des vers de terre. Les différences entre les groupes sont suffisamment grandes pour être considérées comme statistiquement significatives. Le traitement a un impact notable sur la survie des vers de terre, comme le montre la valeur élevée de F et la p-value inférieure à 0,05.

Tableau 20 : Analyse de la variance de l'effet des traitements sur la survie des vers de terre

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	3	20100	6700	9,93	0,0045
Erreur (résidus)	8	5400	675		
Total corrigé	11	25500			

En matière de survie des vers de terre (**Figure 29**), l'analyse des moyennes a permis d'identifier trois groupes homogènes parmi les différents traitements. Le groupe A, composé des traitements T et T1, affiche les taux de survie les plus élevés, avec des moyennes de $100 \pm 0,08$ et $100 \pm 0,16$ respectivement, indiquant une survie optimale dans ces conditions. Le

groupe B, comprenant le traitement T2, présente un taux de survie inférieur, avec une moyenne de $78 \pm 0,10$. Ce groupe montre des taux de survie moins élevés par rapport au groupe A, mais reste significativement meilleur que le groupe C. Enfin, le groupe C, qui inclut le traitement T3, révèle les taux de survie les plus faibles, avec une moyenne ne dépassant pas 2 individus. Ce résultat suggère que les conditions associées au traitement T3 sont particulièrement défavorables à l'activité lombricienne, ce qui pourrait indiquer une toxicité élevée ou des conditions environnementales inadaptées. Ces observations soulignent l'impact significatif des doses d'urée sur la survie des vers de terre et l'importance de réguler les niveaux d'engrais azotés pour préserver la santé de la faune du sol.

Les variations observées dans les taux de survie des vers de terre entre les différents traitements peuvent être attribuées à plusieurs mécanismes liés aux effets de l'urée sur le sol et sur les vers eux-mêmes. À des concentrations élevées, comme celles appliquées dans le traitement T3, l'urée se décompose en ammoniac, un composé toxique qui peut s'accumuler dans le sol, altérant les fonctions physiologiques essentielles des vers de terre et entraînant une mortalité accrue. Selon **Rathore et Nollet (2012)**, cette toxicité peut empêcher les vers de terre d'exercer leurs fonctions vitales dans le sol, affectant leur survie soit directement par un stress aigu, soit indirectement en perturbant leur reproduction, leurs fonctions neurologiques, ou en modifiant leur comportement. **Rodriguez et al. (2014)** soulignent que ces effets néfastes varient en fonction des espèces, du type de contaminants, et des caractéristiques du sol. Les vers de terre anéciques, comme dans notre étude, sont particulièrement vulnérables aux effets négatifs de l'urée, car ils vivent en surface et sont directement exposés aux concentrations d'urée appliquées. En revanche, les vers endogés, qui vivent plus profondément dans le sol, semblent moins affectés par les produits chimiques appliqués en surface (**Singh et al., 2016**).

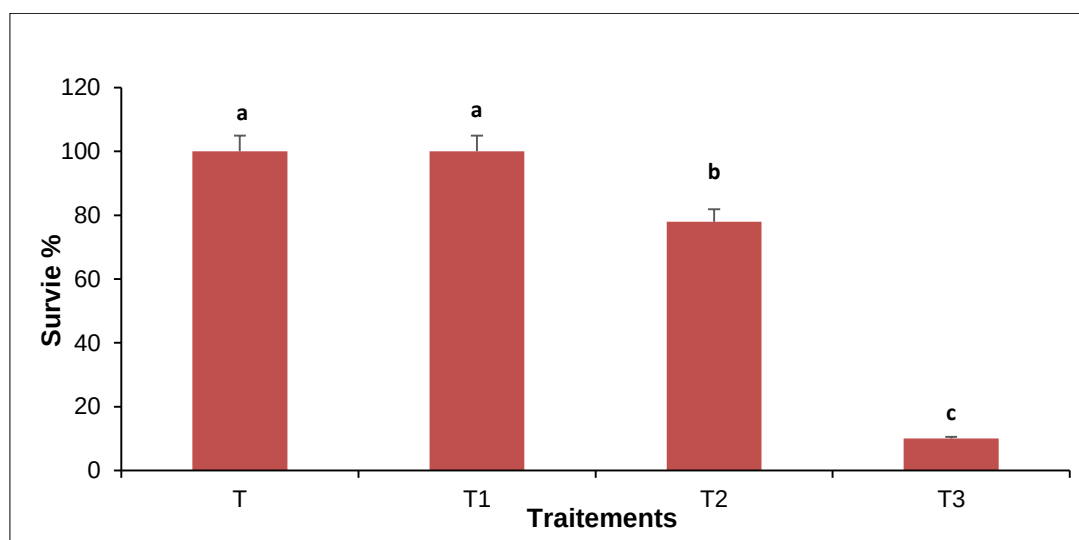


Figure 29 : L'effet moyen des traitements sur la survie.

Les résultats sont présentés en termes de moyenne et écart-type de 3 mesures différentes, a, b, c groupes homogènes

IV.2.3. Effet des traitements sur la reproduction des vers de terre

Les résultats de l'ANOVA (**tableau 21**), montrent que les traitements ont un effet très significatif sur la reproduction des vers de terre. La valeur élevée de F et la p-value très faible indiquent que les différences entre les groupes de traitement sont hautement significatives. Les traitements ont donc un impact important sur la reproduction des vers de terre.

Tableau 21 : Analyse de la variance de l'effet des traitements sur la reproduction des vers de terre

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Traitement	3	14,3333	4,7778	28,67	< 0,0001
Erreur (résidus)	8	1,3333	0,1667		
Total corrigé	11	15,6667			

Les différents traitements ont exercé des effets variables sur la reproduction des vers de terre (**Figure 30**). Ces effets vont d'une absence totale de reproduction, comme observé dans la

majorité des traitements (T2 et T3), à une reproduction plus ou moins notable dans les autres traitements, en particulier le traitement T1. Les résultats peuvent être répartis en deux groupes distincts : le premier groupe (groupe A) se distingue par la plus grande reproduction, représentée par le témoin, avec une moyenne de $3\pm0,06$ %. Le deuxième groupe (groupe B), qui comprend uniquement le traitement T1, présente une reproduction plus modeste, avec une moyenne de $1\pm0,2$ %. Ces résultats indiquent que certaines doses d'engrais, comme celles utilisées dans T1, permettent une reproduction, bien que réduite, tandis que des doses plus élevées semblent inhiber totalement ce processus.

Les faibles doses de composants chimiques dans le sol pourraient ne pas affecter négativement la reproduction des vers de terre, comme l'a partiellement confirmé **Jun et al. (2012)**, qui ont montré que les vers de terre peuvent continuer à se reproduire en présence d'une faible salinité du sol. Cela semble indiquer qu'une exposition modérée aux substances chimiques, comme les engrais à faibles doses, n'entrave pas la capacité reproductive des vers. En revanche, des doses plus élevées d'engrais azotés créent des conditions défavorables à la reproduction. **Frouz et al. (2005)** ont constaté que l'interaction complexe entre divers paramètres du sol, tels que la présence de métaux lourds, l'humidité, le phosphore et la salinité, inhibait la reproduction d'*Enchytraeus crypticus*, une espèce sensible aux modifications physicochimiques du sol. De plus, **Rathore et Nollet (2012)** et **Rodriguez et al. (2014)** soulignent que l'exposition des vers de terre aux produits chimiques, tels que les engrais et les pesticides, peut avoir un impact significatif sur leur reproduction en perturbant leurs processus physiologiques et comportementaux.

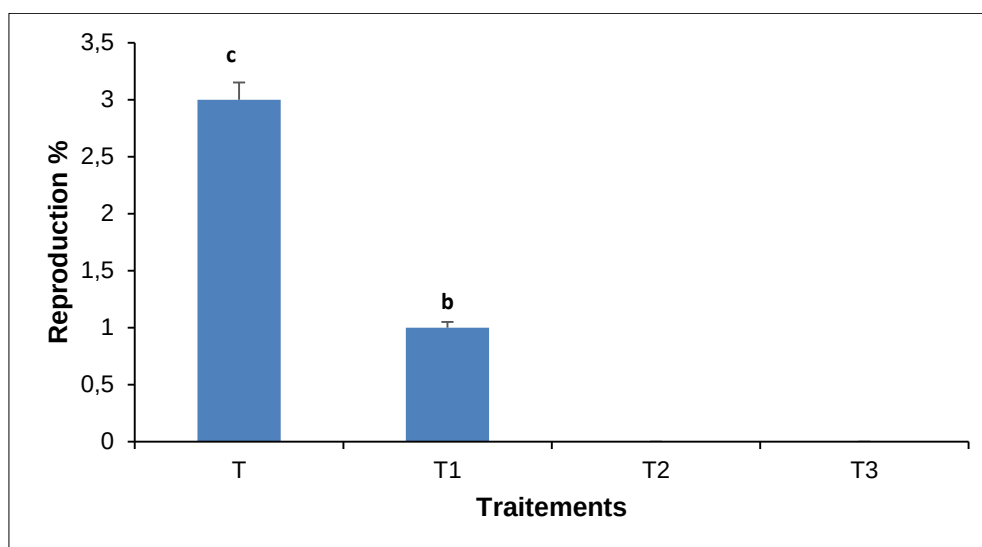


Figure 30 : L'effet moyen des traitements sur la reproduction.

Les résultats sont présentés en termes de moyenne et écart-type de 3 mesures différentes, a, b, c groupes homogènes

IV.2.4. Corrélation linéaire entre la croissance et la survie du ver de terre et le temps d'exposition

La régression linéaire présentée dans la **Figure (31)** révèle une corrélation positive entre la croissance des vers de terre et la durée d'exposition. Cela signifie que, dans la plupart des traitements (T1, T2, T3), la croissance augmente avec l'allongement du temps d'exposition, comme l'indiquent les coefficients de détermination respectifs ($R^2 = 0,5747$, $R^2 = 0,8487$, $R^2 = 0,7819$). En comparaison, le témoin (T) présente un coefficient de corrélation plus élevé ($R^2 = 0,9549$). Ces résultats suggèrent que les vers de terre anéciques, et plus précisément *Lumbricus terrestris*, sont capables de maintenir une croissance notable en présence d'engrais azotés, bien que les effets varient en fonction de la dose appliquée.

Ces résultats sont particulièrement intéressants car ils montrent que, malgré la présence d'engrais azotés dans le sol, la croissance des vers de terre ne s'arrête pas nécessairement, ce qui témoigne d'une certaine résilience face à ces substances chimiques. Toutefois, il est important de noter que ces observations ne peuvent être directement comparées à des études antérieures, car, à notre connaissance, peu d'auteurs ont exploré l'évolution des réponses des vers au fil du temps en fonction de l'exposition aux engrais. Pourtant, cette dimension temporelle est cruciale, car dans les conditions naturelles, les vers de terre sont constamment

exposés aux engrais sur de longues périodes. Il est donc indispensable de comprendre si, et comment, leurs réponses évoluent avec le temps, notamment dans le cadre de la gestion durable des sols agricoles.

Par ailleurs, les résultats de la régression linéaire (**Figure 31**) concernant la survie des vers de terre montrent une corrélation négative avec la durée d'exposition pour les traitements T1 et T2, avec des équations de régression $R^2 = 0,8254$ et $R^2 = -0,9399$ respectivement. Cela signifie que le taux de survie diminue progressivement à mesure que la période d'exposition s'allonge, en particulier dans les traitements où la concentration d'azote est plus importante. Pour le traitement T3, une mortalité accrue des vers est observée dès la quatrième semaine, avec un coefficient de détermination $R^2 = -0,8254$, suggérant que des doses élevées d'engrais ont un impact significatif sur leur survie.

Ces résultats sont cohérents avec la sensibilité bien documentée des vers de terre aux modifications physicochimiques de leur environnement (**Markert, 2007**). En tant que bio indicateurs, les vers de terre réagissent rapidement aux perturbations, ce qui en fait un modèle pertinent pour évaluer l'impact des engrais azotés sur la faune du sol. Cette étude met ainsi en lumière la nécessité de mieux comprendre les interactions à long terme entre les pratiques agricoles, telles que l'application d'engrais azotés, et la biodiversité du sol, afin de favoriser des pratiques plus durables et respectueuses de l'environnement.

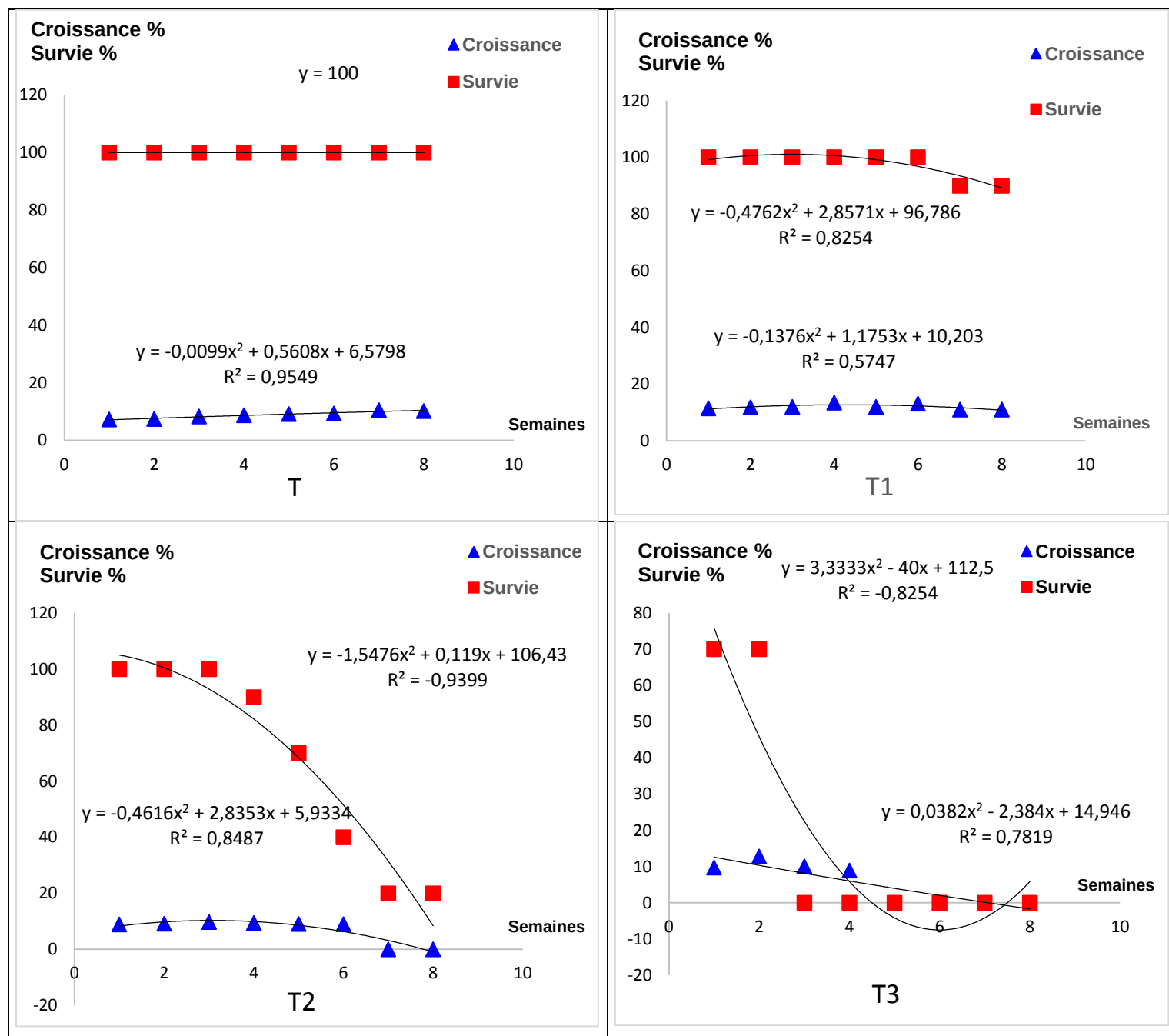


Figure 31 : Régression linéaire représentant le taux de croissance (%) et le taux de survie (%) sur 8 semaines pour *L. terrestris*

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion générale

Les vers de terre, en particulier les espèces anéciques telles que *Lumbricus terrestris*, jouent un rôle essentiel dans l'agriculture et la bio stimulation des sols. Ils sont des bio indicateurs cruciaux de la santé des écosystèmes, influençant directement la structuration du sol et la décomposition de la matière organique.

Dans cette étude, nous avons évalué l'impact de différentes doses de nitrate (urée 46%) sur la survie, la croissance et la reproduction de *Lumbricus terrestris*. Nous avons appliqué trois doses de nitrate (urée 46%) basées sur les pratiques agricoles courantes, ainsi qu'un témoin sans nitrate (urée 46%), sur une période de deux mois. L'objectif était d'étudier l'influence de ces traitements à la fois sur les paramètres physicochimiques du sol et sur les performances biologiques des vers de terre. Les principaux résultats observés sont les suivants :

Paramètres physicochimiques du sol :

- Le sol non traité (T0) présente un pH légèrement alcalin ($7,15 \pm 0,01$). L'ajout de nitrate (urée 46%), en particulier à haute dose (T3), a provoqué une augmentation significative du pH, indiquant une alcalinisation du sol.
- La conductivité électrique du sol a significativement augmenté avec les doses croissantes de nitrate (urée 46%), montrant une corrélation directe avec la concentration appliquée.
- L'ajout de nitrate (urée 46%) a stimulé l'enrichissement du sol en matière organique, suggérant que ces composés peuvent agir comme un amendement bénéfique.
- Une réduction notable de la teneur en calcaire a été observée avec des doses élevées de nitrate (urée 46%), probablement en raison de la dissolution du carbonate de calcium.
- L'épandage de nitrate (urée 46%) a légèrement modifié la texture du sol, le classant dans la catégorie des sols limon-sableux.

Conclusion Générale

Effets sur les vers de terre :

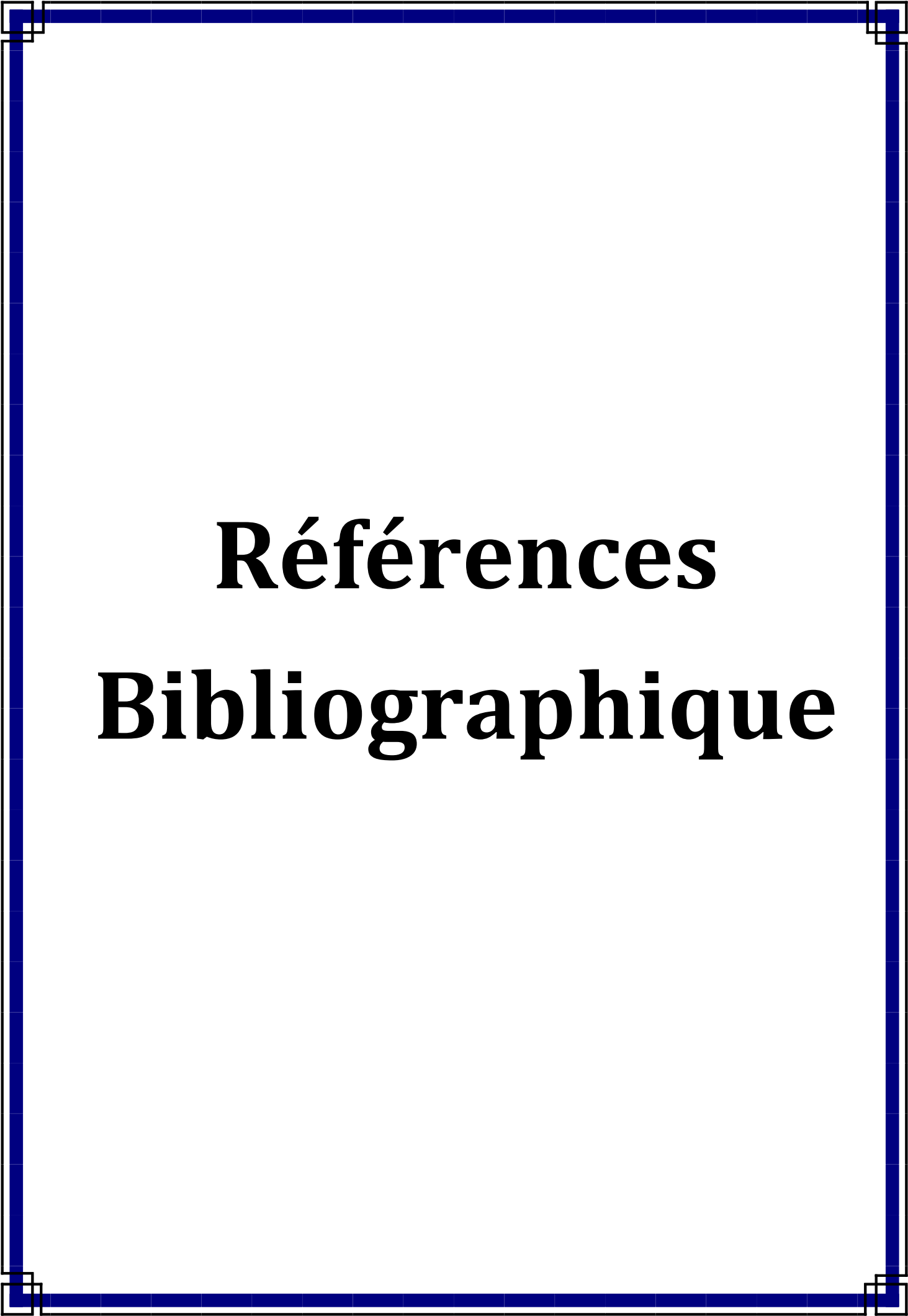
- **Croissance** : Le traitement T1 a stimulé de manière optimale la croissance des vers, surpassant les autres doses. En revanche, T3 a montré un effet inhibiteur marqué sur la croissance.
- **Survie** : Les vers exposés à T1 ont montré un taux de survie optimal. T2 a légèrement diminué ce taux, tandis que T3 a entraîné une toxicité accrue, réduisant fortement la survie.
- **Reproduction** : Seul le traitement T1 a permis une reproduction limitée des vers de terre, tandis que les doses élevées (T2 et T3) ont inhibé ce processus.

Recommandations et Perspectives :

Cette étude préliminaire met en lumière l'importance des vers de terre pour la santé des sols et propose plusieurs pistes de recherche future pour approfondir ces connaissances :

1. Examiner plus en détail les effets des nitrates (urée 46%) et d'autres contaminants sur la biologie des vers de terre.
2. Explorer l'impact des propriétés du sol, telles que les caractéristiques édaphiques, sur le comportement des vers de terre.
3. Approfondir les recherches avec d'autres doses et types d'engrais, notamment en étudiant des fertilisants alternatifs pouvant avoir des effets bénéfiques sur les vers de terre et les sols.
4. Effectuer des analyses génétiques des vers de terre pour évaluer leur diversité et leur résilience face aux modifications environnementales.

Ces recherches visent à promouvoir une agriculture plus durable, en réduisant l'utilisation des engrais chimiques et en valorisant les vers de terre comme alternative écologique. Les résultats obtenus ouvrent la voie à des perspectives prometteuses pour un développement durable en agriculture, notamment dans la région de Khenchela, en valorisant les ressources biologiques locales.



Références Bibliographique

Références bibliographiques

- 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* (Doctoral dissertation, Université Rennes 1).
- Agegnehu, G., Nelson, P. N., & Bird, M. I. (2016). Crop yield, plant nutrient uptake, soil physico, and nitrogen fertilization on Nitisols. *Soil and Tillage Research*, 160, 1-13.
- Bachelier, G. (1978). La faune des sols, son écologie et son action.
- Bachelier, G., & Bachelier, G. (1963). *La vie animale dans les sols* (Vol. 3). Paris: Orstom.
- Barois, I. (1987). Influence of the tropical earth (Glossoscolecidae) on the fixation and mineralization of nitrogen. *On earthworms*, 151-158.
- Bazri, K. E., & Touati, O. G. Etude de la biodiversité des lombricidés et leurs relations avec les propriétés du sol dans différents étages bioclimatiques, dans l'est Algérien.
- Binet, F., & Le Bayon, R. C. (1998). Space-time dynamics in situ of earth worm casts under temperate cultivated soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 31(1), 85-93.
- Bliefert, C., & Perraud, R. (2007). *Chimie de l'environnement : air, eau, sols, déchets*. De Boeck Supérieur.
- Bonneau, M., & Souchier, B. (1979). Constituants et propriétés du sol. (No Title).
- Bouché, M. B. (1972). *Lombriciens de France. Ecologie et systématique* (Vol. 72, No. HS, pp. 671-p). INRA Editions.
- Bouché, M. B. (1977). Strategies lombriciennes. *Ecological Bulletins*, 122-132.
- Bouché, M. B. (1978). Atlas provisoire des Lombriciens de Belgique et des pays limitrophes. *Cartographie des Invertébrés Européens (Belgium). Contribution Belge*.
- Bouché, M. B. (1972). *Lombriciens de France. Ecologie et systématique* (Vol. 72, No. HS, pp. 671-p). INRA Editions.
- BOUCHE, M. B. (2003). VERS DE TERRE, DE DARWIN A NOS JOURS UN REVELATEUR HEURISTIQUE. *Académie des Sciences et lettres de*.

Brown, G. G., James, S. W., Pasini, A., Nunes, D. H., Benito, N. P., Martins, P. T., & Sautter, K. D. (2006). Exotic, peregrine, and invasive earthworms in Brazil: diversity, distribution, and effects on soils and plants. *Caribbean Journal of Science*, 42(3), 339.

Brown, G. G. (1995). How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity In *The Significance and Regulation of Soil Biodiversity: Proceedings of the International Symposium on Soil Biodiversity, held at Michigan State University, East Lansing, May 3–6, 1993* (pp. 247-269). Springer Netherlands.

Brown, G. G., James, S. W., Pasini, A., Nunes, D. H., Benito, N. P., Martins, P. T., & Sautter, K. D. (2006). Exotic, peregrine, and invasive earthworms in Brazil: diversity, distribution, and effects on soils and plants. *Caribbean Journal of Science*, 42(3), 339.

Buzier, R., Tusseau-Vuillemin, M. H., & Mouchel, J. M. (2006). Evaluation of DGT as a metal speciation tool in wastewater. *Science of the Total Environment*, 358(1-3), 277-285.

Calisi, A., Lionetto, M. G., & Schettino, T. (2011). Biomarker response in the earthworm *Lumbricus terrestris* exposed to chemical pollutants. *Science of the Total Environment*, 409(20), 4456-4464.

Curry J. P., (2012). Factors affecting earth worm abundance in soils. In: Edwards, C. A. (Eds), *Earthworm Ecology*. Boca Raton, St. Lucie Press, 389 pp.

Curry, J. P. (1998). Factors affecting earth worm abundance in soils.

Denis, B. (2000). Guide des analyses en pédologie 2eme édition revue et augmentée'. *Edition INRA*.

Dugain, F., Arial, G., Audry, P., & Jouga, J. (1961). Les méthodes d'analyses utilisées au laboratoire de physico-chimie des Sols. *Dakar: ORSTOM, multigr*, 73.

Edwards C. A., Bohlen P.J. (1996). *Biology and Ecology of Earthworms*.

Edwards, C. A., & Bohlen, P. J. (1996). *Biology and ecology of earthworms* (Vol. 3). Springer Science & Business Media.

Edwards C.A., Bohlen P.J. (1996). Biology and Ecology of Earthworms *Enchytraeus crypticus* (Oligochaeta). *Water Air Soil Pollut.* 162, 37–47.

Evans, A. C., & Guild, W. M. (1948). Studies on the relationships between earthworms and soil fertility: IV. On the life cycles of some British Lumbricidae. *Annals of Applied Biology*, 35(4), 471-484.

Frouz, J., Křišťůfek, V., Bastl, J., Kalčík, J., & Vaňková, H. (2005). Determination of toxicity of spoil substrates after brown coalmining using a laboratory reproduction test with *Enchytraeus crypticus* (Oligochaeta). *Water, Air, and Soil Pollution*, 162, 37-47.

Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. *Biology and fertility of soils*, 35, 219-230.

Godet, J. P. (2010). *Intérêt des isopodes terrestres dans l'évaluation de la qualité des sols : Recherche de paramètres indicateurs de la pollution par des éléments traces métalliques et contribution à la mise au point d'un outil éco toxicologique de terrain* (Doctoral dissertation, Lille 1).

Huynh, T. M. D. (2009). *Impact des métaux lourds sur les interactions plante/ver de terre/microflore tellurique* (Doctoral dissertation, Université Paris-Est).

Ivask, M., Meriste, M., Kuu, A., Kutti, S., & Sizov, E. (2012). Effect of flooding by fresh and brackish water on earthworm communities along Matsalu Bay and the Kasari River. *European journal of soil biology*, 53, 11-15.

Godet, J. P. (2010). *Intérêt des isopodes terrestres dans l'évaluation de la qualité des sols : Recherche de paramètres indicateurs de la pollution par des éléments traces métalliques et contribution à la mise au point d'un outil éco toxicologique de terrain* (Doctoral dissertation, Lille 1).

Křišťůfek, V., Ravasz, K., & Pižl, V. (1992). Changes in densities of bacteria and micro fungi during gut transit in *Lumbricus rubellus* and *Aporrectodea caliginosa* (Oligochaeta: Lumbricidae). *Soil Biology and Biochemistry*, 24(12), 1499-1500.

Jun, T., Wei, G., Griffiths, B., Xiaoping, L., Yingjun, X., & Hua, Z. (2012). Maize residue application reduces negative effects of soil salinity on the growth and reproduction of the earthworm *Aporrectodea trapezoids*, in a soil microcosm experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 49, 46-51

Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and soil*, 249, 343-357.

Pelosi, C. (2008). *Modélisation de la dynamique d'une population de vers de terre Lumbricus terrestris au champ. Contribution à l'étude de l'impact des systèmes de culture sur les communautés lombriciennes* (Doctoral dissertation, Agro Paris Tech).

Pousset, J. (2008). *Agriculture naturelle, Répondre aux nouveaux défis*, Paris, Eds Agrédicisions.

Rabat, P. (2003). Les engrais et leurs applications. *Précis à l'usage des agents de la vulgarisation agricole*, 77.

Rathore, H. S., & Nollet, L. M. (Eds.). (2012). *Pesticides: evaluation of environmental pollution*. CRC press.

Rodriguez-Campos, J., Dendooven, L., Alvarez-Bernal, D., & Contreras-Ramos, S. M. (2014). Potential of earthworms to accelerate removal of organic contaminants from soil: a review. *Applied Soil Ecology*, 79, 10-25.

Razafindrakoto, S. (2013). Etude des interactions plante-vers de terre (*Dichogaster saliens*) dans les cultures de riz et de l'éléusine. *Mémoire de master, Université Athénée Saint Joseph Antsirabe, Madagascar*, 87p, 52

Lavelle, P., & Spain, A. V. (2001). *Soil Ecology* Kluwer Scientific Publications.

Lavelle, P., & Spain, A. V. (2001). *Soil Ecology*. (Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands).

Lee, K. E. (1985). *Earthworms: their ecology and relationships with soils and land use* (pp. 411-pp).

Markert, B. (2007). Definitions and principles for bio indication and bio monitoring of trace metals in the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 21, 77-82.

Ménard, O. (2005, February). Les ouvriers du sol et les pratiques agricoles de conservation. In *Colloque en Agroenvironnement : « des outils d'intervention à notre échelle »*. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec, Québec (p. 6).

Ménard, O. (2008). Les ouvriers du sol ET les pratiques agricoles de conservation. *Colloque en agroenvironnement : « Des outils d'intervention à notre échelle »*.

Morin, R. (1999). Exploitation et élevage des vers de terre pour le marché des appâts vivants, Document d'information DADD ministère de l'agriculture des pêcheries et de l'alimentation. 13p.

OECD. (2004). Guidelines for testing of chemicals. In: Earthworm Acute Toxicity Tests (Filter Paper Test and Artificial Soil Test, Paris, France.

Owojori, O. J., & Reinecke, A. J. (2010). Effects of natural (flooding and drought) and anthropogenic (copper and salinity) stressors on the earth worm *Aporrectodea caliginosa* under field conditions. *Applied Soil Ecology*, 44(2), 156-163.

Singh, S., Singh, J., & Vig, A. P. (2016). Earthworm as ecological engineers to change the physico-chemical properties of soil: soil vs vermicast. *Ecological Engineering*, 90, 1-5.

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 Biology and Biochemistry*, 33(7-8), 983-996.

Satchell, J. E., & Martin, K. (1984). Phosphatase activity in earthworm faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 16(2), 191-194.

Sols. Recherche de paramètres indicateurs de la pollution par les éléments traces.

Shaw, C., & Pawluk, S. (1986). Faecal microbiology of *Octolasion tyrtaeum*, *Aporrectodea deaturgida* and *Lumbricus terrestris* and its relation to the carbon budgets of three artificial soils.

Tomlin, A. D., Tu, C. M., & Miller, J. J. (1995). Response of earthworms and soil biota to agricultural practices in corn, soybean and cereal rotations. *Acta Zoologica Fennica*, (196), 195-199.

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. *Biology and Fertility of Soils*, 8, 178-182.

عنوان المذكرة: دراسة تأثير اليوريا 46% على نمو وتكاثر وبقاء ديدان الأرض

الاسم واللقب: عائشة خليدة بوزيان، العالية مرداسي

المؤطر: نوال مكرسي

ملخص:

تهدف دراستنا إلى تقييم تأثير النترات على بقاء ونمو وتكاثر ديدان الأرض، وخاصة نوع *Lumbricus terrestris*. تم وضع بروتوكول تجريبي صارم، حيث تم وضع عينات متجانسة من ديدان الأرض في عوالم مجهرية. تعرضت الديدان لجرعات مختلفة من النترات ($T_0 =$ التحكم، $T_1 = 1.57g$ ، $T_2 = 3.15g$ ، $T_3 = 6.30g$) لمدة ثمانية أسابيع. في نهاية التجربة، تم إجراء تحليلات فيزيائية وكيميائية للتربة لقياس تأثير النترات على المعايير البيولوجية لديدان الأرض.

تظهر النتائج التأثيرات المعتمدة على الجرعة للنترات:

- النمو: حفزت المعالجة T_1 نمو الديدان بشكل مثالي، بينما كان للعلاج T_3 تأثير مثبط كبير، مما قلل بشكل كبير من نموها.

- البقاء على قيد الحياة: أظهرت الديدان المعرضة لـ T_1 معدل بقاء مرتفع، بينما قلل T_3 بشكل كبير من بقائها.
- التكاثر: سمحت المعالجة T_1 فقط بتكاثر محدود للديدان، في حين أن الجرعات الأعلى (T_2 و T_3) منعت هذه العملية تمامًا. تسلط هذه النتائج الضوء على أهمية ضبط جرعات النترات بدقة لتقليل آثارها السلبية على التنوع البيولوجي للتربة مع تعزيز الزراعة المستدامة.

الكلمات المفتاحية: *Lumbricus terrestris*، النترات، التربة، النمو، البقاء، التكاثر.

Title of the dissertation: Study of the effect of urea 46% on the growth, reproduction and survival of earthworms

Full name: Aicha Khalida Bouziane and Laalia Merdaci

Directed by: Nawal Mekersi

Abstract: Our study aims to evaluate the impact of nitrate (urea 46%) on the survival, growth, and reproduction of earthworms, particularly the species *Lumbricus terrestris*. A rigorous experimental protocol was set up, in which homogeneous samples of earthworms were placed in microcosms. The worms were exposed to different doses of nitrate (urea 46%) s ($T_0 =$ control, $T_1 = 1.57g$, $T_2 = 3.15g$, $T_3 = 6.30g$) for eight weeks. At the end of the experiment, physicochemical analyses of the soil were carried out to measure the impact of nitrate (urea 46%) s on the biological parameters of earthworms.

The results show the dose-dependent effects of nitrate (urea 46%):

- Growth: Treatment T_1 optimally stimulated worm growth, while treatment T_3 had a significant inhibitory effect, significantly reducing their development.
- Survival: Worms exposed to T_1 showed a high survival rate, while T_3 significantly reduced their survival.
- Reproduction: Only treatment T_1 allowed limited reproduction of worms, while higher doses (T_2 and T_3) completely inhibited this process.

These results highlight the importance of precisely adjusting nitrate doses to minimize their negative effects on soil biodiversity while promoting sustainable agriculture.

Key words: *Lumbricus terrestris*, Nitrate (urea 46%), Soil, Growth, Survival, Reproduction.

Titre du mémoire : Etude de l'effet de l'urée 46% sur la croissance, la reproduction, et la survie des lombrics

Nom et prénom : Bouziane Aicha Khalida et Merdaci Laalia

Encadreur : MEKERSI Nawal

Résumé

Notre étude vise à évaluer l'impact des nitrates (urée 46%) sur la survie, la croissance et reproduction des vers de terre, en particulier l'espèce *Lumbricus terrestris*. Un protocole expérimental rigoureux a été mis en place, dans lequel des échantillons homogènes de vers de terre ont été placés dans des microcosmes. Les vers ont été exposés à différentes doses de nitrate (urée 46%) (T0 = témoin, T1=1.57, T2=3.15g, T3=6.30g) pendant huit semaines. À la fin de l'expérimentation, des analyses physico-chimiques du sol ont été réalisées afin de mesurer l'impact des nitrates (urée 46%) sur les paramètres biologiques des vers de terre.

Les résultats montrent des effets dose-dépendants des nitrate (urée 46%) :

- Croissance : Le traitement T1 a stimulé la croissance des vers de manière optimale, alors que le traitement T3 a eu un effet inhibiteur important, réduisant considérablement leur développement.
- Survie : Les vers exposés à T1 ont affiché un taux de survie élevé, alors que T3 a considérablement réduit leur survie.
- Reproduction : Seul le traitement T1 a permis une reproduction limitée des vers, alors que les doses plus élevées (T2 et T3) ont complètement inhibé ce processus.

Ces résultats mettent en évidence l'importance de l'ajustement précis des doses de nitrate (urée 46%) pour minimiser leurs effets négatifs sur la biodiversité du sol, tout en favorisant une agriculture durable.

Mots-clés : *Lumbricus terrestris*, Nitrate (urée 46%), Sol, Croissance, Survie, Reproduction.