الشعبية الديمقراطية الجزائرية الجمهورية

REPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

العلمي والبحث العالي التعليم وزارة

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU

Faculté des sciences biologiques et agronomiques.

Département d'écologie

Mémoire en vue d'obtention d'un diplôme de Master

Domaine : Science de la nature et de la vie.

Filière : Ecologie et environnement.

Spécialité : Ecologie Animale.

Intitulé

L'effet de l'huile essentielle de clou de girofle (Syzygium aromaticum) sur les vers de terre (Lumbricus terrestris)

Présenté par : CHABANE Nadia

BOUZIT Hayet

Soutenu : Le 04/06/2025

Devant le jury composé de :

Président : Mr MEZANI Samir	**PROFESSEUR (UMMTO)**
Promotrice : Dr BENMMANSOUR Nadia	**MCA (UMMTO)**
Examinateur : Mr SADOU Sid Ali	**MCB (UMMTO)**

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers ALLAH, le Tout-

Puissant, pour la force et le courage qu'Il nous a accordés afin de mener à bien ce modeste travail.

Nous souhaitons adresser nos sincères remerciements à Mme le Docteur Bemmansour Nadia, qui a accepté de nous encadrer et de diriger ce travail. Nous lui sommes profondément reconnaissants pour le temps qu'elle a consacré à la réalisation de ce manuscrit, ainsi que pour ses conseils avisés et ses orientations, qui ont été déterminants dans la qualité de ce travail.

Nous tenons également à remercier Monsieur le Professeur Mizani, du département

D'Écologie et de l'Environnement de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, pour avoir accepté d'assurer la présidence du jury de notre mémoire de Master. Qu'il trouve ici l'expression de notre plus grand respect.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude à Monsieur le Docteur Sadou pour le temps qu'il a consacré à l'évaluation de notre travail. Nous lui sommes particulièrement reconnaissantes pour ses conseils éclairés, qui ont grandement contribué à l'amélioration de notre mémoire.

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude au Dr. Louadj et au Dr. Yamani pour leur disponibilité généreuse et leur soutien indéfectible. Nous les remercions sincèrement de nous avoir permis d'effectuer notre stage au sein de leur laboratoire, un environnement de travail enrichissant qui a grandement contribué à l'avancement de notre mémoire de fin d'études. Leur encadrement, leurs conseils et leur confiance ont été d'une aide précieuse tout au long de cette expérience.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à Madame Haouchine pour avoir facilité notre accès au laboratoire afin de réaliser nos expériences.

Dédicaces

La nuit ne devient agréable que par sa gratitude, et le jour ne devient beau que par sa lenteur… Et les moments ne sont doux qu'en mentionnant

Allah, Gloire a lui.

Le voyage a été long, parsemé de douceur et d'amertume. Me voici aujourd'hui, et avec la grâce de Dieu, ce travail est achevé.

Je dédie mon travail à celui qui a élevé et lutté pour moi… A celui dont je porte fièrement le nom :

Je prie Dieu que ta vie soit longue et que tu voies les fruits de tes efforts, car l'heure de la récolte est arrivée après une longue attente. Tes paroles resteront des étoiles qui me guideront aujourd'hui, demain, et pour toujours…

A toi, mon cher père.

A ma première passion, a celle qui incarne l'amour et la tendresse, à la source du sourire et du secret de l'existence…

A celle dont les prières m'ont accompagné dans mes réussites, et dont la tendresse a guéri mes blessures…

O Allah, garde-la et comble-la de santé et de bien-être… A toi, ma chère mère.

A mon pilier solide, la lumière de mes jours et la prunelle de mes yeux… ***mon frère Nabil et mes sœurs Lydia, Katia et Kahina.***

Pour son soutien indéfectible, ses encouragement constants et sa présence bienveillante tout au long de ce parcours. Merci d'avoir toujours cru en moi, ***A mon cher ami Lyes.***

A tous ceux qui ont été un appui et un soutien dans ce parcours, je vous dédie cette réussite et ce fruit tant attendu.

Aujourd'hui, je cueille les premiers fruits avec satisfaction, en espérant que Dieu m'enseigne ce qui m'est bénéfique, me soit utile par ce que j'ai appris, m'éloigne de l'ignorance et fasse de mon savoir un argument en ma faveur, et non contre moi.

C. Nadia

Dédicaces

Après un parcours de plusieurs années, chargé de nombreuses difficultés, d'efforts et de fatigue, me voici aujourd'hui au seuil de mon diplôme, récoltant les fruits de ma peine et levant fièrement ma tête. Louange à Dieu avant tout, car la louange est due à lui si je suis satisfaite, et a lui revient la gratitude après l'accomplissement. Il m'a guidé vers la réussite après tant de travail et de persévérance.

J'offre ce succès à celui qui a embelli mon nom par les plus beaux titres, a celui qui m'a soutenue sans limites, donné sans attendre de retour, a celui qui m'a appris que le monde est un combat et que son arme est le savoir et la connaissance, a celui qui a implanté en mon âme les plus nobles valeurs, qui a été mon premier soutien dans mon parcours, ma force et mon appui après Dieu...

A ma fierté et mon honneur... mon père.

A celle dont Dieu a fait le paradis sous ses pieds, qui m'a prise dans ses bras avant même ma naissance, qui a supporté les difficultés en priant pour moi...

A mon cœur, ma lumière et ma chandelle dans les nuits obscures... ma mère.

A mon pilier solide, la lumière de mes jours et la prunelle de mes yeux... ***mon unique frère Idir et mes sœurs Samira, Khadija et Ouiza.***

Et enfin, à moi-même, qui aujourd'hui accomplis se rêve avec foi et gratitude envers Dieu, qui m'a permis d'atteindre cette étape et d'ériger ma réussite comme une preuve à présenter devant lui.

Avec tout mon amour pour les petits trésors, Zayn et Amira.

B. Hayet

L’effet de l’huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) sur les vers de terre.

Résumé

Les substances naturelles, et en particulier les huiles essentielles, émergent comme une alternative prometteuse aux pesticides chimiques, souvent associés à des conséquences néfastes tant pour l’environnement que pour la santé humaine. Cette étude a pour objectif d’évaluer l’activité insecticide de l’huile essentielle de Syzygium aromaticum (clou de girofle) sur les vers de terre, qui jouent un rôle crucial dans la santé des sols et la productivité agricole.

Nous avons testé l’efficacité de cette huile essentielle à différentes concentrations (0,1 ; 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 et 2,5 %) et sur des périodes d’exposition de 24, 48 et 72 heures. Les vers de terre ont été soumis à diverses concentrations d’huile essentielle dans des conditions contrôlées, et les observations concernant les taux de mortalité ainsi que les comportements des organismes ont été enregistrées après chaque intervalle de temps.

L’analyse des données, réalisée à l’aide du logiciel Excel version 2007, révèle qu’aucune mortalité n’a été observée à des concentrations de 0 % et 0,5 %, indiquant une toxicité minimale. À 1 %, des signes de stress sont notés, mais la mortalité reste relativement faible. À 2 %, 50 % des vers de terre meurent après 24 heures, tandis qu’à 2,5 %, la totalité des vers est décédée après 48 heures, ce qui témoigne d’une toxicité maximale.

Les résultats suggèrent qu’une concentration inférieure à 1 % pourrait favoriser la survie des vers de terre tout en agissant comme un biopesticide efficace. Par conséquent, l’huile essentielle de Syzygium aromaticum pourrait potentiellement contribuer à la protection des vers de terre et à la promotion d’une agriculture durable. Toutefois, cette recherche se limite aux vers de terre, et il serait prudent de ne pas extrapoler ces résultats à d’autres organismes du sol. Enfin, des études complémentaires sont nécessaires pour examiner les mécanismes d’action et la compatibilité de cette approche avec d’autres pratiques agricoles durables.

Mots clés : : huile essentielle, *Syzygium aromaticum*, vers de terre, biopesticide.

The effect of clove essential oil (*Syzygium aromaticum*) on earthworms.

Summary

Natural substances, particularly essential oils, are emerging as a promising alternative to chemical pesticides, which are often associated with harmful consequences for both the environment and human health. This study aims to evaluate the insecticidal activity of the essential oil of Syzygium aromaticum (clove) on earthworms, which play a crucial role in soil health and agricultural productivity. We tested the effectiveness of this essential oil at various concentrations (0.1, 0.5, 1, 1.5, 2, and 2.5%) and over exposure periods of 24, 48, and 72 hours. The earthworms were subjected to different concentrations of essential oil under controlled conditions, and observations regarding mortality rates as well as organism behaviors were recorded after each time interval. Data analysis, conducted using Excel version 2007, reveals that no mortality was observed at concentrations of 0% and 0.5%, indicating minimal toxicity. At 1%, signs of stress were noted, but mortality remained relatively low. At 2%, 50% of the earthworms died after 24 hours, while at 2.5%, the totality of the worms had died after 48 hours, indicating maximum toxicity.

The results suggest that a concentration lower than 1% could promote the survival of earthworms while acting as an effective biopesticide. Therefore, the essential oil of Syzygium aromaticum could potentially contribute to the protection of earthworms and the promotion of sustainable agriculture. However, this research is limited to earthworms, and it would be prudent not to extrapolate these results to other soil organisms. Finally, further studies are necessary to examine the mechanisms of action and the compatibility of this approach with other sustainable agricultural practices.

Keywords: essential oil, *Syzygium aromaticum*, earthworms, biopesticide.

العنوان تأثير زيت القرنفل على الديدان الأرضية

الملخص :

المواد الطبيعية وخاصة الزيوت الأساسية تظهر كبديل للمبيدات الكيميائية التي غالبا ما ترتبط بعواقب ضارة على البيئة وصحة الإنسان. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم النشاط الحشري لزيت القرنفل على ديدان الأرض التي تلعب دورًا حاسمًا في صحة التربة وإنتاجية الزراعة.

لقد اختبرنا فعالية هذا الزيت الأساسي بتركيزات مختلفة (0.1؛ 0.5؛ 1؛ 1.5؛ 2 و2.5٪) وعلى فترات تعرض لمدة 24 و48و72 ساعة. تم تعريض ديدان الأرض لتركيزات مختلفة من الزيت الأساسي في ظروف محكومة، وتم تسجيل الملاحظات المتعلقة بمعدلات الوفيات وسلوك الكائنات بعد كل فترة زمنية.

الإصدار 2007، يكشف أنه لم يتم ملاحظة أي وفيات عند Excel تحليل البيانات، الذي تم إجراؤه باستخدام برنامج تركيزات 0٪ و0.5٪، مما يشير إلى سمية منخفضة. عند 1٪، تم ملاحظة علامات توتر، لكن معدل الوفيات يبقى منخفضًا نسبيًا. عند 2٪، تموت 50٪ من ديدان الأرض بعد 24 ساعة، بينما عند 2.5٪، تموت جميع الديدان بعد 48 ساعة، مما يدل سمية قصوى.

تشير النتائج إلى أن تركيزًا أقل من 1٪ قد يعزز من بقاء ديدان الأرض مع العمل كمبيد وبالتالي، قد يساهم زيت القرنفل الأساسي في حماية ديدان الأرض وتعزيز الزراعة المستدامة. ومع ذلك، تقتصر هذه البحث على ديدان الأرض وسيكون من الحكمة عدم تعميم هذه النتائج على كائنات أخرى في التربة.

أخيرًا، هناك حاجة إلى دراسات إضافية لاستكشاف آليات العمل والتوافق بين هذه المقاربة وممارسات الزراعة المستدامة الأخرى.

الكلمات المفتاحية: زيت عطري، ديدان الأرض, مبيد حيوي

TABLE DES MATIERES

Introduction **1**

Chapitre 01 : La biologie et l'écologie des lombriciens : **4**

1.Généralités sur les vers de terre 4

1.1. Présentation des vers de terres 4

2. Biologie des lombriciens 5

2.1. Morphologie 5

2.2. Classification des vers de terre 7

3.La biologie 9

3.1. La respiration 9

3.2. Reproduction et longévité 10

3.3. Durée de vie et temps de génération 12

3.4. Cycle annuel des activités 12

3.5. Nutrition 13

4. Impact des lombriciens sur le sol 13

4.1. Physique du sol 13

4.2. Stabilité structurale des sols 13

4.3. Sensibilité : 14

4.4. Régénération 14

4.5. Biomasse et densité des lombrics 14

5- Ecologie des lombriciens 14

6- Le rôle écologique des lombriciens 14

Chapitre 02 : Clou de girofle (Syzygium aromaticum) : caractéristiques et propriétés **16**

1- Présentation de la plante : 16

1-1- Données botaniques : 16

1-2 : Description et caractéristiques 16

2- Le clou de girofle 18

2-1- Description et historique 18

3-La répartition géographique du clou de girofle 18

4- Nomenclature et dénomination mondiale : 19

5- Classification 20

6- Composition chimique du clou de girofle 20

7- Généralités sur l'huile essentielle de Clou de Girofle : 21

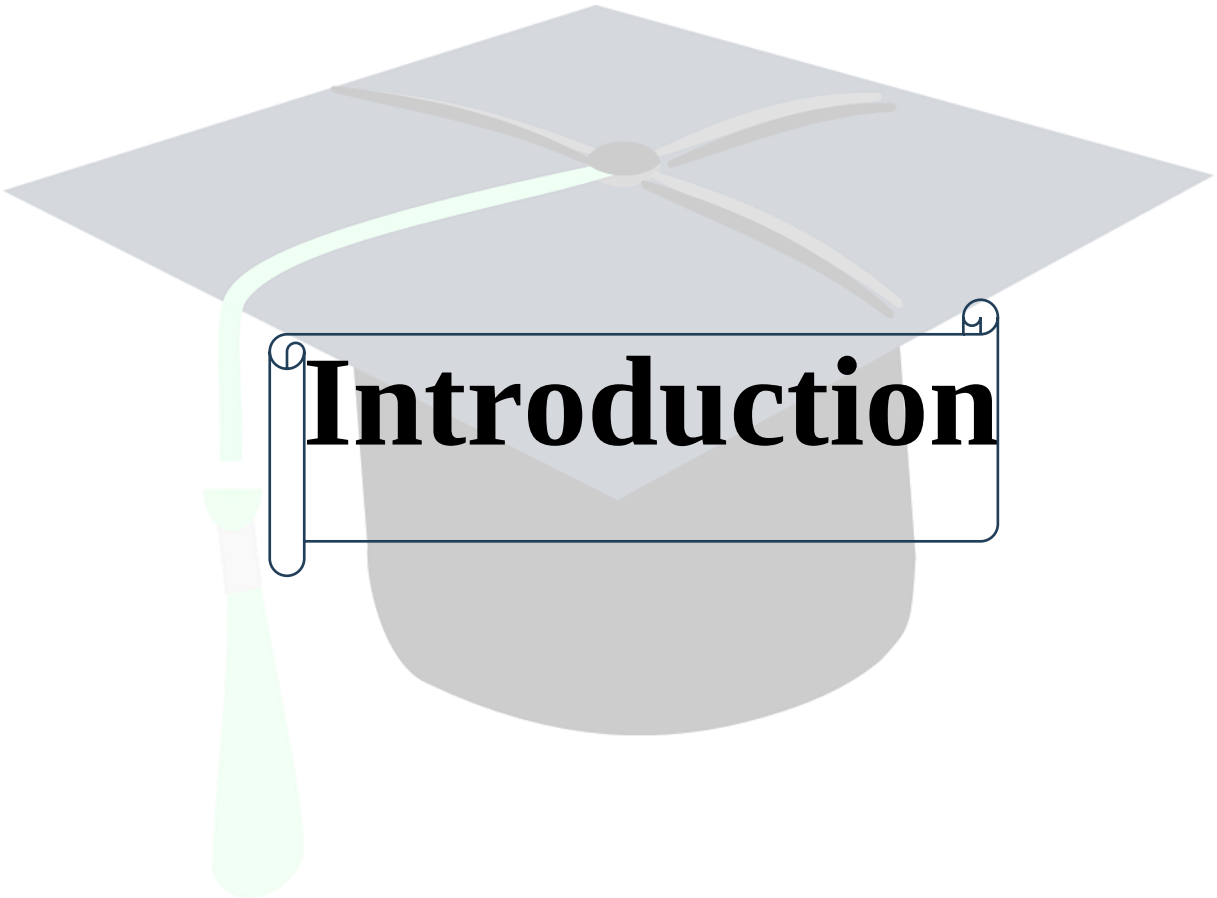
7-1- Définition 21
7-2- Caractéristiques de l'huile essentielle de clou de girofle (Syzygium aromaticum) 21
7-3- Propriétés de l'huile essentielle de clou de girofle 21
7.4. Propriétés physico-chimiques 23
7.5. Propriétés biologiques 23
8. Impact des composés actifs sur les lombrics 23
8.1. Effets sur la biologie des lombrics 24
8.2. Toxicité et sécurité 24
9. Applications traditionnelles et modernes 24
9.1. Utilisation en phytothérapie 24
9.2. Utilisation en agriculture biologique 24
Partie 02 : Matériel et Méthodes 25
1. Matériel 26
1.1. Matériel végétal 26
1.2. Matériel animale 26
2. Méthodes 27
2.1. Extraction de l'huile essentielle de clous de girofle 28
2.2. Préparation des solutions d'huile essentielle : 29
2.3. Préparation des milieux de culture 30
2.4. Préparation de l'environnement d'expérimentation 31
2.5. Méthodes expérimentales 31
3. Expression des résultats 33
3.1. Calcul de la mortalité corrigée 33
4. Évaluation de la Toxicité de l'Huile Essentielle sur les Vers de Terre : Méthodologie 33
Méthodologie 33
4.1. Analyse statistique des données 33
Partie 03 : Résultats et Discussion 34
1.Résultats 35
Interprétations 36
Analyse des résultats 38
2.Analyse de la Dose Létale 50 (DL50) : 44
Interprétation de (R^2) 44
Discussion : 46
Conclusion 48
Références bibliographiques : 49

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1: PHOTO PRISE D'UN VER DE TERRE 4
FIGURE 2: ASPECT GENERAL D'UN VER DE TERRE 5
FIGURE 3: LA MORPHOLOGIE D'UN VER DE TERRE 5
FIGURE 4: LA MORPHOLOGIE EXTERNE D'UN VER DE TERRE 6
FIGURE 5: ANATOMIE INTERNE D'UN VER DE TERRE 7
FIGURE 6: VER DE TERRE EPIGE 8
FIGURE 7: VER DE TERRE ANECIQUE 9
FIGURE 8: VER DE TERRE ENDOGE 9
FIGURE 9: SCHEMA DU FONCTIONNEMENT DE LA RESPIRATION DU VER DE TERRE 10
FIGURE 10: LES ORGANES REPRODUCTEURS 11
FIGURE 11: L'ACCOUPLEMENT CHEZ LES LOMBRICIENS 11
FIGURE 12: LA REPRODUCTION CHER LE LOMBRICIEN 12
FIGURE 13: ALLURE D'UN GIROFLIER DE MADAGASCAR 17
FIGURE 14: FEUILLES DE GIROFLE JEUNES ET MATURES 18
FIGURE 15: LES CLOUS DE GIROFLE AVANT SECHAGE 19
FIGURE 16: LES CLOUS DE GIROFLE APRES SECHAGE 19
FIGURE 17: LES ZONES EXPLOITEES DANS LA PRODUCTION DE GIROFLE A MADAGASCAR 20
FIGURE 18: FORMULE SEMI-DEVELOPPEE DE L'EUGENOL 23
FIGURE 19: MATIERE VEGETAL DE CLOU DE GIROFLE 27
Figure 20 : Carte géographique de la zone de collecte des vers de terre 27
FIGURE 21: A. EXTRACTION DE L'HUILE ESSENTIELLE DU CLOU DE GIROFLE PAR HYDRO DISTILLATION. B. LE DISTILLAT RECUPERE APRES 3H D'HYDRO DISTILLATION 29
FIGURE 22: ANALYSE COMPARATIVE DES SOLS: ECHANTILLONS DISPOSES EN RECIPIENT 32
FIGURE 23: ECHANTILLONS DES DOSES DE L'EH DE CLOU DE GIROFLE A DIFFERENTS POURCENTAGES, DISPOSES POUR UNE ANALYSE COMPARATIVE EN LABORATOIRE 33
FIGURE 24: L'EFFET DE CONCENTRATION ET DU TEMPS SUR LE COMPORTEMENT DES VERS DE TERRE 37
FIGURE 25: IMPACT DE LA CONCENTRATION SUR LE TAUX DE MORTALITE DES VERS DE TERRE 38
FIGURE 26: RELATION ENTRE LA CONCENTRATION DE LE TAUX DE MORTALITE: ANALYSE DES EFFETS DE TOXICITE 39
FIGURE 27: ANALYSE DE LA MORTALITE ET DE LA SURVIE DES VERS DE TERRE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION 40
FIGURE 28: EFFET DE LA CONCENTRATION SUR LE NOMBRE DE SURVIVANTS ET LA TAILLE DES BULLES 41
FIGURE 29: COMPARAISON DES NOMBRES DE MORTS ET DE SURVIVANTS SELON LA CONCENTRATION (%) 42
FIGURE 30: EVOLUTION DU NOMBRE DE MORTS ET DE SURVIVANT EN FONCTION DU TEMPS ET DE LA CONCENTRATION 44
FIGURE 31: ANALYSE DE LA DOSE LETALE 50 (DL50) PAR REGRESSION LINEAIRE 46

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: CLASSIFICATION TAXONOMIQUE DES VERS DE TERRE 7
TABLEAU 2: NOMENCLATURE DE CLOU DE GIROFLE 21
TABLEAU 3: CLASSIFICATION DE L'ESPECE SYZYGIUM AROMATICUM 21
TABLEAU 4: COMPOSANTES DE L'HUILE ESSENTIELLE DE CLOU DE GIROFLE 23
TABLEAU 5: CONCENTRATIONS EN FONCTION DU TEMPS ET DU COMPORTEMENT OBSERVE 36
TABLEAU 6: RECAPITULATIF DES TAUX DE MORTALITE 38



Introduction

La diversité du monde végétal, en particulier des espèces de plantes, constitue un domaine fascinant pour la recherche en biologie et en molécules bioactives. Depuis des siècles, les plantes aromatiques et médicinales sont utilisées dans diverses cultures pour leurs propriétés thérapeutiques, et elles représentent une source indispensable de molécules médicamenteuses offrant une large gamme d'activités biologiques. Ces substances naturelles ont été employées dans le traitement de diverses maladies, présentant peu d'effets indésirables ou secondaires notables chez les patients. Cela les distingue des nombreuses molécules thérapeutiques utilisées en pharmacologie moderne, qui ont été retirées du marché en raison d'effets indésirables notés au fil du temps.

Le clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) est l'une de ces plantes aux multiples propriétés. Originaire de Madagascar, de la Réunion et des Antilles, le giroflier est également cultivé en Indonésie et en Tanzanie. Ce dernier renferme une quantité significative d'huile essentielle, correspondant à 15 à 20% de sa composition. Le pédoncule floral (griffes) contient entre 5 et 6% d'huile, tandis que les feuilles en contiennent de 3 à 4%. L'huile de girofle est particulièrement riche en eugénol, représentant de 70 à 85% de sa composition, et contient également d'autres composés terpéniques tels que 10% de caryophyllène, ainsi que des composés aliphatiques, aromatiques et hétérocycliques, en plus de tanins, d'amidon et de matières fibreuses cellulosiques (Chardon, 2019).

La biomasse animale, quant à elle, se divise en quatre catégories selon la taille des organismes : microfaune, mésofaune, macrofaune et mégafaune. Cette biomasse peut représenter jusqu'à 20% de la masse totale de la fraction biologique d'un sol de prairie. Les effets de la faune du sol incluent des mécanismes de macro-brassage, de micro-brassage, la formation de galeries, la fragmentation de la matière organique fraîche, ainsi qu'un mélange intime entre la matière organique et les minéraux du sol. Ces activités sont essentielles pour le développement des qualités agronomiques d'un sol

(Chabalier et *al*., 2006).

Les vers de terre, souvent qualifiés d'ingénieurs écologiques, jouent un rôle crucial dans la structuration du sol (Saurel et al., 2010) ainsi que dans les cycles biogéochimiques (Jandl et Wenzel,2011). Selon Darwin (1890), ces organismes se répartissent à l'échelle mondiale en plusieurs genres.

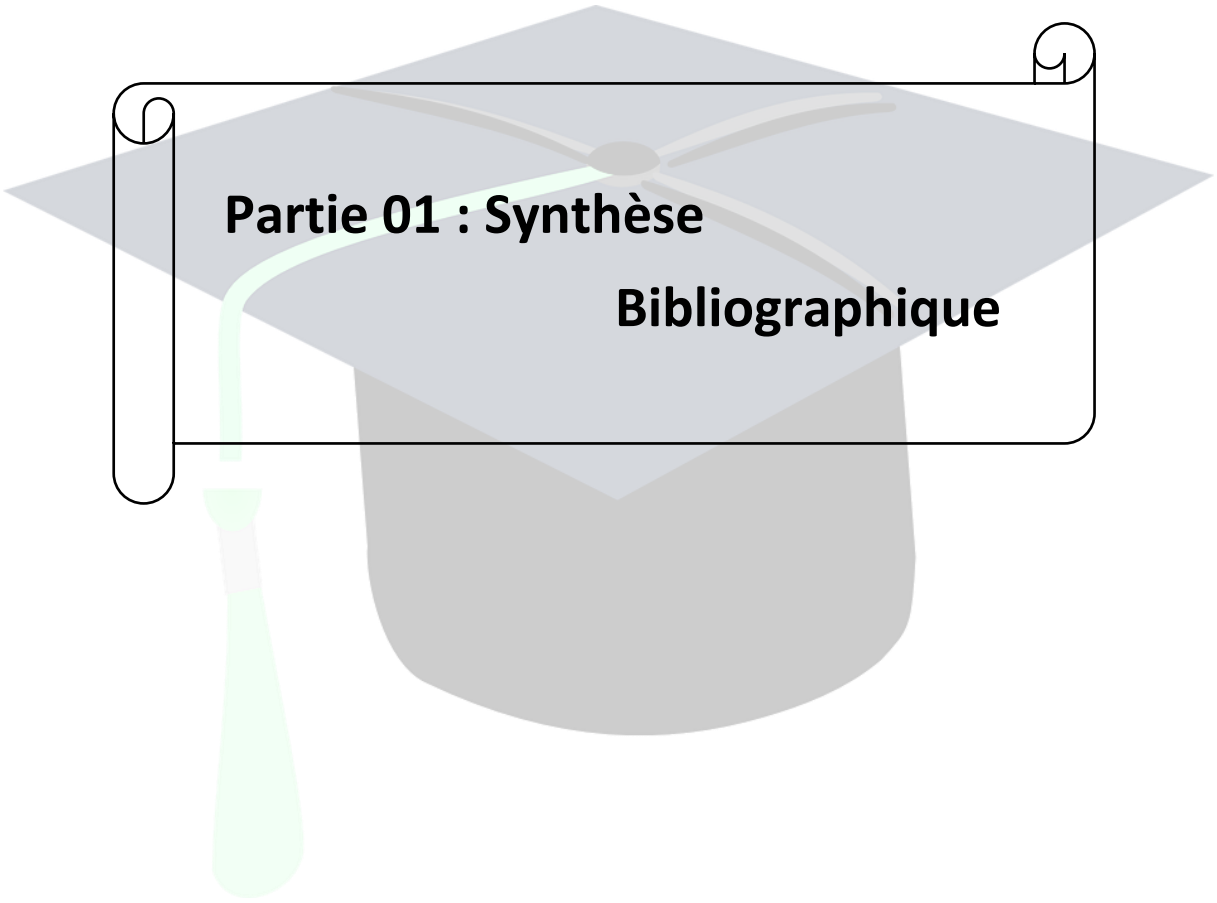
L'identification des vers de terre a révélé l'existence de plus de 3000 espèces dans le monde, dont une centaine en France. Ils constituent environ 70% de la biomasse animale terrestre dans les zones tempérées (Vigot et Cluzeau, 2014). En Europe, on recense près de 400 espèces de vers de terre, dont 40 en Suisse (Pfiffner, 2013).

Cette étude vise à répondre à la problématique suivante : quel est l'impact de l'huile essentielle de clou de girofle sur le comportement et la santé des lombriciens ? Nous postulons que l'huile essentielle de clou de girofle a un effet significatif sur le comportement et la santé des lombriciens, entraînant une modification observable de leurs comportements de locomotion et de survie en fonction de la concentration d'extrait utilisée. Pour ce faire, les objectifs principaux de cette recherche sont d'une part d'extraire l'huile essentielle de clou de girofle et d'autre part d'évaluer l'activité de cet extrait sur le comportement des lombriciens.

La méthodologie adoptée dans cette étude comprend l'extraction de l'huile essentielle par distillation à la vapeur d'eau, suivie d'une évaluation quantitative et qualitative de son effet sur les vers de terre à l'aide de tests de comportement et de survie. Les vers de terre seront exposés à différentes concentrations de l'huile essentielle pendant des périodes déterminées, et les résultats seront analysés à l'aide d'outils statistiques appropriés.

Ce mémoire se divise en deux parties. La première partie est consacrée à une étude bibliographique sur l'espèce Syzygium aromaticum, mettant en lumière les propriétés de son huile essentielle ainsi que la biologie et l'écologie des vers de terre. La seconde partie présente la méthodologie expérimentale, les résultats obtenus, suivis d'une discussion et d'une conclusion générale. L'importance de cette étude réside dans son potentiel à contribuer à la recherche sur les biopesticides naturels et à promouvoir des pratiques agricoles durables, en soulignant le rôle bénéfique de l'huile essentielle de clou de girofle dans la santé des sols.





Partie 01 : Synthèse Bibliographique

Chapitre 01 : La biologie et l'écologie des lombriciens :

1.Généralités sur les vers de terre :

1.1. Présentation des vers de terres

Les Lombricidé sont des métazoaires, triploblastes, 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 du macrofaune du sol puisque, dans la plupart des écosystèmes terrestres, ils dominent en biomasse. (Edwards et Bohlen, 1995).



Figure 1. **A**. Les vers de terre (**Photographie originale, 2025**) **B**. Un ver de terre plus détaillé (**Edwards, 1996**)

D'après Lavelle et Spain (2001), Les lombriciens (vers de terre) sont des animaux qui appartiennent au macrofaune du sol. Ils se distinguent par une anatomie allongée et circulaire. Leurs corps sont constitués par une série de nombreux anneaux successifs appelés « métamères » (de 60 à 200), lesquels ont tous une anatomie à peu près semblable et se répétant régulièrement. Le corps est annelé, composé d'anneaux. Le premier segment est appelé "Positonium", le second "Peristomium" et le dernier "Pygidium". Comme tous les Oligochètes terrestres les vers de terre n'ont ni yeux, ni tête distincte. Cependant ils possèdent une forte densité de cellules sensorielles (Bazri, 2015).

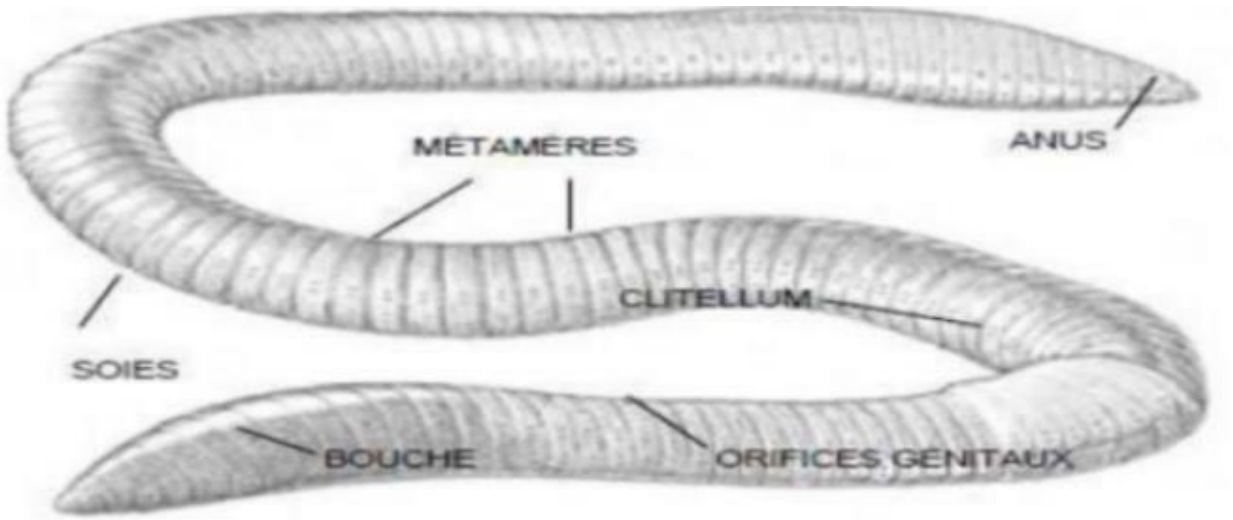


Figure 2. Aspect général d'un ver de terre (Bouché, 1972).

2. Biologie des lombriciens :

2.1. Morphologie :

Les vers de terre ont un corps mou, composé d'une succession d'anneaux (embranchement des annélides). Chaque anneau possède 8 petits poils (soies) qui permettent au ver de se déplacer Sur et dans le sol. La présence d'une bague protubérante (Clitellum) chez les adultes permet de les distinguer des juvéniles. Cette bague, les puberculum et le port mâle sont impliqués dans la reproduction.

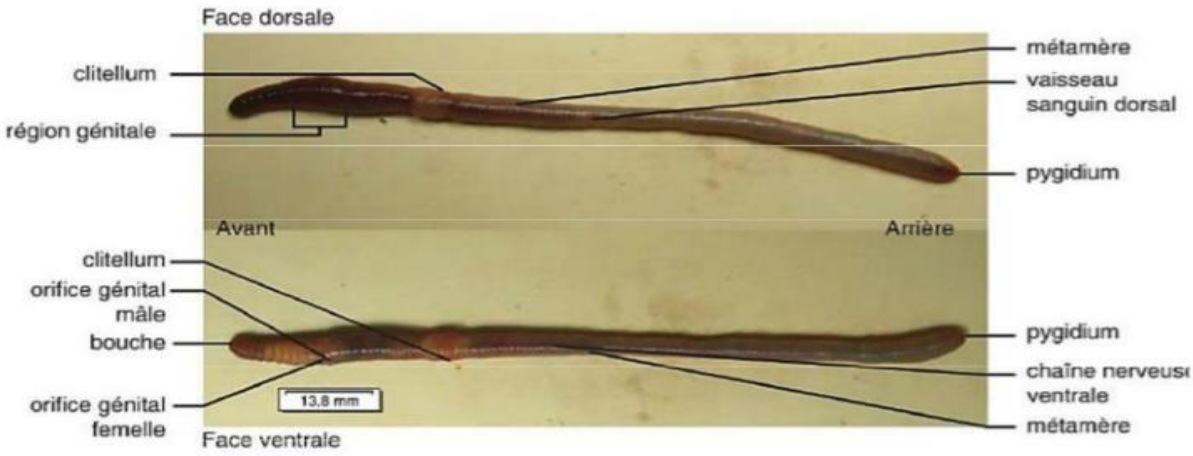


Figure 3. La morphologie d'un ver de terre (Bazri, 2015).

2.2.1. Morphologie externe du ver de terre :

La dissection est destinée à prélever intact l'ensemble jabot-gésier. Inciser la paroi du corps avec des ciseaux fins dans la région antérieure le long d'une ligne dorsale allant de la tête à l'arrière du clitellum et écarter les parois du corps avant de les épingler de part et d'autre de l'incision. Le tube digestif s'étend d'un bout à l'autre du corps. De la bouche à l'anus, il comporte successivement le pharynx, l'œsophage, le jabot et le gésier puis l'intestin.

Le jabot et le gésier sont situés en arrière des vésicules séminales facilement identifiables une fois ouverte la paroi de la région antérieure du corps. Le jabot ne semble pas jouer de rôle important dans la digestion tandis que le gésier qui contient des particules minérales venues du sol assure le broyage des aliments par les contractions de son épaisse paroi musculaire.

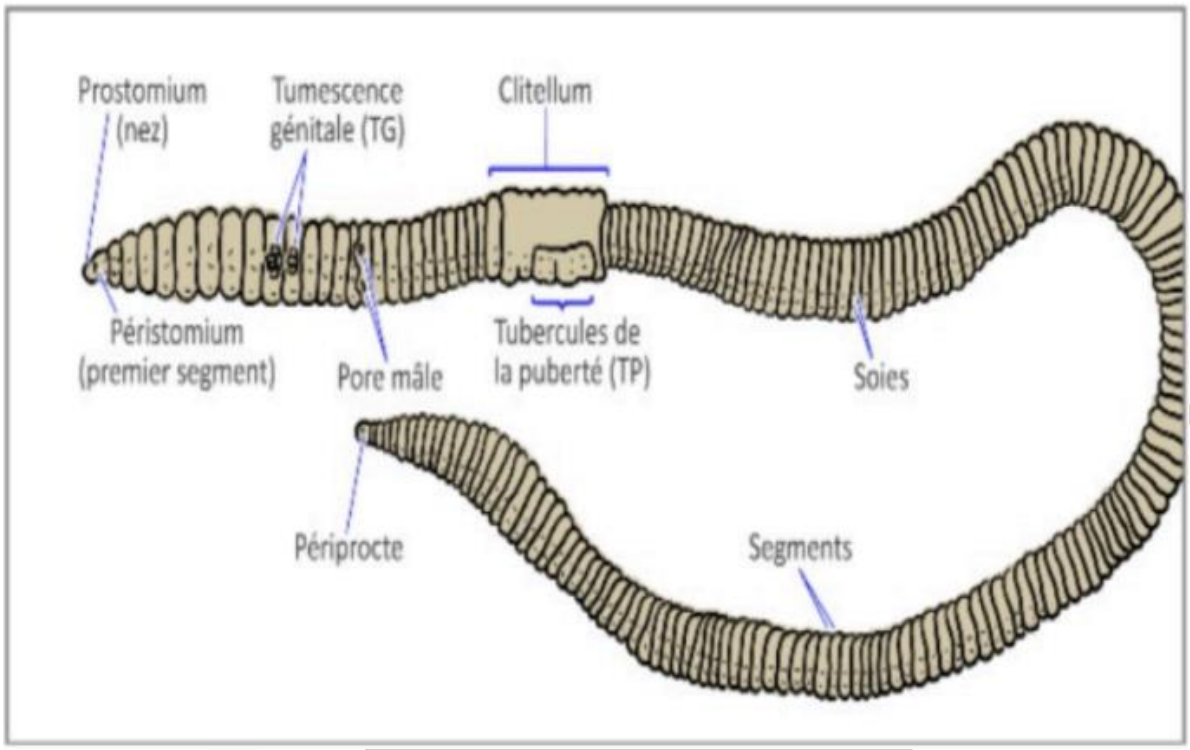


Figure 4. La morphologie externe d'un ver de terre (Bachelier, 1963).

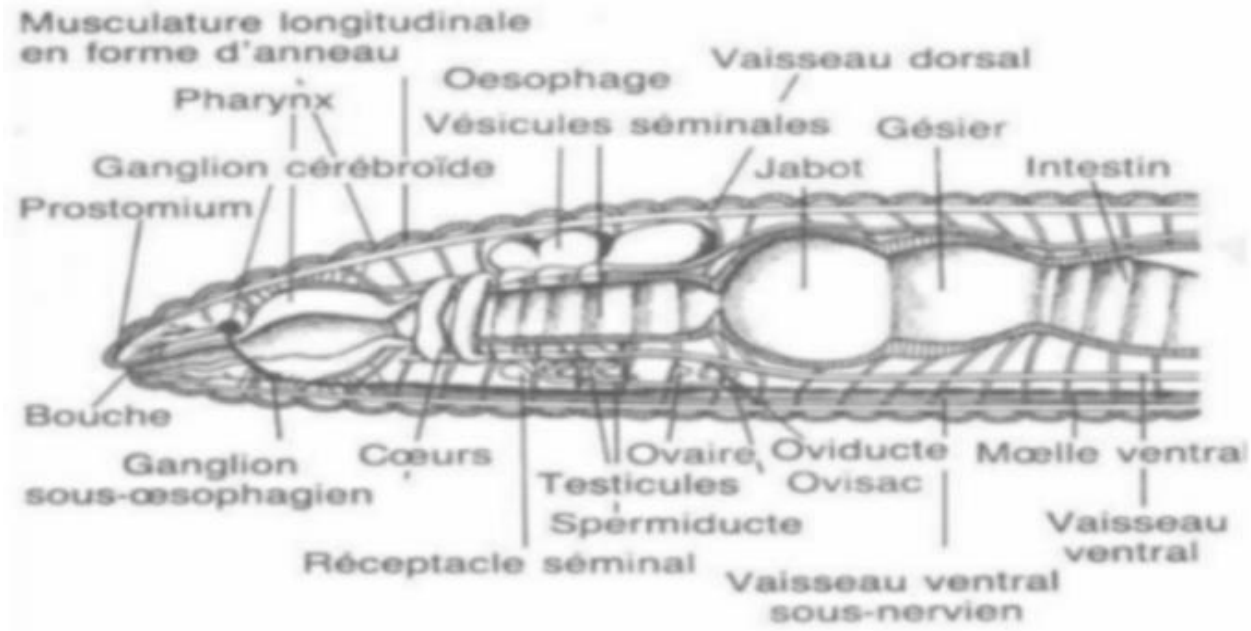


Figure 5. Anatomie interne d'un ver de terre (Buch, 1991).

2.2. Classification des vers de terre

2.2.1. Classification taxinomique

D'après (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 (Morin, 1999).

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 taxonomique 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. (Razafindrakoto, 2013).

L'identification des espèces de lombrics : telles que Eisenia fetida et Lumbricus terrestris, est essentielle dans le cadre d'études écologiques et agronomiques.

Ces deux espèces appartiennent au phylum des annélides et à la classe des oligochètes, mais elles présentent des caractéristiques morphologiques, écologiques et comportementales distinctes.

Eisenia fetida

Eisenia fetida, communément appelé le ver de fumier ou le ver de compost, est largement utilisé dans les systèmes de vermicompostage en raison de sa capacité à décomposer la matière organique. Voici quelques caractéristiques clés :

1. Morphologie : E. fetida est généralement de taille plus petite que Lumbricus terrestris, avec une longueur d'environ 7 à 10 centimètres. Son corps est cylindrique et très segmenté, avec une coloration brunâtre à rougeâtre. Une des caractéristiques distinctives est la présence de stries longitudinales, qui sont des lignes visibles sur le corps du ver. Leur clitellum, une région gonflée du corps, est bien développé et apparaît généralement en période de reproduction

2. Habitat : Cette espèce est souvent trouvée dans les tas de compost, le fumier et les sols riches en matière organique. Elle préfère les environnements humides et est adaptée à des conditions de haute densité de matière organique.

3. Rôle Écologique : E. fetida joue un rôle crucial dans le recyclage des nutriments et l'amélioration de la structure du sol. En ingérant et en digérant la matière organique, ces vers contribuent à la formation de compost de haute qualité, favorisant ainsi la fertilité du sol (Dominguez & Edwards, 2010).

Lumbricus terrestris

Lumbricus terrestris, connu sous le nom de ver de terre commun, est une espèce plus grande et bien connue pour son rôle dans les écosystèmes terrestres. Voici ses caractéristiques distinctives :

1. Morphologie : L. terrestris (10 et 30cm) peut atteindre jusqu'à 30 centimètres de long. Son corps est également segmenté, mais il est généralement plus épais et plus robuste que celui de E. fetida.

2. Le clitellum est également présent, mais il est situé plus en avant sur le corps du ver. Sa coloration est variable, allant du rose au brun, avec une texture lisse (Gates, 1972).

3. Habitat : Contrairement à E. fetida, L. terrestris est souvent trouvé dans les sols agricoles et forestiers. Il préfère les sols argileux et est capable de creuser profondément dans le sol, ce qui lui permet d'accéder à des couches plus profondes d'humidité et de nutriments.

4. Rôle Écologique : L. terrestris est essentiel pour l'aération et le drainage du sol. En créant des tunnels, ces vers améliorent la circulation de l'air et de l'eau dans le sol, favorisant ainsi la croissance des racines des plantes.

Ils participent également à la décomposition de la matière organique et au recyclage des nutriments (Bouché, 1977).

Comparaison et Importance

Bien que Eisenia fetida et Lumbricus terrestris partagent des similarités en tant qu'oligochètes et jouent tous deux des rôles importants dans l'écosystème, leurs habitats, leur taille et leurs contributions écologiques diffèrent. Tandis que L. terrestris est principalement associé aux sols et est un indicateur de la santé des écosystèmes terrestres, E. fetida est particulièrement valorisé pour son utilisation en compostage et dans l'agriculture durable.

2.2.2. Classification écologique : La classification écologique est comme suit :

2.2.2.1. Espèce épigée

Ils vivent et se nourrissent dans les couches de surface, principalement la litière, leurs tailles à l'état adulte est petite à moyenne (10-30mm), ils sont de pigmentation sombre souvent ventrale et dorsale. Ces espèces sont caractérisés par des mouvements rapides en repenses à perturbations, leurs stratégies pour survie à la sécheresse est de former des cocons. Les épigées sont exposés à la prédation surtout par les oiseaux. L'espèce caractéristique peut être Lumbricus castaneus Sav. (Autres espèces : *Eisenia fetida*, *Dendrobaena octaedra)*.



Figure 6. Ver de terre épigé (Blanchart, 2006).

2.2.2.2. Espèce anécique

Ils s'enfouissent dans le sol mais se nourrissent à la surface, leur taille à l'état adulte est grande (10-110cm), 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*



Figure 7. Ver de terre anécique (Bouché, 1972).

2.2.2.3. Espèce endogée

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 prédations par des oiseaux qui creusent le sol et des arthropodes prédateurs. Espèces caractéristiques : *Allolobophora icterica., Vignysa popi* (Bouché, 1977)



Figure 8. Ver de terre endogé (Bouché, 1977).

3.La biologie

3.1. La respiration

Le lombricien ne possède ni poumons ni branchies pour respires ,la prise d'oxygène se fait par toute la surface du corps grâce à peu qui assimile directement l'oxygène dissous l'eau c'est pour cette raison que les vers de terre doivent toujours maintenir leur peau humide .ils se protègent du rayonnement solaire en se dissimulant dans la végétation et dans le sol et vont émerger à la surface seulement à la nuit venus comme le lombricien .si un verre et sorti de terre et exposé à la lumière solaire ,il essaiera de se protéger du des sèchement qui entraine la mort par des sécrétions d'un mucus protecteur.

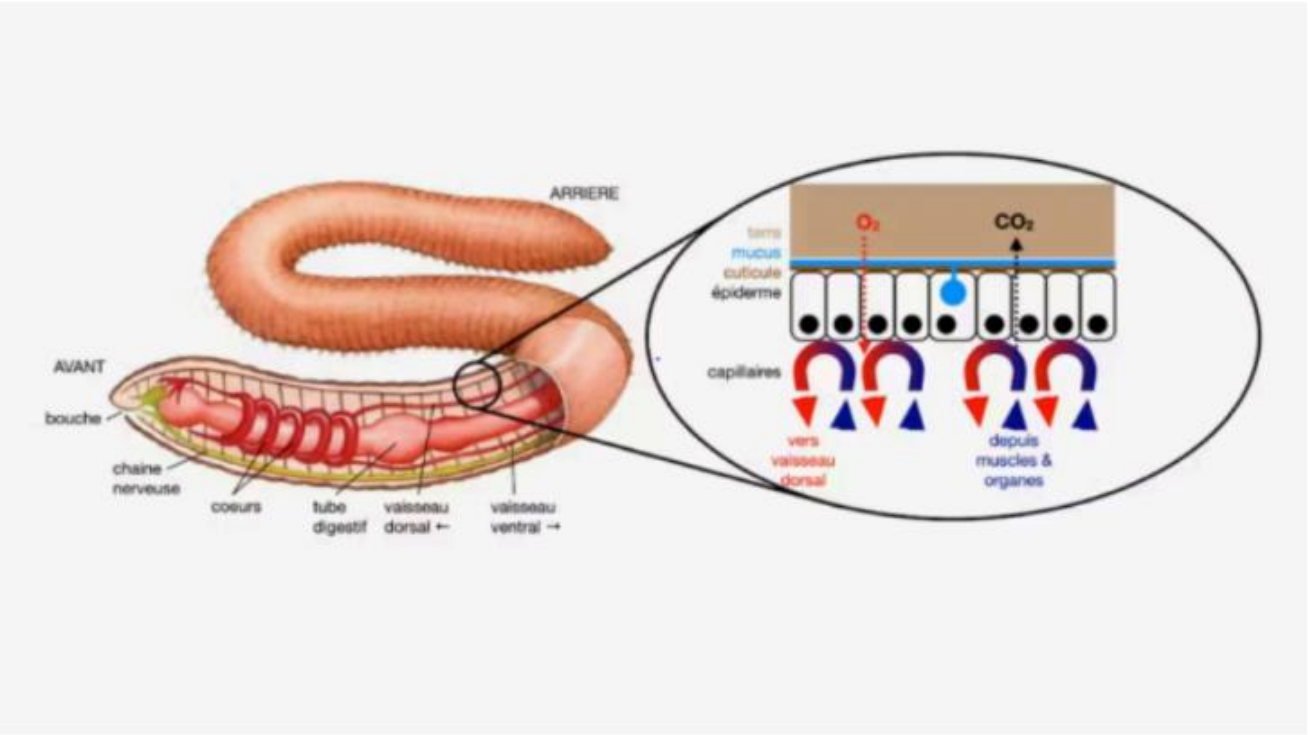


Figure 9. Schéma du fonctionnement de la respiration du ver de terre (Lallier, 1998)

3.2. Reproduction et longévité :

Les vers de terre sont hermaphrodites, bien que l'autofécondation soit rare. Ils se reproduisent principalement au printemps et à l'automne, lorsque les conditions de température et d'humidité sont favorables (Herger, 2003 ; Vigot et Cluzeau, 2014). L'accouplement a lieu la nuit à la surface du sol (Bachelier, 1978 ; Herger, 1968).

La maturité sexuelle se caractérise par l'épaississement du clitellum et la présence d'un mucus spécifique. Les organes reproducteurs mâles se situent sur les segments 9 à 15, tandis que ceux des femelles se trouvent sur les segments 13 et 14. Les spermatozoïdes migrent dans les réceptacles séminaux (spermathèque). Lors de l'accouplement, les deux lombrics agissent comme mâles, et après la fécondation externe, un cocon se forme (Gauer, 2007).

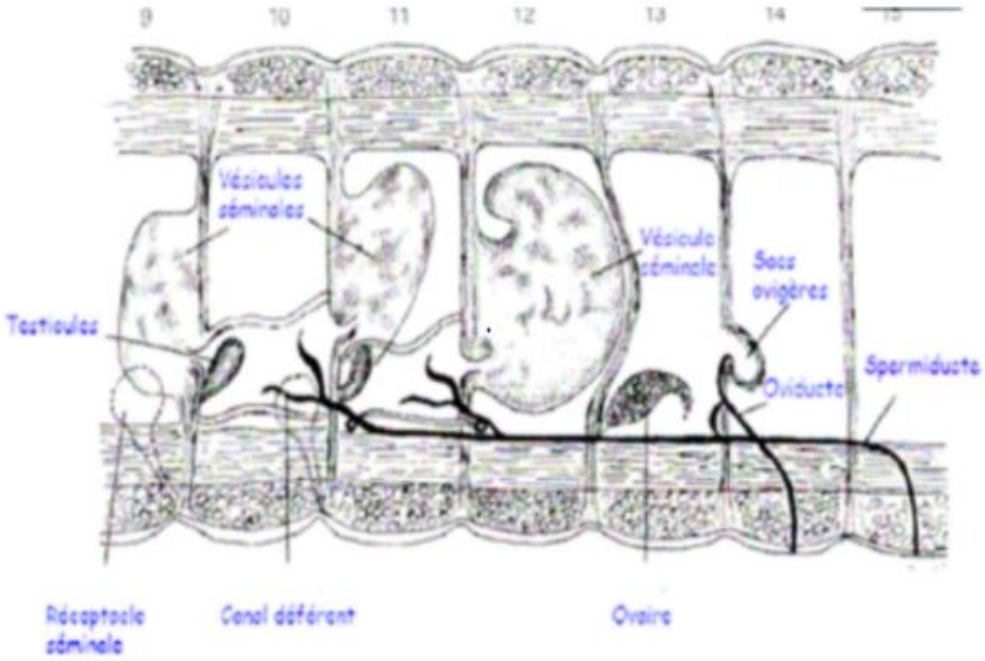


Figure 10. Les organes reproducteurs (Gauer, 2007)



Figure 11. L'accouplement chez les lombriciens (Tremblay, 2014)

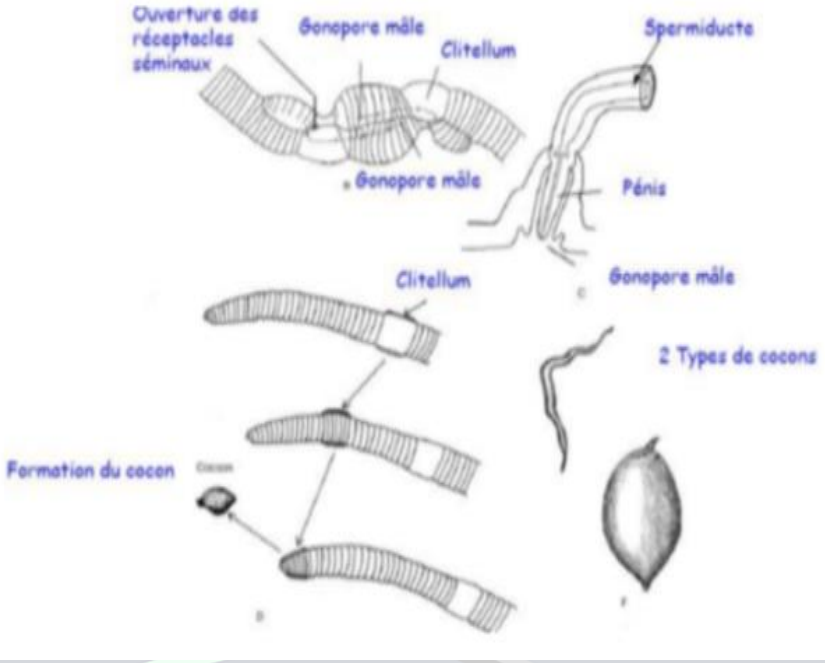


Figure 12. La reproduction chez le lombricien (Gauer, 2007)

3.3. Durée de vie et temps de génération :

Le cycle de vie dépend des espèces et des conditions climatiques. La durée de vie varie de 3 mois pour les épigés à 5-8 ans pour les anéciques et endogés. Ainsi, le temps de génération est plus rapide pour les épigés (vitesse de recolonisation la plus rapide : 1 à 2 ans) que pour les anéciques et endogés (5 à 7 ans). Certaines espèces vivent plus de 6 ans au laboratoire, le cas de *Allolobophora longa* qui peut vivre plus de 10 ans (Bachelier, 1978).

3.4. Cycle annuel des activités

Les vers de terre ne peuvent plus réguler leur température corporelle (Herger, 2003). Chaque espèce peut vivre et activer à une gamme des températures bien précises (Bachelier, 1978) Les lombrics travailleront efficacement à des températures allant de 15 °C à 25 °C (Morin et *al*., 2004). L'activité et la reproductivité arrivent au maximum au printemps et en automne (Herger, 2003), exactement en mars - avril et en septembre - octobre (Schmutz, 2013). Pendant les périodes sèches et chaudes les vers de terre ne peuvent plus résister la survie au surface (Herger, 2003). Ils se retirent dans les profondeurs du sol et s'enroulent sur eux-mêmes dans une cavité sphérique consolidée donc ils rentrent en estivation (Bachelier, 1978 ; Schmutz, 2013). Également en hiver, le gel sévère rend impossible la prise de nourriture et la vie dans la couche supérieure du sol (Herger, 2003). Ils se retirent dans la partie non gelée de leurs galeries et s'installent (Schmutz, 2013). Ils réduisent leur surface corporelle, ce qui réduit l'évaporation de leur fluide. Dès que les conditions extérieures sont favorables à nouveau, les vers réveillent à une nouvelle activité (Herger, 2003).

3.5. Nutrition

Les vers de terre se nourrissent par les plantes mortes (Pfiffner et *al*., 2007 ; Schmutz, 2013). Ils peuvent manger les feuilles et les résidus de culture, Les bactéries, les algues, les protozoaires et même les champignons mycélium (Herger, 2003 ; Pelosi, 2008), et même les nématodes et les rotifères (www.futura-sciences.com). Selon Bachelier (1978), les vers peuvent ingérer même le sol avec les résidus de culture. Cette ingestion de terre par les vers varie d'importance selon les espèces, mais aussi les sols, les saisons et la nature des matériaux végétaux. D'après Dallerac (2005) ; Dominguez et *al*. (2009) ; Martin et *al*. (2011), le régime alimentaire des vers de terres est variable. Il est en fonction du groupe écologique. Les vers épigés se nourrissent de la litière bien fragmentée préalablement (résidus de feuilles et autres parties végétales mortes), Les endogés consomment la matière organique dispersée dans la partie minérale du sol. Les anéciques viennent se nourrir par les déchets végétaux en surface. Une litière d'aulne ajoutée à du fumier détermine une forte augmentation en poids des vers, bientôt suivie de leur mort. Une litière mixte composée de feuilles de chêne, de hêtre et de robinier cause d'abord une perte en poids des vers puis leur mort. Le résultat de cette digestion est un terreau plus foncé que le sol ingéré, de pH plus alcalin et à microflore sélectionnée mais plus active (Bachelier, 1978). Donc les vers de terre ingèrent les micro-organismes vivants et du micro et des mésofaunes vivantes ou mortes.

4. Impact des lombriciens sur le sol

Quelle que soit la taille, la catégorie écologique des vers de terre est interactive avec son milieu, modifiants ces propriétés physiques, chimiques ainsi que biologique.

4.1. Physique du sol

Dans ce présent paragraphe, la stabilité structurale des sols, la différenciation des profils, la texture du sol, la porosité et la capacité de rétention d'eau sont développés.

4.2. Stabilité structurale des sols

Les vers sont l'un des ingénieurs physiques de l'écosystème qui renouvellent la structure du sol (Saurel et *al*., 2010). Ils contribuent à l'édification de la structure grumeleuse des sols à mull, et changent aussi parfois la structure naturelle de certains sols (Bachelier, 1978). Ils construisent des systèmes galeries horizontales très ramifiées, qui la remplissent de leurs propres excréments comme ils se déplacent à travers le sol de l'horizon organo-minéral (Dominguez et *al*., 2009). L'effet synergique des lombrics avec la présence de matière organique, qui donne des améliorations des propriétés physiques (stabilité structurale et perméabilité) nettement plus intéressantes (Achour, 2014). D'après Bachelier (1978) et Schmutz (2013), les vers de terre augmentent la stabilité structurale des sols riches en matières organiques, d'une part en favorisant la synthèse de mucus bactériens, de gommes polysaccharides et de composés prés humiques, et d'autre part en mélangeant intimement ces composés à la fraction minérale des sols et en y ajoutant parfois des sécrétions calcaires qui contribuent à la floculation des composés argilo-humiques. Ils participent à l'élaboration de la structure organo-minérale (Twardowska, 2004). La stabilité des rejets dépend essentiellement de la richesse en matières organiques des sols (Swaby, 1950 in Bachelier, 1978), et aussi selon l'espèce. Selon Schmutz (2013), généralement, les rejets des vers de terre ameublissent les sols lourds et améliorent la cohésion des sols sableux.

4.3. Sensibilité :
Extérieurement on ne distingue aucun organe de sens. Dans l'épiderme se trouvent des cellules sensorielles isolées ou groupées, plus nombreuse dans la partie intérieure du corps. Des filets nerveux les relient à la chaine nerveuse (Villeneuve et Désiré ,1965)

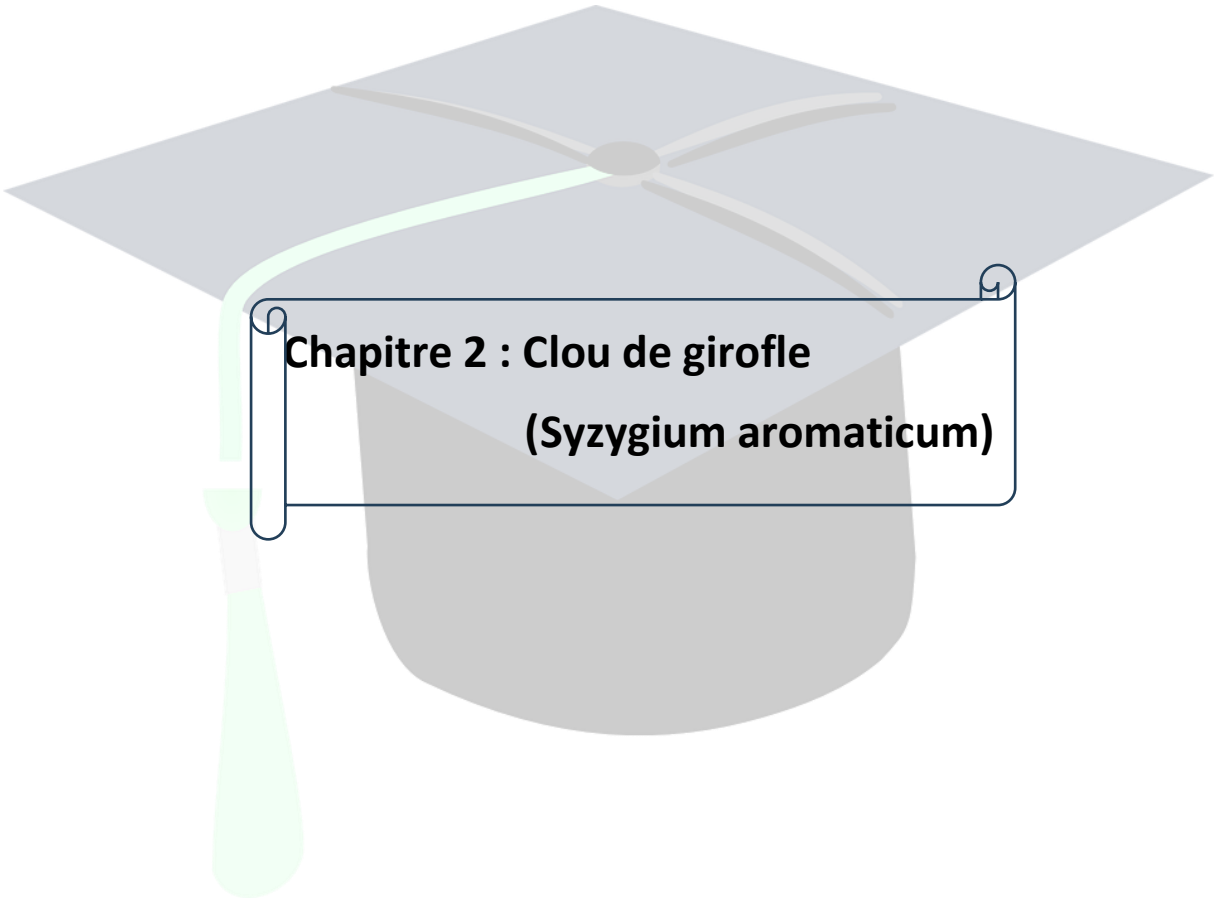
4.4. Régénération :
Les vers de terre sont capables de régénérer la partie antérieure que la partie postérieure de leur corps, selon l'emplacement de la coupure. La présence de la corde nerveuse disponibles et de l'oxygène.

4.5. Biomasse et densité des lombriciens :
En zone tempérées, les vers de terre sont abondants dans les sols à mull, mais très rares à absents dans les sols à mor ou Moder. Le lessivage et l'acidification des sols entrainent la diminution et éventuellement même la disparition des vers de terre (Bachelier, 1978). Les vers de terre apparaissent très nombreux dans les prairies et les jardins, moins nombreux dans la forêt de feuilles (Bazri, 2014), encore moins nombreux dans les terres labourées et généralement rares dans les forêts de conifères. Selon Guild (1955), la densité des vers de terre dans un sol de landes varie de 12 à 15 individus par m2 et de 60 à120 dans des sols agricoles au printemps. Selon Bazri (2014), la densité des vers de terre en Algérie, est considérée faible ; les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans l'étage bioclimatique humide (36,60 ± 12,53 individus/m2 et 10,68 ± 4,15 g/m2) et sub humide (40,50 ± 11,86 individus/m2 et 6,92 ± 4,88 g/m2).

5- Ecologie des lombriciens :
Scientifiquement, les chercheurs appellent les vers de terre « lombriciens ». Il existe multitude d'espèces, dont une proportion importante n'est pas encore bien étudiée par le spécialiste. Les lombriciens représentent la première biomasse animale de la terre. En France, on compte près de 15à 20 espèces ou sous espèces de lombriciens les vers de terre rencontrent dans presque tous les sols des plantes, exceptées dans le désert et dans les régions polaires, ou il n'y a pas de plantes (Kelou, 2007). Tous les lombriciens ne logent pas à la même enseigne. Ils sont classés en trois grands groupes écologiques : les épigés, les endogés et les anéciques. Les épigés (ou "litter species" ; Lee, 1959) vivent et se nourrissent dans les couches de surface, principalement la litière (Bouché.

6- Le rôle écologique des lombriciens :
Les vers de terre remplissent des fonctions écologiques uniques dans le sol. Les grandes galeries permettent à l'eau de pluie de pénétrer facilement dans les sols en augmentant leur taux d'infiltration. L'accélération de l'infiltration de l'eau limite le ruissellement et l'érosion et permet à l'eau de pénétrer dans la rhizosphère où elle peut être utilisée par les végétaux. Ces galeries permettent également aux racines de se développer facilement dans le sol et d'explorer de nouveaux espaces. Le sol travaillé par les vers de terre possède une structure granulaire stable (agrégat) moins sensible à l'érosion éolienne (Gates, 1972). Les lombriciens sont considérés comme très importants dans le recyclage de la matière organique du sol. Certaines espèces se chargent d'enterrer les résidus organiques superficiels, alors que d'autres participent activement à leur décomposition en rendant d'importants éléments nutritifs accessibles à d'autres organismes vivants du sol, comme les végétaux. Il faut rappeler qu'ils se nourrissent surtout de matière organique (matière végétale morte et, dans certains cas, déjections animales) à divers

stades de décomposition. Les dernières recherches de Gutierrez et *al*. (2006) révèlent que les lombriciens ne sont pas prédateurs des acariens ou microarthropodes. D'après Dash (1986), chaque espèce de ver de terre a son propre substrat alimentaire. Brown et Doube, (2004) suggère que les vers de terre peuvent choisir différents groupes d'organismes du sol dans le cadre de leur régime alimentaire. Les lombriciens comportent aussi certains aspects négatifs. En effet, dans certaines régions, des espèces introduites ont fait concurrence aux vers de terre indigènes. Or, cette concurrence limite d'autant les chances des espèces indigènes de se développer et même de survivre, car ces dernières vivent fréquemment dans de petites zones isolées. Dans l'ouest du Canada où les sols sont d'origine calcaire, l'espèce anécique *Lumbricus terrestris* fabrique des tertres en "béton". En effet, leur fouissement expose en surface les couches dures du sous-sol aux cycles de déshydratation et d'hydratation qui rendent ce matériau très dur et difficile à utiliser pour les potagers, les terrains de golf et les pelouses.



Chapitre 2 : Clou de girofle (Syzygium aromaticum)

1- Présentation de la plante :

1-1- Données botaniques :

• Nom : (Dénominations vernaculaires)

- français : *girofle*,

- anglais : *clove-tree*,

- Arabe : *Qaranful*.

• Famille des Myrtacées (Brigitte,2011).

• La famille des myrtaceae comprend plus de 4000 espèces d'arbres, d'arbustes et d'arbrisseaux des régions tropicales. C'est l'une des familles d'arbres les plus soigneurs.

• ***Espèce** : Eugenia caryophyllata.*

• **Synonymes** : *Caryophyllus aromaticus, Eugenia aromatica, E. caryophyllata, E. Caryophyllus. Syzygium aromaticum (Eugenia aromatica)* : La désignation botanique Syzygium vient du grec syzygos, qui veut dire « assemblé » et se réfère aux feuilles assemblées par paires d'une espèce jamaïquaine.

1-2 : Description et caractéristiques :

Le giroflier, (nom donné par Pline, du grec plyllon : feuille et karyon : noyau, noix) est un bel arbre tropical petit à moyen, de 12 à 15 m de haut, (il peut atteindre jusqu'à vingt mètres) (Auzis, 2007), au feuillage persistant et dense, originaire des petites îles volcaniques de l'archipel des Moluques en Indonésie (Pesson et Louveaux, 1984). Le fruit est une baie appelée « anthofle » allongée de 2,5 à 3 cm de long sur 1,3 à 1,5 cm le large, de couleur rouge foncé à maturité (Chavanne et *al*., 1986). Cet arbre a une forme conique. Ses feuilles persistantes sont ovales et coriaces. Les fleurs à quatre pétales blanc rosé sont caractérisées par leurs sépales rouges persistants. Avant l'épanouissement, les boutons floraux sont nommés « clous de girofle ». C'est à cette époque qu'on les récolte avant de les laisser sécher plusieurs jours, au soleil jusqu'à ce qu'ils perdent leur couleur rose et prennent une teinte brun foncé. (Anonyme,2015**)**



Figure 13. Allure d'un giroflier de Madagascar (Barbelet, 2015).



Figure 14. Feuilles de girofle jeunes et matures (Mohammed et *al.*, 2015).

2- Le clou de girofle :

2-1- Description et historique :

Les clous de girofle, pimenta dioica, sont les bourgeons séchés, non éclos, du giroflier et sont parmi les plus anciennes épices et drogues décrites dans l'histoire. On peut lire dans des écrits antiques qu'il a été introduit il y a plus de 2000 ans en Chine, en Inde, et plus tard dans l'Empire romain. En Chine, les courtisans avaient coutume de mâcher un clou de girofle lorsqu'ils adressaient la parole à l'empereur (Brigitte, 2011).

Les Arabes ont apporté le clou de girofle en Europe. Mais on ignorait à l'époque quelle était son origine exacte. Les premières indications plus précises datent du 13e siècle.

Le gouverneur français Poivre a réussi en 1769 à acclimater le giroflier aux îles africaines Maurice et de la Réunion. Le clou de girofle a un aspect caractéristique brun foncé, à saveur chaude, brûlante, légèrement amère et fortement aromatique (Teuscher, 2005).



Figure 15. Les clous de girofle Avant séchage (Aiboud ,2011).



Figure 16. Les clous de girofle Après séchage (**photo originale, 2025)**

3-La répartition géographique du clou de girofle :

Le giroflier, qui a ses origines à Madagascar, la Réunion et aux Antilles, est aussi cultivé en Indonésie et en Tanzanie. Les clous de girofle américains sont connus pour leur qualité inférieure en raison de leur teneur plus faible en huile essentielle (Bois, 1999). Cette plante n'est pas cultivée en Algérie, car le girofle est importé de l'étrange. La superficie occupée par les girofliers à Madagascar est d'environ 37 000 hectares, une surface qui varie significativement d'une année à l'autre. Les tonnes produites et la superficie dédiée aux girofliers dans chaque zone de production sont répertoriées dans la figure ci-dessous (Https://www.futura-sciences.com)

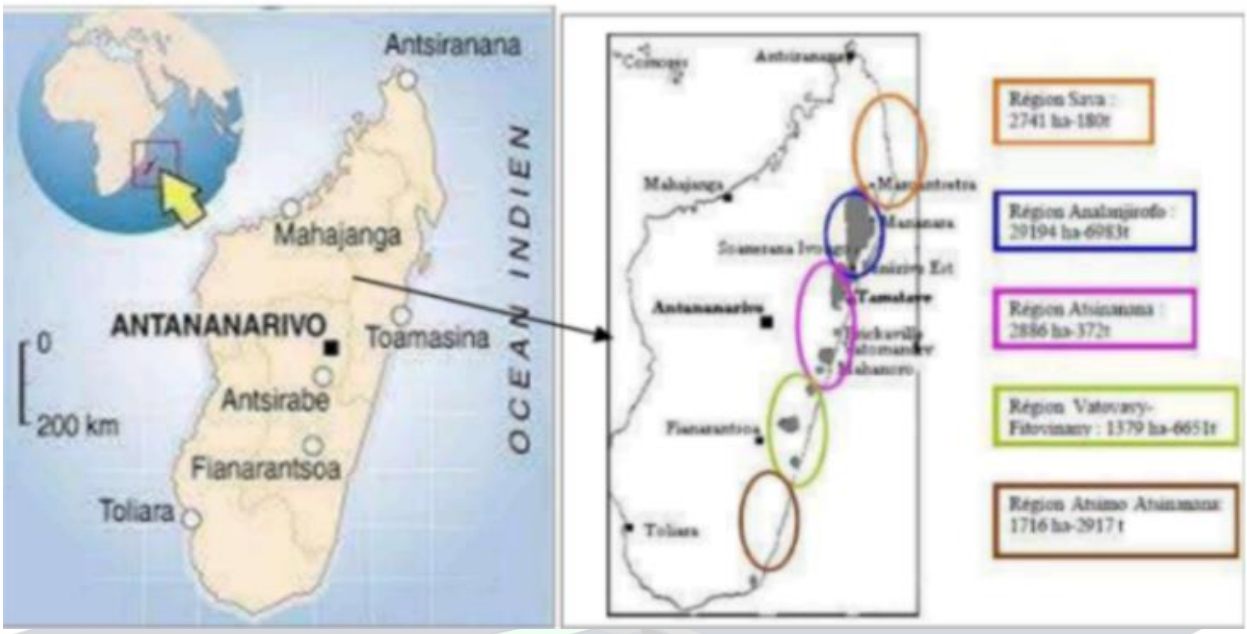


Figure 17 : Les zones exploitées dans la production de girofle à Madagascar (Davet et Rouxel, 1997).

4- Nomenclature et dénomination mondiale :

Comme de nombreuses espèces, le giroflier a porté plusieurs noms scientifiques avant d'être nommé *Syzygium aromaticum* (Perrier, 1953). Le genre *Syzygium* a été identifié comme le plus vaste genre de plantes à fleurs, comprenant environ 1200 à 1800 espèces à savoir :

Caryophyllusaromaticus L. (1753)

Eugenia caryophyllatathunb. (1788)

Eugenia caryophyllusSpreng. (1825)

*Eugenia aromatica (*L.) Baill. (1876)

Jambosacaryophyllus (Thunb) Nied. (1893)

Syzygium aromaticum (L.) Merr et Perry, (1939) (Mahomoodally et *al*., 2019)

Actuellement, les noms *Syzygium aromaticum* et *Eugenia caryophyllus* sont tous deux utilisés (Tableau 2).

Tableau 2 : Nomenclatures de clou de girofle (Dupont et Guignard, 2012).

Nom commun	*Giroflier, laung*
Nom français	*Arbre de clou, clou de girofle*
Nom anglais	*Clovebuds*
Nom arabe	*القرنفل-Kourounfoule*
Nom scientifique	*Syzygium aromaticum Eugenia caryophellusthunb*

5- Classification :

Les clous de girofle (*S. aromaticum*) font partie de la famille des *Myrtacées*, qui comprend plus de 3000 espèces et 130 à 150 genres (Tableau 3).

Tableau 03 : Classification de l'espèce *Syzygium aromaticum* (Merr. & L.M. Perry, 1937)

Classe	*Angiospermes*
Sous-classe	*Tiporees*
Clade	*Rosidees*
Ordre	*Myrtales*
Famille	*Myrtaceae*
Sous-famille	*Myrtoideae*
Genre	*Syzygium*
Espèce	*Syzygium aromaticum*

6- Composition chimique du clou de girofle :

Le clou de girofle est riche en composés bioactifs tels que :

- L'Huile essentielle (20%) : huile essentielle contenant d'eugénol (85à 95% de l'huile de clou de girofle), acétate d'eugénol (5 à 10 %), alpha- et bétacaryophylléne (5 à 12%) et un dérivé cétonique (Paul et *al*., 2005 ; Ghedira et *al*., 2010).

- Autres constituants : flavonoïdes (environ 0,4%), tanins (environ 12%), acide phénolique, stérols, triterpène (Max et *al*., 2003).

7- Généralités sur l'huile essentielle de Clou de Girofle :

7-1- Définition :

Elle est extraite de l'arbre du Giroflier elle est connue pour son effet bio-insecticide contre les ravageurs des denrées stockées son utilisation est se fait dans plusieurs domaines.

7-2- Caractéristiques de l'huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) :

Son origine est les îles Moluques d'Indonésie. Elle s'obtient par distillation à la vapeur d'eau des boutons floraux (clous) de giroflier. La récolte se fait au mois d'août, le rendement de l'huile essentielle de clou de girofle est de 15%. Le composé actif de cette huile essentielle est l'Eugénol (de 80 à 90%), le Beta-caryophylléne (5 à 15%) et l'Acétate d'Engényle : 1%. Il existe deux types d'huile essentielle de clou de girofle :

-L'une extraite par l'utilisation de bouton floraux (fleur avant l'épanouissement)

-La deuxième fabriquée à partir de griffes (fine tige supportant les boutons floraux). Le rendement en huile essentielle de clous de Girofle est plus faible pour les griffes. Les propriétés de cette huile essentielle diffèrent un peu au regard de la variation de sa composition chimique. Elle reste une excellente huile anti-infectieuse majeure. Elle est moins anti-inflammatoire et plus spasmolytique que l'huile essentielle obtenue à partir des boutons floraux ou clous de girofle. L'huile essentielle *Eugenia caryophyllus* obtenue à partir de boutons floraux est la plus courante et la plus recherchée.

7-3- Propriétés de l'huile essentielle de clou de girofle :

7.3.1. Composés actifs :

Le clou de girofle est riche en composés bioactifs tels que : - L'Huile essentielle (20%) : huile essentielle contenant d'eugénol (85à 95% de l'huile de clou de girofle), acétate d'eugénol (5 à 10 %), alpha- et bétacaryophylléne (5 à 12%) et un dérivé cétonique (Paul et *al*., 2005 ; Ghedira et *al*., 2010). - Autres constituants : flavonoïdes (environ 0,4%), tanins (environ 12%), acide phénolique, stérols, triterpène **(Tableau 4).**

Tableau 4 : Composantes de l'huile essentielle de clou de Girofle (Max et *al*., 2003).

Composant	**Eugénol**	**Acétate d'eugénol**	**Béta caryophyllene**	**Alpha caryophyllene**
Type	Phénol	Ester aromatique	Sesquiterpéniques	Sesquiterpéniques
Pourcentage	81.67	13.02	3.17	0.4
Formule chimique	C10H12O2	C12H14O3	C 15H 24	C 15H 24

7.3.2. L'eugénol

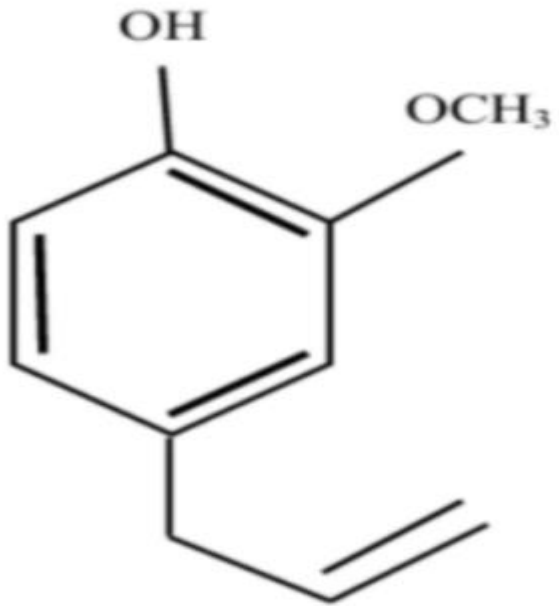


Figure 18 : Formule semi-développée de l'eugénol (Memmou, 2015).

L'eugénol, également connu sous le nom de *4-allyl-2-méthoxyphénol*, est un composé aromatique appartenant à la famille des phénylpropènes, une sous-classe des *phénylpropanoïdes*. Il se présente sous forme d'un liquide pratiquement incolore qui a tendance à brunir au contact de l'air (Memmou,2009). L'eugénol est une molécule hautement lipophile et sa formule développée est :

L'eugénol, molécule active de formule brute C10H12O2, est présente dans le clou de girofle à une concentration allant de 75 à 90 % (Stamford et *al*., 1988 ; Usta et Copti, 2000).

7.4. Propriétés physico-chimiques :

- Température de Fusion et d'Ébullition : L'eugénol a une température de fusion de -9 °C et une température d'ébullition de 253 °C.

-**Densité** : Sa densité est de 1,06 à 20 °C.

-Solubilité : Peu soluble dans l'eau et insoluble dans l'eau salée, il est très soluble dans l'éthanol et le dichlorométhane, et légèrement soluble dans le chloroforme (Memmou, 2015).

7.5. Propriétés biologiques :

L'huile essentielle extraite du clou de girofle, reconnue pour ses propriétés antiseptiques, a été utilisée dès les premiers temps. L'eugénol a été préconisé pour le traitement de la tuberculose et de la gangrène pulmonaire. Son action anesthésique a été exploitée dans le domaine dentaire. En associant l'oxyde de zinc à l'eugénol, on obtient un ciment utilisé comme matériau de restauration temporaire offrant à la fois un scellement efficace et une anesthésie de la pulpe. De plus, ce ciment est généralement bien toléré par les patients. Aujourd'hui, l'eugénol est toujours largement utilisé, principalement dans les produits dentaires tels que les bains de bouche, les pâtes dentifrices, les ciments, …etc. (Chanseau et *al*., 2002 ; Raja et *al*., 2015). Ces dernières années, de nouvelles propriétés et applications de l'eugénol ont été découvertes, telles que ses effets antioxydants et anti-inflammatoires, son rôle de conservateur (pour préserver le goût, la valeur nutritive et limiter le développement microbien sur les grappes de raisins), ainsi que son action anesthésique (Lee et Shibamoto, 2001 ; Mahboub, 2014).

8. Impact des composés actifs sur les lombriciens :

Les lombrics, tels que Lumbricus terrestris, jouent un rôle essentiel dans l'écosystème du sol et sont considérés comme des bioindicateurs sensibles aux changements environnementaux. Leur présence, comportement et taux de survie reflètent la qualité du sol et l'impact des substances chimiques. Par exemple, des lombrics sains indiquent un sol fertile, tandis qu'une diminution de leur activité peut signaler une toxicité ou une dégradation écologique.

L'huile essentielle de clou de girofle, riche en composés bioactifs comme l'eugénol et le β-caryophyllène, peut influencer les lombrics de plusieurs manières. Certains de ces composés agissent comme antimicrobiens, modifiant la flore bactérienne du sol et, par conséquent, la santé des lombrics.

Étant donné que ces organismes se nourrissent de matière organique en décomposition, leur exposition à des huiles essentielles peut également affecter la décomposition et la répartition des nutriments.

Des recherches montrent que l'exposition à divers produits chimiques, y compris des pesticides, peut entraîner des modifications de la reproduction, des comportements alimentaires altérés et une mortalité accrue chez les lombrics. Il est donc crucial d'examiner comment l'huile essentielle de clou de girofle, bien qu'elle puisse offrir des

avantages en agriculture, pourrait aussi avoir des effets imprévus sur ces organismes cruciaux.
En intégrant l'étude des lombrics dans la recherche sur l'huile essentielle de clou de girofle, nous pouvons mieux appréhender ses bénéfices et les risques associés à son utilisation. Cette analyse souligne l'importance d'une approche équilibrée dans l'application de produits naturels, assurant leur efficacité tout en respectant les organismes contribuant à la santé des sols. Comprendre ces interactions est essentiel pour promouvoir des pratiques agricoles durables qui favorisent la productivité des cultures et la biodiversité des sols.

8.1. Effets sur la biologie des lombrics :

Certaines études ont montré que des huiles essentielles spécifiques peuvent stimuler la reproduction ou l'activité métabolique des vers de terre. Par exemple, des recherches ont suggéré que les huiles essentielles de certaines plantes aromatiques peuvent favoriser la croissance des lombrics, en améliorant leur capacité à décomposer la matière organique.

8.2. Toxicité et sécurité :

Bien que certaines huiles essentielles puissent avoir des effets bénéfiques, d'autres peuvent être toxiques pour les vers de terre. Des études ont examiné la toxicité de différentes huiles essentielles, soulignant l'importance de déterminer les doses appropriées pour éviter des effets nocifs. Les lombrics, en tant qu'organismes bioindicateurs, fournissent des indications précieuses sur la santé du sol et l'impact des substances chimiques. Bien que l'eugénol ait une toxicité limitée, une consommation excessive peut entraîner des dommages hépatiques, tels que la cirrhose (Fujisawa et *al*., 2002).

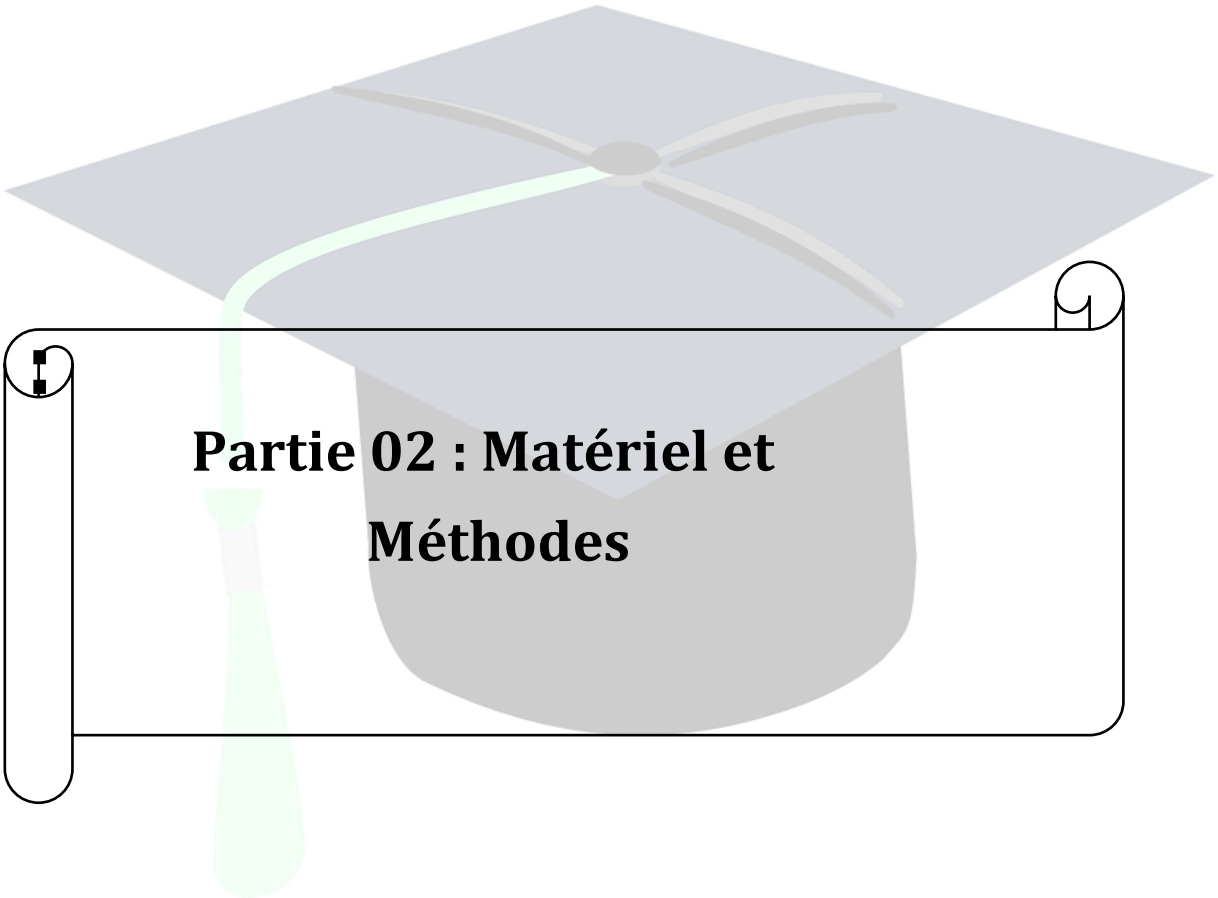
9. Applications traditionnelles et modernes :

9.1. Utilisation en phytothérapie :

L'huile essentielle de clou de girofle est largement utilisée en phytothérapie pour ses propriétés curatives. Son impact sur la microbiologie du sol, y compris son action sur les vers de terre, mérite d'être étudié, car il pourrait avoir des conséquences sur la fertilité du sol et la décomposition de la matière organique.

9.2. Utilisation en agriculture biologique :

Dans le cadre de l'agriculture biologique, l'huile essentielle de clou de girofle est parfois utilisée comme pesticide naturel. L'effet de cette huile sur les lombrics est d'une importance particulière, car ces organismes sont essentiels à la santé des sols agricoles. Des études récentes montrent que l'exposition à certaines huiles essentielles peut affecter leur comportement et leur reproduction, ce qui pourrait avoir des implications pour les pratiques agricoles durables.



Partie 02 : Matériel et Méthodes

1. Matériel :

1.1. Matériel végétal :

Le matériel végétal employé comme matière première dans le cadre de cette étude est constitué de clous de girofle (*Syzygium aromaticum*), une plante largement disponible sur le marché durant toute l'année. Les échantillons ont été obtenus auprès d'un herboriste situé à Tizi Ouzou.

L'huile essentielle de clou de girofle a été extraite par un processus de distillation à la vapeur à partir des clous de girofle sus mentionnés.

Les clous de girofle utilisés dans cette recherche sont représentés dans la photographie ci-dessous et présentent les caractéristiques suivantes :

- **Couleur** : Marron
- **Odeur** : Intense

Cette caractérisation du matériel végétal est essentielle pour les analyses ultérieures menées dans le cadre de cette étude.



Figure 19 : Matière végétale de clou de girofle (photo originale, 2025)

1.2. Matériel animale :

1.2.1. Organismes tests : Vers de terre prélevés dans un habitat naturel situé à tizi Ouzou, dans la région d'Azzeffoun.

1.2.2. Milieu de culture : Sol riche en matière organique, humidifié pour simuler les conditions naturelles.

1.3. Situation géographique :

Azzeffoun est une commune algérienne et une ville côtière de la wilaya de Tizi Ouzou, située en région de la grande Kabylie. Elle se trouve à environ 70 km au nord-est de Tizi Ouzou et à 95 km à l'ouest de Béjaïa. Plus précisément, Azzeffoun est localisée à 4,5 km à l'ouest de la localité d'Ihamziouène. Ihamziouène (Commune d'Azzeffoun, Wilaya de Tizi Ouzou) est un village qui se trouve à proximité du village de Bezerka, ainsi que d'Ait Ouandlous' (https://mapcarta.com/fr/N1584268490).



Figure 20 : Carte géographique de la zone de collecte des vers de terre (**Google Maps, 2025**).

2. Méthodes :

Le travail expérimental présenté dans ce mémoire de Master a été conduit au sein du Laboratoire de Pharmacognosie de la Faculté de Médecine Biomédicale. Cette étude a pour objectifs de :

-Extraire l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum* (clous de girofle) par la méthode d'hydrodistillation.

-Analyser les propriétés organoleptiques et physiques de cette huile essentielle.

-Évaluer l'activité biologique de l'huile essentielle à différentes concentrations sur des vers de terre.

-Analyser l'effet de l'huile essentielle de clou de girofle en utilisant des méthodes statistiques, notamment à travers l'analyse des données avec logiciel Excel 2007, afin d'interpréter les résultats obtenus.

2.1. Extraction de l'huile essentielle de clous de girofle :

L'huile essentielle (HE) de clou de girofle est extraite par hydrodistillation, une méthode largement utilisée dans l'industrie pour isoler les composés volatils des plantes.

-Appareil Utilisé

- L'extraction est réalisée à l'aide d'un appareil de type Clevenger, conforme à la pharmacopée européenne (*European Pharmacopoeia*, 2005).

-Procédé d'Hydrodistillation

- Mélange Initial : Les clous de girofle sont mélangés avec de l'eau dans un ballon de distillation.
- Ébullition : Ce mélange est porté à ébullition à l'aide d'un chauffe-ballon.
- Libération des Molécules : Sous l'effet de la chaleur, les cellules de la plante éclatent, libérant les molécules odorantes.
- Entraînement par la Vapeur : Les molécules volatiles sont entraînées par la vapeur d'eau qui passe ensuite dans un réfrigérant.
- Condensation : Dans le réfrigérant, la vapeur est condensée et se transforme en liquide.

-Collecte du Distillat

- Récupération : Le distillat est récupéré dans un récipient approprié.
- Séparation : Il est ensuite versé dans une ampoule à décanter pour permettre la séparation des phases.

-Dégazage et Décantation

- Agitation : Le distillat est agité et dégazé régulièrement.
- Formation des Phases : Après un certain temps, deux phases distinctes apparaissent :
  - Phase organique (huile essentielle)
  - Phase aqueuse

-Récupération de l'Huile Essentielle

- Mesure du Volume : L'huile essentielle est recueillie dans une burette graduée, où le volume est mesuré directement.
- Conservation : Elle est ensuite transférée dans un flacon en verre stérile, bien fermé, et conservée à l'abri de l'air et de la lumière.

-Calcul du Rendement

- Définition du Rendement : Le rendement en huile essentielle est déterminé comme le rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse du matériel végétal traité (AFNOR, 1986).

Le rendement est exprimé en pourcentage :

Rendement (%) = poids de l'HE / poids de la plante x 100



Figure 21 : A. Extraction de l'huile essentielle du clou de girofle par hydro distillation **B.** Le distillat récupéré après 3h d'hydro distillation **(photographie originale)**.

2.2. Préparation des solutions d'huile essentielle :

2.2.1. Matériel nécessaire :

-L'eau distille : Servir de solvant pour la dilution de l'huile essentielle.

-Cylindres gradués ou pipettes : pour mesurer les volumes avec précision**.**

-Bouteilles ou flacons étiquetés : pour stocker les solutions préparées.

-Balancier : pour peser les quantités nécessaires, si applicable.

2.2.2 Dilutions et contrôle des concentrations :

Dans le cadre de l'étude visant à évaluer l'impact des concentrations d'huile essentielle de clou de girofle sur les lombrics, il est essentiel de préparer des dilutions appropriées de cette huile afin de garantir la fiabilité et la pertinence des résultats obtenus. Pour ce faire, nous établirons les étapes suivantes :

Préparation des solutions

Les concentrations d'huile essentielle de clou de girofle à préparer pour les tests sont les suivantes :

- **0 %** (groupe témoin avec eau distillée)
- **0,1 %**
- **0,5 %**
- **1 %**
- **2,5 %**

Méthodologie de dilution

Pour garantir une distribution homogène des composés actifs de l'huile essentielle dans chaque solution, nous utiliserons de l'eau distillée comme solvant. L'utilisation d'eau distillée permet d'éliminer toute variabilité due à la qualité de l'eau, garantissant ainsi que les effets observés sur les lombrics soient uniquement attribuables aux concentrations d'huile essentielle.

Vérification des concentrations

Avant le début de l'expérimentation, il est impératif de vérifier et de documenter les concentrations précises de chaque solution préparée. Cette étape est cruciale pour assurer l'intégrité des données et permettre une interprétation correcte des résultats. Les concentrations doivent être mesurées avec précision à l'aide d'outils de mesure appropriés, tels que des pipettes calibrées et une balance analytique, afin d'assurer que les quantités d'huile essentielle et d'eau distillée sont parfaitement respectées.

L'objectif principal est de créer différentes concentrations d'huile essentielle de clou de girofle, permettant ainsi d'évaluer leur impact sur les lombrics. Cette approche permettra de déterminer si et comment les variations de concentration influencent le comportement, la santé ou la survie des lombrics dans les conditions expérimentales établies**.**

2.2.3. Stockage des solutions :

Les solutions doivent être conservées à l'abri de la lumière et à une température ambiante ou réfrigérée, conformément aux recommandations relatives à l'huile essentielle, afin de préserver leur efficacité jusqu'à leur utilisation expérimentale. La préparation de solutions avec des concentrations précises est cruciale pour la conduite d'une expérience rigoureuse, permettant ainsi une évaluation systématique des effets de différentes doses d'huile essentielle sur les lombrics.

2.3. Préparation des milieux de culture

Pour l'élevage des vers de terre, il est indispensable de disposer de vivariums dont les dimensions sont d'environ 10 à 12 cm de long. La préparation du milieu de culture repose sur les étapes suivantes :

-Mélange nutritif : Les boîtes en aluminium doivent être remplies de 500 g de sol humidifié, qui sera ensuite ajusté à un pH neutre, idéalement compris entre 6,5 et 7,5. Cette condition pH est cruciale, car elle favorise le bien-être et la santé des vers de terre.

-Introduction des vers : Une fois le sol préparé, les vers de terre seront introduits dans le milieu de culture. Il est impératif d'insérer un nombre égal de vers (10 vers par boîte) tout en prenant soin de ne pas les blesser durant cette manipulation.

-Exposition aux traitements : Les vers de terre seront ensuite exposés aux différentes concentrations de l'huile essentielle de clou de girofle pendant des périodes de 24 et 48 heures,72heures, afin d'évaluer les effets de ces traitements sur leur survie.

2.4. Préparation de l'environnement d'expérimentation

La création d'un environnement propice est essentielle pour le succès de l'expérimentation sur les vers de terre. Les éléments suivants doivent être pris en compte :

- **Bocaux** : Il est recommandé d'utiliser des contenants suffisamment spacieux pour permettre aux vers de terre de se mouvoir librement, favorisant ainsi leur bien-être et minimisant le stress.
- **Sol humide** : Les boîtes en aluminium doivent être remplies d'un sol imitant l'habitat naturel des vers de terre, tel que du compost ou de la terre. Ce sol doit être maintenu légèrement humide, mais sans excès d'eau, afin d'éviter la saturation qui pourrait nuire aux vers.

2.5. Méthodes expérimentales

L'expérimentation vise à évaluer l'activité de l'huile essentielle extraite de clou de girofle sur les vers de terre. Pour chaque concentration de traitement :

- Dénombrement des vers de terre : Le dénombrement des vers de terre morts sera effectué toutes les 24 heures, et ce, sur une période de 3 jours. Cette méthode permettra d'analyser l'impact de l'huile essentielle sur la mortalité des vers de terre en fonction des différentes concentrations appliquées, offrant ainsi des données précises sur les effets phytotoxiques potentiels de cette huile essentielle.

2.5.1. Essais avec l'huile essentielle de *Syzygium aromaticum :*

Chaque essai a été réalisé en double, en utilisant la même boîte d'aluminium pour chaque dose administrée, dans le but de garantir la fiabilité et la robustesse des résultats obtenus.



Figure 22. Analyse comparative des sols : Echantillons disposés en récipient **(photographie originale, 2025)**



Figure 23. Echantillons des doses de l'HE de clou de clou de girofle a différents pourcentages, disposés pour une analyse comparative en laboratoire **(photographie originale, 2025).**

3. Expression des résultats :

3.1. Calcul de la mortalité

Pour estimer la mortalité des vers, on dénombre les vers morts, le dénombrement est réalisé toutes les 24 heures pendant une période de 3 jours.

Le taux de mortalité est défini comme le rapport entre le nombre de morts sur une période donnée et le nombre total d'individus dans une population, multiplié par 100 pour obtenir un pourcentage. Mathématiquement, cela s'exprime ainsi :

Taux de mortalité = {Nombre de morts/ {Nombre total d'individus X100

4. Évaluation de la Toxicité de l'Huile Essentielle sur les Vers de Terre :

La toxicité d'une huile essentielle est mesurée par la valeur de la DL50, qui indique la dose entraînant la mortalité de 50 % des vers de terre. Cette étude a pour objectif de déterminer la DL50 à l'aide d'Excel 2007.

Méthodologie :

-Exposition : Les vers de terre seront exposés à différentes doses de l'huile essentielle pendant une journée.

-Collecte des Données : Les taux de mortalité seront notés et corrigés si nécessaire.

-Analyse Statistique : À l'aide d'Excel 2007, une régression des logarithmes des doses en fonction des taux de mortalité sera effectuée pour établir la DL50.

La DL50 obtenue fournira une mesure précise de la toxicité de l'huile essentielle, permettant une meilleure compréhension de son impact environnemental et des recommandations pour son utilisation.

4.1. Analyse statistique des données

Les deux facteurs sont :

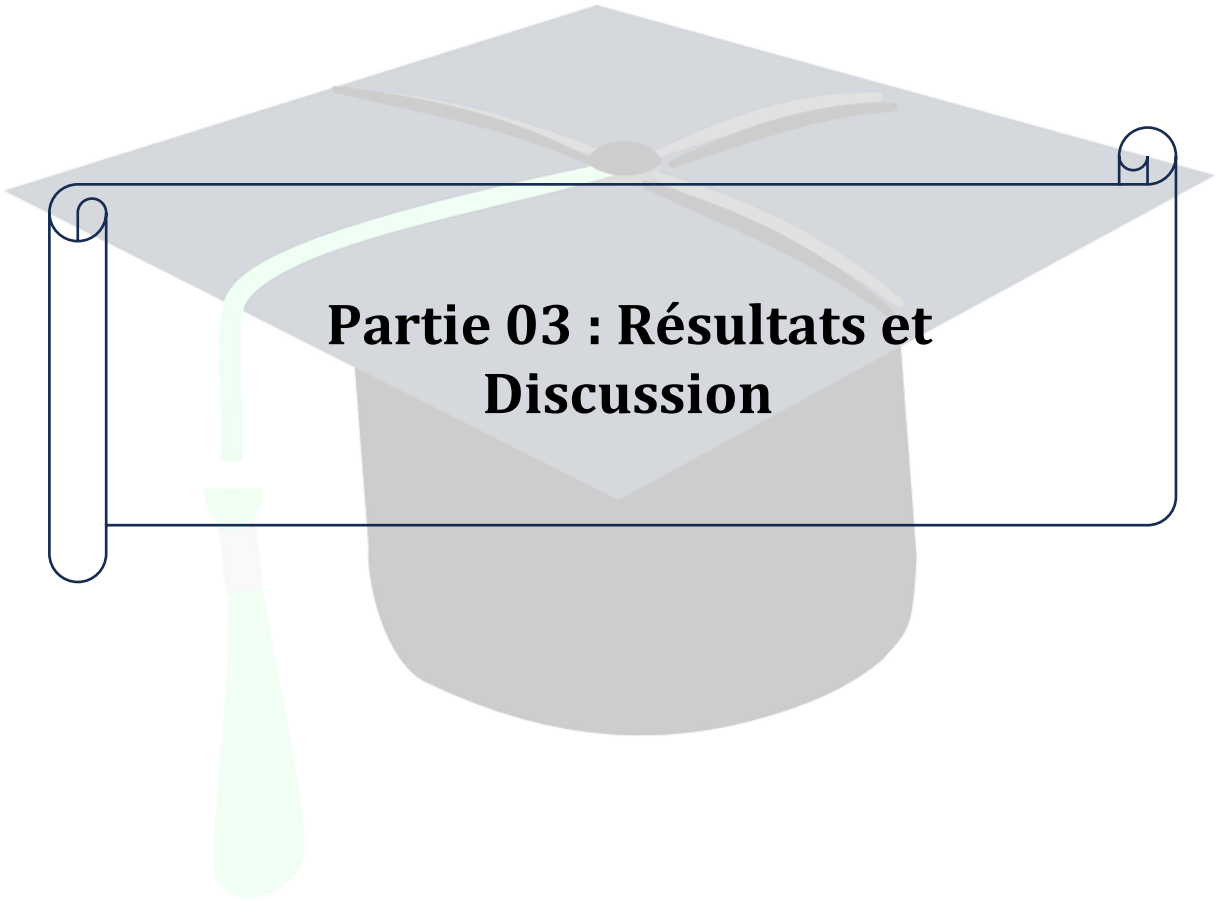
- La dose utilisée en huile essentielle ;

-La durée d'exposition de cette huile essentielle sur l'insecte (vers de terre).

L'étude statistique est réalisée sur le logiciel Microsoft Office Excel 2007.

5. Test statistique ANOVA :

L'étude a été réalisée à l'aide du logiciel R, en appliquant une analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs avec interaction pour évaluer l'effet de la concentration et du temps d'exposition sur la mortalité de l'organisme cible. Les résultats montrent que : La concentration a un effet hautement significatif sur la mortalité (p-value = 0.000292), indiquant que l'augmentation de la dose entraîne une augmentation nette de la mortalité. En revanche, le temps d'exposition seul n'a pas d'effet significatif (p-value = 0.374), ce qui signifie que, pour les durées testées (24h et 48h), la mortalité ne varie pas de manière notable. Enfin, l'interaction entre le temps et la concentration n'est pas significative (p-value = 0.315), ce qui montre que l'effet de la concentration est similaire quel que soit le temps d'exposition.



Partie 03 : Résultats et Discussion

Résultats :

Ce chapitre a pour objectif de présenter et d'analyser les résultats obtenus lors des expérimentations portant sur l'effet de l'huile essentielle de clou de girofle sur les vers de terre. Les résultats sont illustrés par divers graphiques (fig. 21, 22, 23, 24, 25 et 26), et tableaux (TAB.5, TAB.6) qui offrent une visualisation claire et précise de l'impact des différentes concentrations de l'extrait sur la mortalité et la durée de développement des vers de terre

Tableau 5 : Concentrations en fonction du temps et du comportement observé

Concentration (%)	**Temps (h)**	**Comportement Observé**	**Score**
0 (le témoin)	24h	Aucun changement observé	
	48h		
0,1	24h	Aucun Changement Observé ; légers Ralentissements Dans l'activité.	1
	48h	Effets légèrement perceptibles sur Le comportement.	2
0,5	24h	Mouvements lents, accompagnés de signes de stress.	3
	48h	Déplacements minimaux observés.	4
1	24h	Hyperactivité initiale suivie d'un ralentissement notable.	5
	48h	Difficultés de mouvement enregistrées.	6
	24h	Mortalité totale,	

		vers rigides.	7
2,5	48h		8

1 : Aucun changement observé ; l'activité est normale.

2 : Effets légèrement perceptibles, avec des signes de stress mineurs.

3 : Mouvements lents, indiquant une légère détérioration de l'état.

4 : Déplacements minimaux, montrant un impact modéré sur le comportement.

5 : Hyperactivité suivie d'un ralentissement, indiquant une réponse intense au Stress.

6 : Difficultés de mouvement, signalant une détérioration significative.

7 : Mortalité totale, les individus montrent des signes de rigidité.

8 : Comportements non évaluables, situation critique due à la mortalité totale

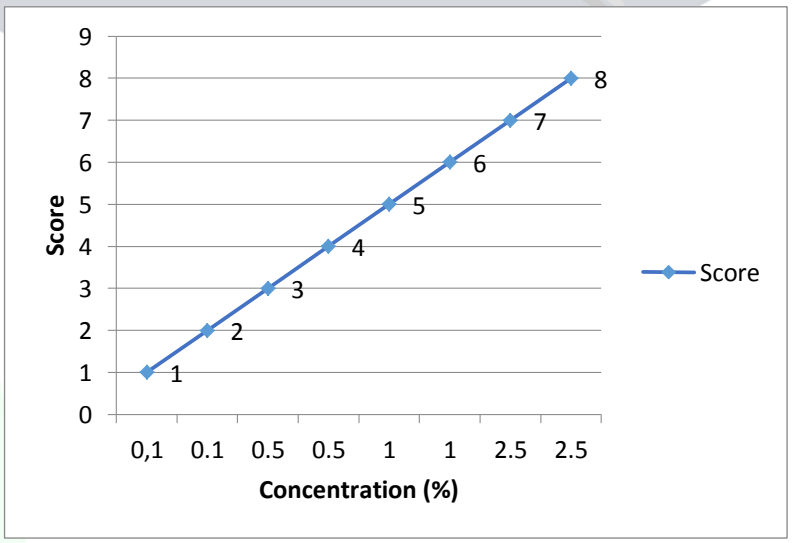


Figure 24. L'effet de concentration et du temps sur le comportement des vers de terre

Le graphique illustre l'impact de la concentration (%) de l'huile essentielle de clou de girofle sur le score de comportement observé chez les vers de terre.

À mesure que la concentration augmente, le score de comportement se dégrade également. Cela signifie qu'une concentration plus élevée de l'huile essentielle de clou de girofle est associée à une détérioration progressive du comportement des vers de terre.

À partir d'une concentration de 1 %, les scores dépassent 5, indiquant une hyperactivité suivie d'un ralentissement, ainsi que des difficultés de mouvement. À 2 %, un score de 7 est atteint, ce qui indique une mortalité totale accompagnée de rigidité. À 2,5 %, un score de 8 est enregistré, signifiant que les comportements ne peuvent même plus être évalués en raison d'une mortalité totale.

Tableau 6 : Récapitulatif des taux de mortalité

Concentration (%)	Taux de Mortalité (%)	Temps (h)
0	0	24h
0	0	48h
0,1	0	24h
0,1	0	48h
0,5	0	24h
0,5	0	48h
1	20	24h
1	37,5	48h
2,5	50	24h
2,5	100	48h

Ces résultats indiquent une augmentation significative du taux de mortalité en fonction de l'augmentation de la concentration de la substance toxique, ainsi qu'une tendance à la mortalité totale observée dans les cas de fortes concentrations, notamment à 1 % et 2,5 % après 48 heures.

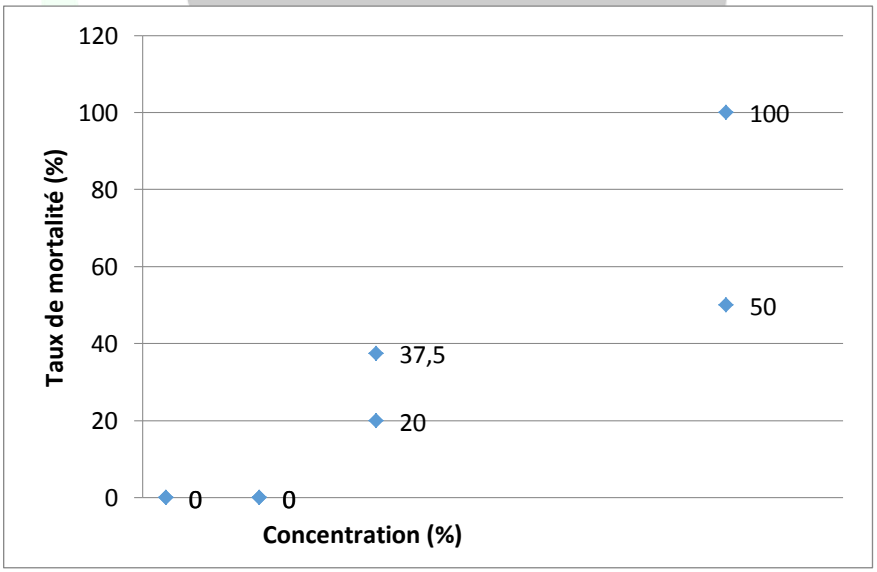


Figure 25. Impact de la Concentration sur le Taux de Mortalité des vers de terre

Ce graphique illustre une relation croissante entre la concentration (%) de l'huile essentielle de clou de girofle et le taux de mortalité (%) des vers de terre.

À 0 % et 0,5 %, le taux de mortalité est nul (0 %), indiquant l'absence de toxicité visible.

À 1 %, la mortalité atteint 20 %. À 1,5 %, elle s'élève à 37,5 %.

À 2 %, le taux de mortalité atteint 50 %. Enfin, à 2,5 %, le taux de mortalité s'établit à 100 %, indiquant une toxicité maximale.

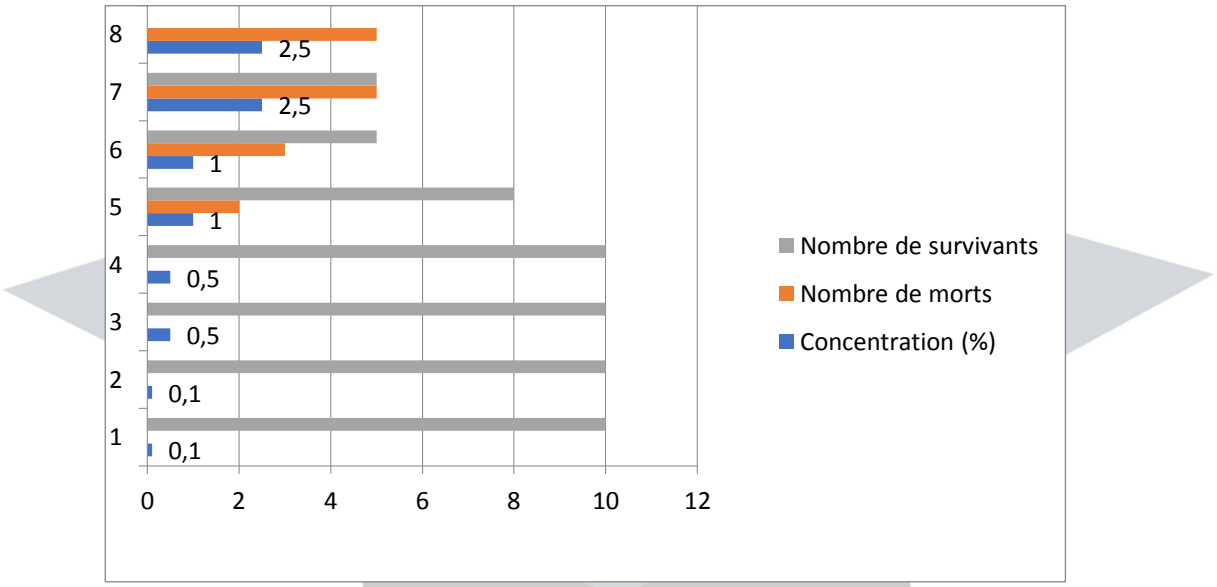


Figure 26. Analyse de la Mortalité et de la Survie des vers de terre en Fonction de la Concentration

Ce graphe présente l'analyse de la mortalité et de la survie en fonction de la concentration (%) de l'huile essentielle de clou de girofle.

À faible concentration (0,1 %, 0,5 %), le nombre de survivants est maximal (environ 10), et le nombre de morts est nul ou très faible.

À partir de 1 %, le nombre de morts commence à augmenter, tandis que le nombre de survivants diminue.

À 2,5 %, la mortalité devient très élevée : le nombre de morts dépasse nettement le nombre de survivants.

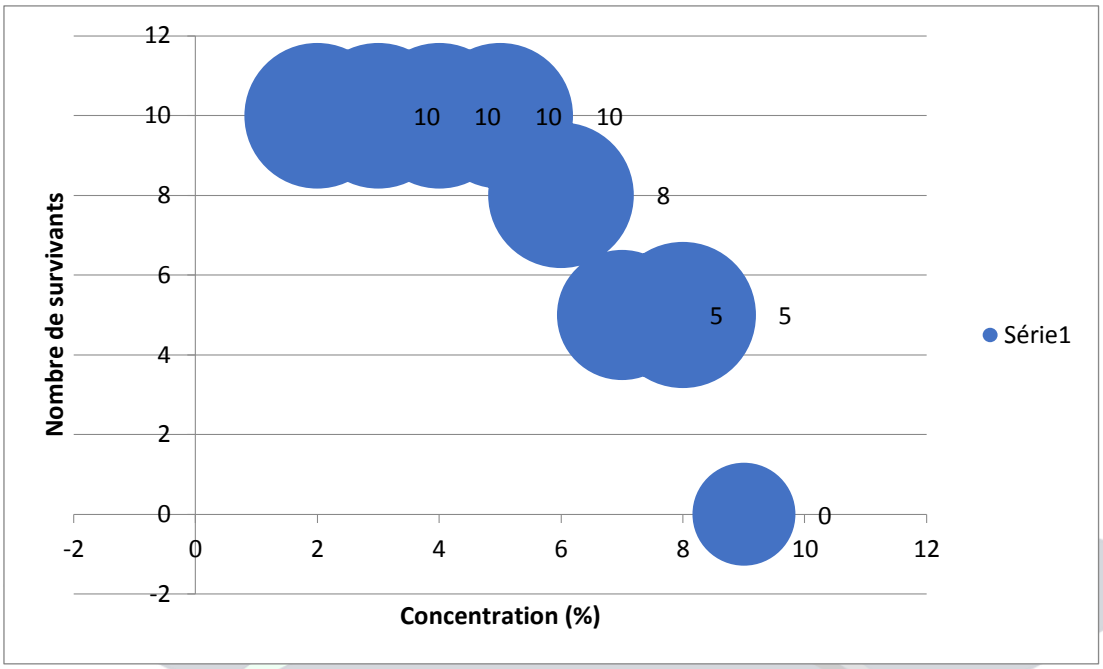


Figure 27. Effet de la Concentration sur le Nombre de Survivants et la Taille des Bulles

Chaque bulle représente une combinaison de concentration, de nombre de survivants, et de taille des bulles.

Interprétation de la courbe en bulles :

La taille des bulles produites semble également varier en fonction de la concentration. À 0,1 % et 0,5 %, la taille des bulles est de 10, ce qui suggère une réponse stable de l'environnement à ces faibles niveaux de concentration.

À 1 %, bien que le nombre de survivants soit encore élevé, la taille des bulles commence à varier (passant de 10 à 8), ce qui pourrait indiquer un stress croissant sur l'organisme.

À 2,5 %, la taille des bulles diminue abruptement à 5, en corrélation avec le nombre de survivants nul. Cela pourrait signaler une interaction négative entre la solution à forte concentration et l'environnement, entraînant une réduction des activités biologiques.

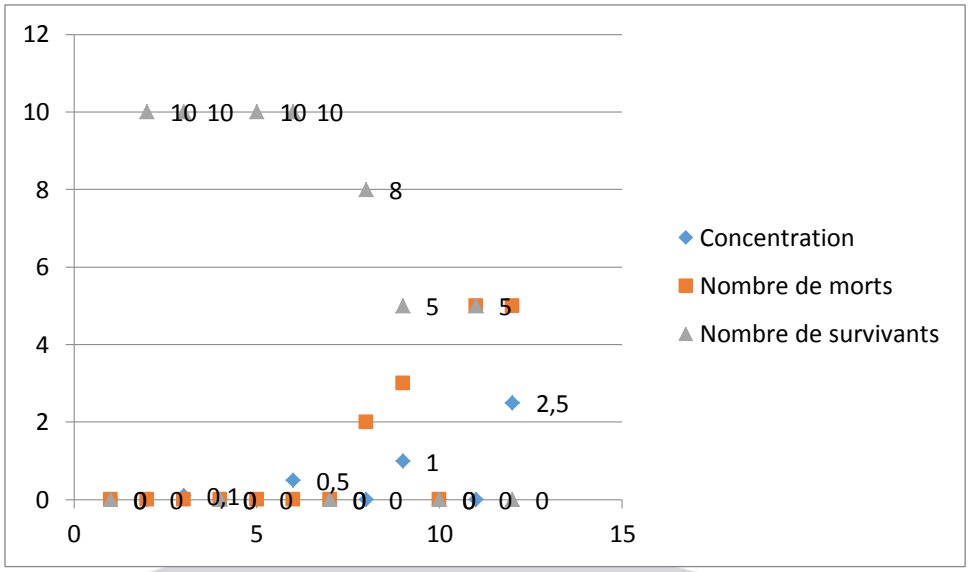


Figure 28. Comparaison des Nombre de Morts et de Survivants selon la Concentration (%)

Le graphe présente trois types de données en fonction de la concentration (%) :

- Concentration (losanges bleus),
- Nombre de morts (carrés rouges),
- Nombre de survivants (triangles verts)

Interprétation :

1. A faible concentration (0% à 0,5%) :

-Le nombre de morts est très faible, variant entre 0 et 1 individu.

-Le nombre de survivants est élevé, atteignant environ 10 individus.

Cette observation suggère que la solution n'est pas toxique à ces concentrations.

2. A partir de 1% jusqu'à 2,5% :

Le nombre de morts augmente progressivement, atteignant jusqu'à 5 individus. Parallèlement, le nombre de survivants diminue, tombant également à 5 individus. Cela indique que la toxicité commence à se manifester de manière modérée.

3. A 2,5% :

- Un changement brutal est observé :

- Le nombre de morts reste constant, autour de 5 individus.

- Cependant, le nombre de survivants chute à 0.

Cette situation indique un seuil critique à partir duquel la toxicité devient létale pour tous les organismes testés. Aucun survivant n'est observé. Les données se stabilisent ou disparaissent, suggérant que l'environnement n'est plus viable pour les organismes.

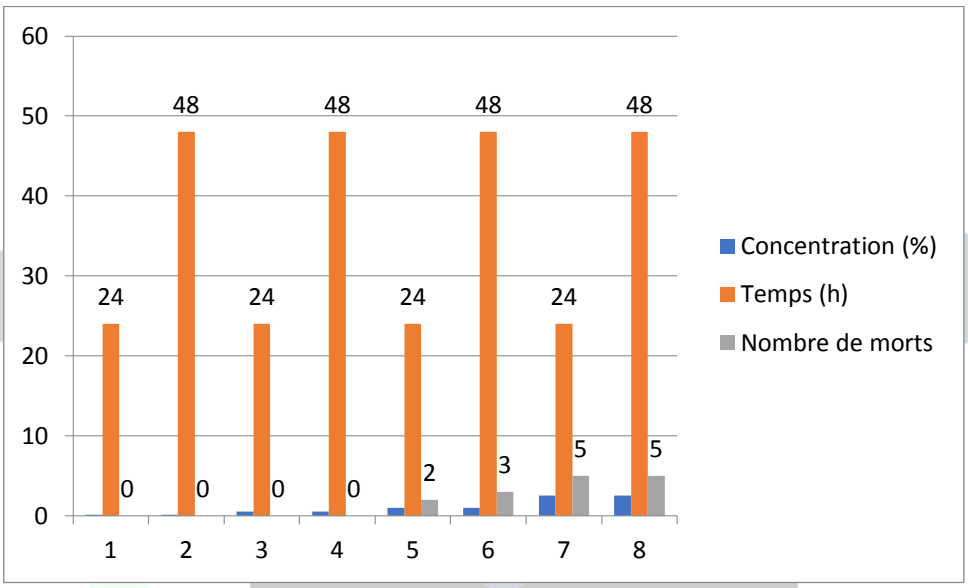


Figure 29. Évolution du Nombre de Morts et de Survivants en Fonction du Temps et de la Concentration.

Concentration de 0 % (témoin) :

À cette concentration, aucun décès n'est observé après 24 heures ou 48 heures, ce qui suggère que la substance testée n'a aucun effet toxique sur les vers de terre à cette concentration, indiquant qu'ils se comportent normalement dans un environnement sans exposition.

Concentration de 0,1 % :

Les résultats montrent également l'absence de mortalité après 24 et 48 heures, renforçant l'idée que des concentrations très faibles de la substance ne sont pas nocives pour les vers de terre. Le nombre de survivants reste constant à 10, indiquant une bonne tolérance des vers de terre à cette concentration.

Concentration de 0,5 % :

À 48 heures, aucun décès n'est enregistré, mais à 24 heures, deux individus sont morts, laissant 8 survivants. Cela suggère que cette concentration commence à avoir un effet

négatif sur la survie des vers de terre, même si le taux de mortalité reste relativement faible.

Concentration de 1 % :

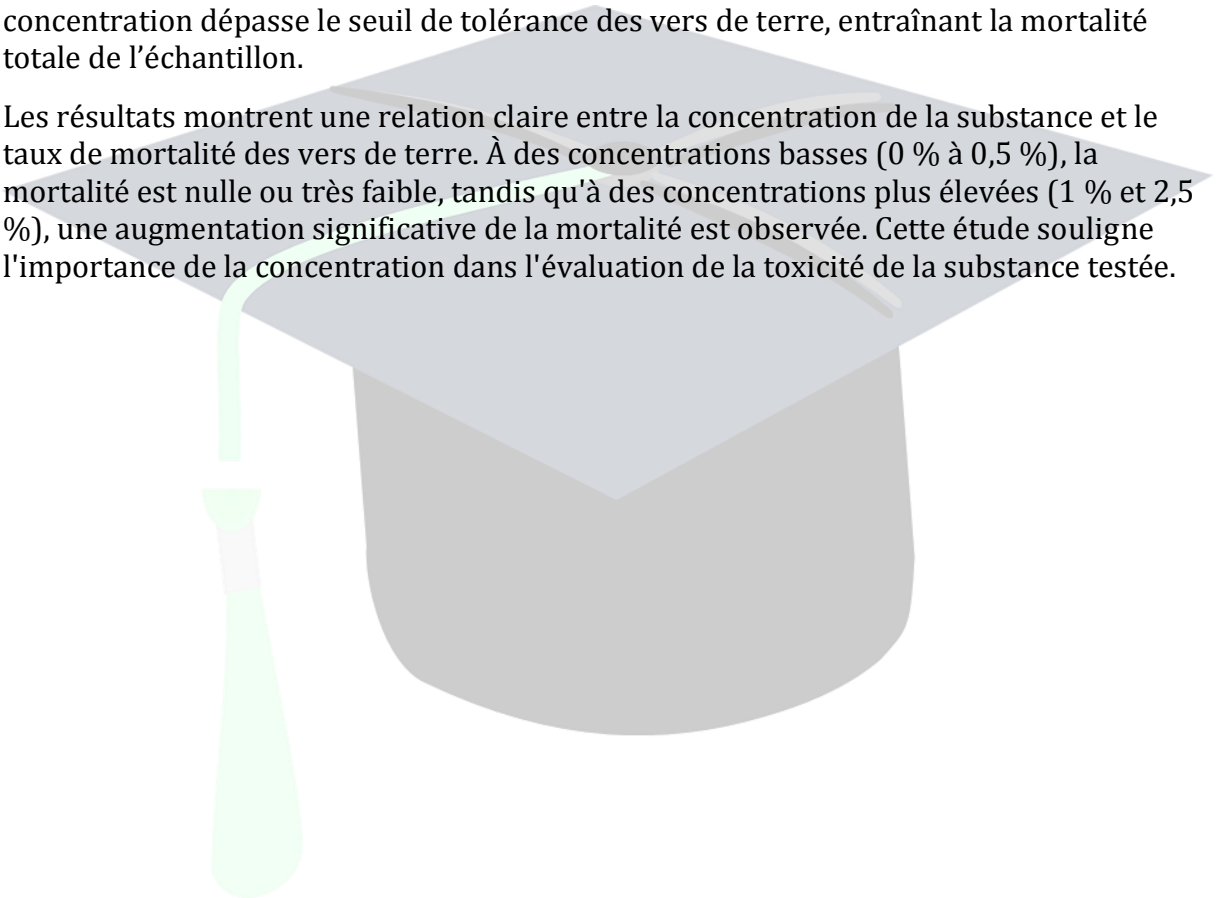
Les résultats montrent une augmentation significative du nombre de morts. Après 48 heures, trois individus sont morts, et après 24 heures, cinq individus sont décédés.

Cela indique que cette concentration commence à avoir un impact notable sur la mortalité, avec une diminution concomitante du nombre de survivants.

Concentration de 2,5 % :

À cette concentration, il est observé que cinq individus sont morts après 48 heures, avec un total de zéro survivant. Cela indique une toxicité élevée, suggérant que cette concentration dépasse le seuil de tolérance des vers de terre, entraînant la mortalité totale de l'échantillon.

Les résultats montrent une relation claire entre la concentration de la substance et le taux de mortalité des vers de terre. À des concentrations basses (0 % à 0,5 %), la mortalité est nulle ou très faible, tandis qu'à des concentrations plus élevées (1 % et 2,5 %), une augmentation significative de la mortalité est observée. Cette étude souligne l'importance de la concentration dans l'évaluation de la toxicité de la substance testée.



2.Analyse de la Dose Létale 50 (DL50) :

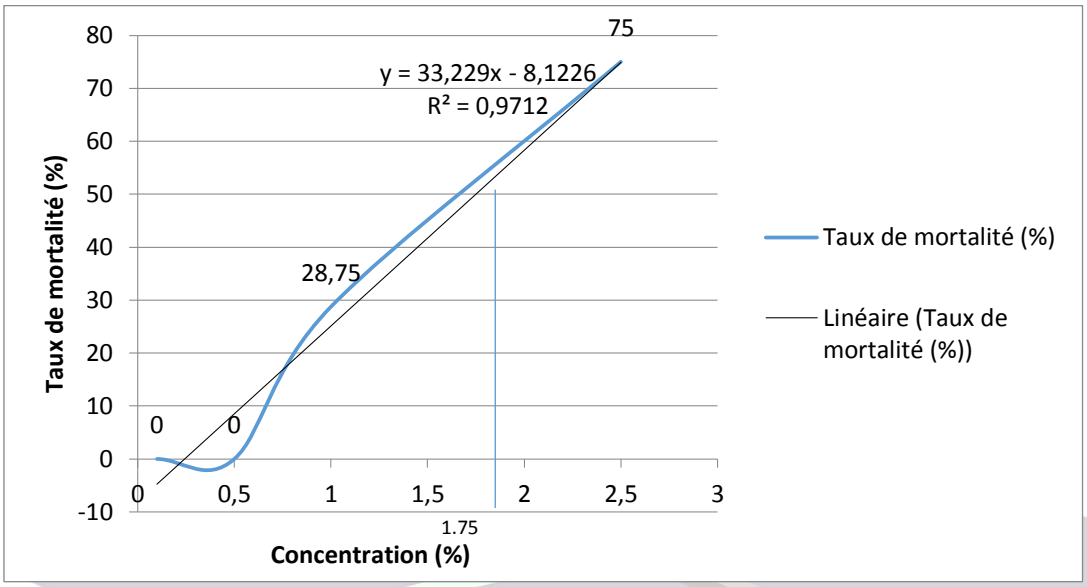


Figure 30 : Analyse de la Dose Létale 50 (DL50) par Régression Linéaire

Interprétation de (R^2)

- **(R^2 = = 0,971)** : Le coefficient de détermination (R^2) indique que **97,4%** de la variance de la variable dépendante (y) est expliquée par la variable indépendante (x). Cela signifie que le modèle de régression s'ajuste très bien aux données. Un (R^2) proche de **1** indique une relation forte entre les deux variables.
- **Relation positive** : Il existe une relation positive et significative entre la concentration (ou la variable indépendante) et le taux de mortalité (ou la variable dépendante). À chaque augmentation de 1% de la concentration, le taux de mortalité augmente en moyenne de = 33,22%.
- **Précision du modèle** : Avec un (R^2) de **0,971**, on peut conclure que la droite de régression est très efficace pour prédire les valeurs de (y) en fonction de (x).

Pour calculer le DL50 à partir de l'équation de régression on doit trouver la valeur de (x) (concentration) pour laquelle (y) (taux de mortalité) est égal à 50%.

Le DL50 est donc d'environ **1,75** (ou 1,747 arrondi).

Cela signifie qu'à une concentration d'environ 1,75%, le taux de mortalité atteint 50%.

L'analyse de la courbe de régression et du DL50 fournit des informations précieuses sur la toxicité d'une substance. Cela permet d'évaluer les risques pour la santé humaine et environnementale et d'orienter les décisions relatives à l'utilisation sécurisée de produits chimiques.

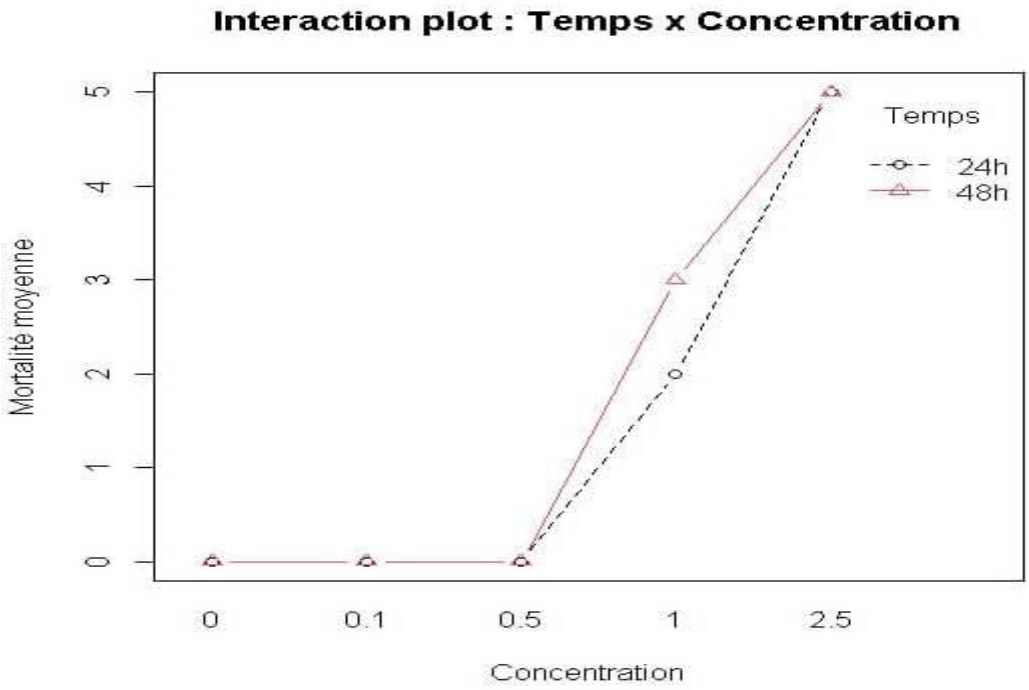


Figure 31. Effet combiné du temps d'exposition et de la concentration sur la mortalité moyenne

1. À faible concentration (0 à 0.5) : La mortalité moyenne est très faible, proche de 0 pour les deux durées (24h et 48h). Cela suggère que ces concentrations sont trop faibles pour avoir un effet notable sur la mortalité.
2. À concentration 1 : Il y a une augmentation marquée de la mortalité moyenne pour les deux temps, mais plus importante à 48h qu'à 24h. Cela montre que le temps d'exposition renforce l'effet de la concentration.
3. À concentration 2.5 : La mortalité moyenne atteint environ 3 à 5, et est encore plus élevée à 48h. Il y a une interaction entre le temps et la concentration : plus la concentration et le temps augmentent, plus la mortalité est élevée.

Discussion :

L'utilisation croissante des biopesticides dans la lutte contre les ravageurs est devenue une alternative essentielle face aux préoccupations environnementales et sanitaires posées par les pesticides chimiques. Les biopesticides, dérivés de sources naturelles, tels que les plantes, les micro-organismes et certaines substances minérales, sont souvent perçus comme étant plus respectueux de l'environnement (Isman, 2017).

Cependant, leur innocuité vis-à-vis des organismes non ciblés, tels que les vers de terre, demeure une question cruciale (Gurr et *al*., 2016).

Dans notre étude, l'huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) a été évaluée pour son impact sur les vers de terre. Les résultats indiquent qu'à des concentrations de 0,1 % et 0,5 %, aucun décès n'a été observé au cours des périodes d'observation de 24 et 48 heures, avec un taux de mortalité de 0 %. Ces résultats sont en accord avec ceux de Ghosh et *al*. (2020), qui ont également constaté que des concentrations faibles d'extraits de plantes n'avaient pas d'effets létaux sur les organismes du sol, suggérant ainsi que l'huile essentielle de clou de girofle pourrait être relativement sûre à ces niveaux de concentration.

À une concentration de 1 %, la mortalité a augmenté à 20 % après 24 heures, puis à 37,5 % après 48 heures. Ces résultats corroborent les observations de Charie (2019), qui a rapporté des taux de mortalité significatifs chez divers arthropodes exposés à des biopesticides similaires. Cela met en évidence que des concentrations modérées peuvent avoir des effets néfastes sur la survie des organismes, soulevant des préoccupations quant à l'utilisation de ces substances dans les écosystèmes. Les résultats les plus préoccupants ont été observés à la concentration de 2,5 %, où nous avons enregistré un taux de mortalité de 50 % après 24 heures, suivi d'une mortalité totale de 100 % après 48 heures. Cette tendance est similaire à celle décrite par Hossain et *al*. (2019), qui ont observé des effets létaux importants des huiles essentielles à des concentrations élevées sur divers insectes et organismes du sol. Cela souligne l'importance d'une évaluation approfondie des risques écologiques associés à l'utilisation de ces biopesticides.

Il est également pertinent de noter que la diminution du mouvement des vers de terre à des concentrations de 0,5 % et au-delà pourrait être attribuée aux propriétés antispasmodiques et relaxantes musculaires de l'eugénol, le principal composé actif du clou de girofle. Des études antérieures, telles que celles de Zhang et al. (2018), ont également mis en évidence des effets similaires sur la locomotion d'organismes du sol exposés à divers extraits de plantes, renforçant l'idée que les biopesticides, même d'origine naturelle, peuvent induire des effets néfastes sur la mobilité des organismes.

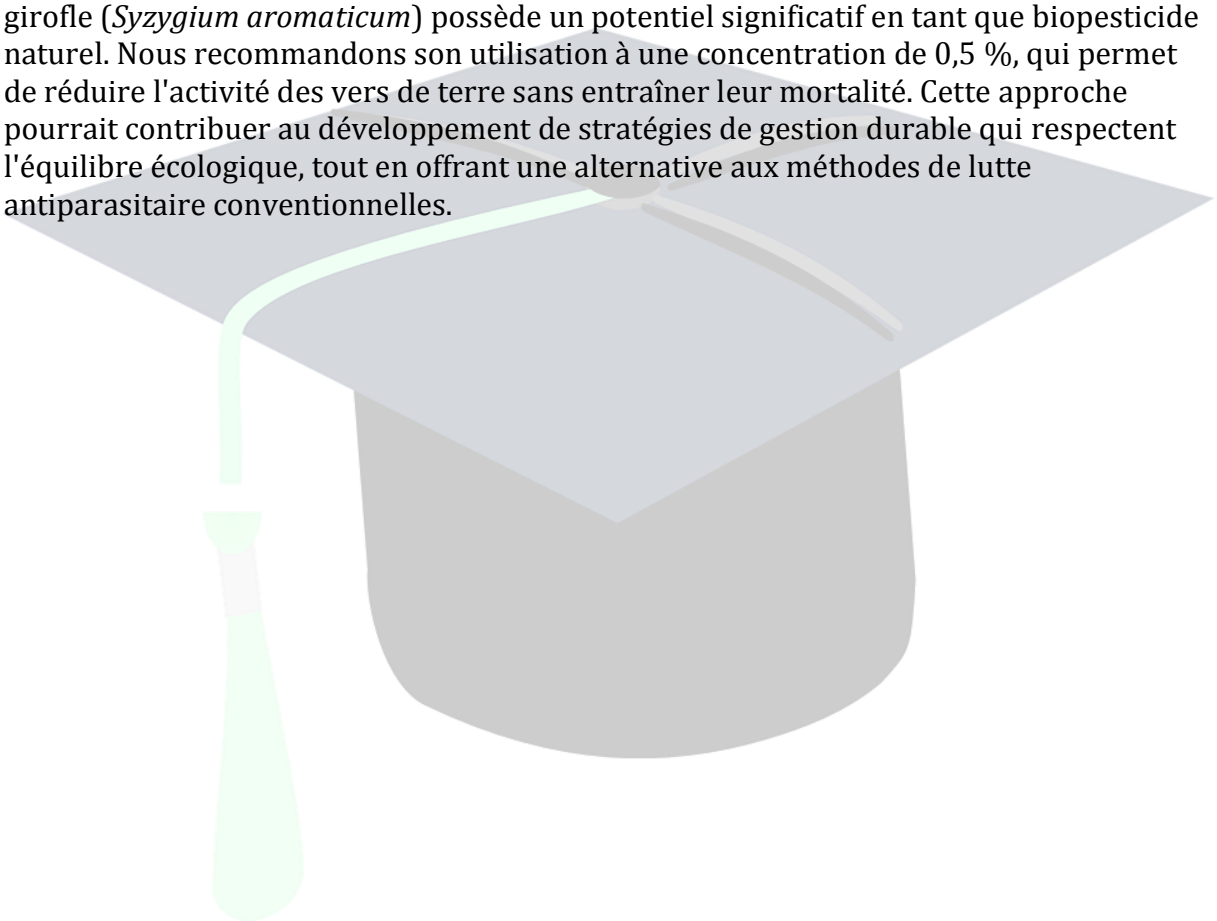
En ce qui concerne les limitations de notre étude, plusieurs facteurs méritent d'être notés. Premièrement, la méthode d'application de l'huile essentielle pourrait influencer l'absorption par les vers de terre. De plus, les conditions environnementales, telles que la température et l'humidité du sol, peuvent également affecter la toxicité des biopesticides. Il serait judicieux de prendre en compte ces facteurs lors de futures recherches.

Pour les recherches futures, il serait intéressant d'explorer les effets à long terme de l'huile essentielle de clou de girofle sur divers organismes non ciblés dans le sol. Des études complémentaires pourraient également se concentrer sur d'autres

concentrations et sur l'évaluation de l'efficacité de l'huile essentielle contre des ravageurs spécifiques, tout en analysant ses effets sur les prédateurs naturels des ravageurs.

Enfin, il est crucial d'évaluer la biodégradabilité et la sélectivité de l'huile essentielle de clou de girofle pour garantir qu'elle constitue une alternative écologique viable aux pesticides chimiques. La recherche de solutions durables dans la gestion des nuisibles est essentielle pour minimiser l'impact sur les organismes non ciblés tout en maintenant l'efficacité du contrôle des ravageurs (Pretty, 2018). Des stratégies de gestion intégrée des nuisibles, incorporant des biopesticides comme l'huile essentielle de clou de girofle, pourraient offrir une approche équilibrée et respectueuse de l'environnement.

Les tests de toxicité menés dans cette étude confirment que l'huile essentielle de clou de girofle (*Syzygium aromaticum*) possède un potentiel significatif en tant que biopesticide naturel. Nous recommandons son utilisation à une concentration de 0,5 %, qui permet de réduire l'activité des vers de terre sans entraîner leur mortalité. Cette approche pourrait contribuer au développement de stratégies de gestion durable qui respectent l'équilibre écologique, tout en offrant une alternative aux méthodes de lutte antiparasitaire conventionnelles.



Conclusion :

Les huiles essentielles représentent une ressource prometteuse et fiable, présentant un intérêt croissant dans divers domaines, notamment la thérapeutique, la cosmétologie, l'agriculture et l'agroalimentaire. Cependant, leur efficacité doit être considérée avec précaution, en particulier en ce qui concerne les dilutions appliquées dans les préparations commerciales, car elles peuvent engendrer des risques de toxicité.

Les objectifs de cette étude consistaient à évaluer l'efficacité de l'huile essentielle de clou de girofle et son impact sur les vers de terre. La méthode d'hydro-distillation employée dans cette étude pour l'extraction de l'huile essentielle s'est révélée être à la fois simple et efficace, permettant d'obtenir des résultats quantitatifs (rendement en huile essentielle de 2 %) et qualitatifs satisfaisants, conformes aux normes établies par l'AFNOR (aspect, couleur, pH, etc.). Cela valide ainsi le procédé d'extraction utilisé et souligne le potentiel de *Syzygium aromaticum* comme source naturelle d'huile essentielle.

Les résultats de cette étude mettent en évidence l'effet biologique significatif de l'huile essentielle de clou de girofle sur les vers de terre. En effet, l'exposition de ces organismes à différentes concentrations (0,1 %, 0,5 %, 1 % et 2,5 %) a permis d'observer des variations physiologiques et comportementales notables. À des concentrations de 0,1 % et 0,5 %, aucun décès n'a été enregistré, tandis qu'à 1 %, la mortalité a atteint 37,5 % après 48 heures, et à 2,5 %, une mortalité totale a été observée. Ces résultats montrent que certaines concentrations permettent d'induire un ralentissement de l'activité locomotrice sans entraîner la mortalité des vers, avec des effets allant de simples altérations de la mobilité à des perturbations plus sévères.

Cependant, il est important de noter certaines limitations de l'étude, telles que le nombre d'organismes testés et la durée de l'expérimentation, qui pourraient influencer les résultats obtenus.

Aucune recherche antérieure ne semble avoir examiné l'impact de l'huile essentielle de clou de girofle sur les vers de terre. De ce fait, notre étude se distingue par son caractère novateur et sa pertinence, contribuant ainsi à une compréhension approfondie des interactions entre cette huile et les organismes du sol.

En conclusion, cette étude ouvre des perspectives intéressantes pour des recherches futures. Il serait pertinent d'approfondir l'investigation des effets subletaux de l'huile essentielle de clou de girofle sur divers organismes du sol, d'optimiser les concentrations testées et d'explorer les mécanismes biologiques à l'origine de la diminution de la motricité observée. Ces travaux pourraient contribuer à établir une utilisation sûre et efficace des huiles essentielles dans des applications écologiques et durables...

Références bibliographiques:

Abbott; A 1925. Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide, Journal of Economic Entomology, Volume 18, Issue 2, 1 April, 265–267.

Achour, M. (2014) Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride: Cas de la vallée du M'zab (Ghardaia-Algérie). Magister. Département des Sciences de la Terre, Université d'Oran, Es Senia, 15p.

BACHELIER, G. (1963). La vie animale dans le sol. ORSTOM, PARIS, 273P .

Bachelier, G (1978). LA FAUNE DES SOLS, SON ECOLOGIE ET SON ACTION. INITIAL DOCUMENT. TECH., O.R.S.T.O.M.; FRA; DA. 1978; NO 38; 391 P.; H.T. 4; BIBL. 57 P.

Barbelet, S. (2015) Le Giroflier: Historique, Description et Utilisations de La Plante et de Son Huile Essentielle. Thèse de Doctorat, Université De Lorraine, Faculté De Pharmacie, 144p.

Bazri, K. (2015). Etude de la biodiversité des lombriciens et leurs relations avec les propriétés du sol dans différents étages bioclimatiques, dans l'est algérien. *Thèse doctorat*, 188.

Bennazeddine S, (2010). Effet insecticide de cinq huiles essentielles vis- à - vis de Sitophylus oryzae (*Coleoptera; Curculionidae*) et Tribolium confusum (Coleoptera; Tenebrionidae), Ecole nationale supérieure agronomique, El-Harrach d'Alger, 89p.

Blanchart, E. (2006). Long-term effect of a legume cover crop (Mucuna pruriens var. utilis) on the communities of soil macrofauna and nematofauna. European Journal of soil Biology, Volume 42, supplement 1, 136-144.

Bouché, M. B. 1977, Strategies lombriciennes. In: U. Lohm and T. Persson. (eds.), Soil Organisms as Components of Ecosystems. *Ecological Bulletins (Stockholm),* 25 :122-132.

Brown and Doube, (2004). Ecological stratification of earthworms, 4th Edition, published by Brooks /Cole,1272p.

Buch, V., & Devlin, J. P. 1991, J. Chem. Phys., in press. Spectra of dangling OH bonds in amorphous ice : Assignment to 2- and 3-coordinated surface molecules, 94, 4091–4092.

Chavanne A. (1986). Les résultats de l'audiosurveillance comme preuve pénale. Revue international de droit comparé. Vol. 38 N (2); 749- 755.

Chabalier P.-F., Van de Kerchove V., Saint-Macary H., (2006). « Guide de la fertilisation organique à la Réunion ». CIRAD, Chambre d'Agriculture de la Réunion, 302 p.

Chanseau M., Bosc S., Galiay E et Oules G. (2002) L'utilisation De L'huile De Clou De Girofle Comme Anesthésiques Pour Les Smolts De Saumon Atlantique (Salmo Salar L) ; 579- 589.

Charie, T. (2019). Se soigner par les huiles essentielles. Éditions du Rocher, 526p.

Twardowska, I. (2004). Ecotoxicology, environmental safety, and sustainable development-challenges of the third millenium. Ecotoxicology and Environmental Safety, 58(1), 3-6.

Davet, P. and Rouxel, F. (1997) Détection et isolement des champignons du sol. INRA, 203p.

Désiré, Ch et Villeneuve, F. (1960). Science Naturelles, Baccalauréats, 2e Partie. Edité par Bordas, 263p.

DOMÍNGUEZ, J., AIRA, M., &AMP ; BRANDÓN, M. G. (2009). El papel de la lombrice de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. Revue Ecosistemas, 18(2) ; 20-31.

Dupont et Guignard, 2012. Botanique: les familles de plantes, 15e édition, 300p.

Edwards et Bohlen, (1995). Biology and Ecology of Earthworms, Volume 3, 426p.

François, H. Lallier. (1998). Professeur de biologie, Station Biologique de Roscoff, Sorbonne Université. Volume 45, Issues 1–3 ,January, 383-422.

Fujisawa S., Atsumi T., Kadoma Y. et Sakagami H. (2002). Antioxidant and prooxidant action of eugenol-relatedcompounds and theircytotoxicity. Toxicology, volume 177, 39-54.

Gauer, M. (2007). Biologie animale. Université Louis Pasteur, Strasbourg. 68 p.

Ghedira, K., Goetz, P., Le Jeune, R., (2010). Grindélia : Grindelia squarrosa (Pursh) Dunal (Asteraceae), 8(5) ; 314-318.

Ghosh, A., Bhandari, S., Sundaram, S., Mallick, T.K., 2020. Carbon counter electrode mesoscopic ambient processed & characterized perovskite for adaptive BIPV fenestration. Renew. Energy 145, 2151–2158.

Gurr, G. M., Wratten, S. D., Landis, D. A., & You, M. (2016). Habitat management to suppress pest populations : progress and prospects. Annual Review of Entomology, 62, 91–109.

Gutiérrez, K. (2006). White innocence : A framework and methodology for rethinking educational discourse. International Journal of Learning, 12, 1-11.

Herger, P. (1968). Eine weisse Larve des Feuersalamanders dans le Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles, volume 58, 78p.

Hossain, A., Abser, N., Samanta, A. K., & Dilruba, F. A. (2019). Comparison of two models of surface display of xylose reductase in the Saccharomyces cerevisiae cell wall. Enzyme and Microbial Technologiy, 123, 8-14.

Isman, (2017). Standpipe Systems for Fire Protection, 385p.

König, I. (2007). Die Spätantike. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 144p.

Lavelle, P., Spain, A. V. 2001. Soil Ecology. – Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London, 654 p.

Lee, K.G. and Shibamoto, T. (2001) Antioxidant Property of Aroma Extract Isolated from Clove Buds [Syzygium aromaticum (L.)]. Food Chemistry, 74, 443-448.

Mahboub R. (2014). Plantes médicinales de Méditerranée et d'Orient, 144p.

Mahomoodally, MF., Protab, K et Aumeeruddy,MZ, MZ . (2019). Medicinal plants brought by Indian indentured immigrants : A comparative review of ethnopharmacological uses between Mauritius and India. Journal of Ethnopharmacology. Volume 234, 245-289.

Martin, M. (2011) Cutadapt Removes Adapter Sequences from High-Throughput Sequencing Reads, 17, 10-12.

Max W. et Robert A. (2003) Plantes thérapeutiques. Lavoisier, Editions médicales internationales -Lavoisier, 119-120.

Memmou, F. (2009). Synthèses et applications des oxophosphonates en chimie organique, 39p.

Mohamed LA, et al. (2015) Yeast cell-based analysis of human lactate dehydrogenase isoforms. *J Biochem* 158(6),467-476.

Morin, P (1999). Community Ecology. Blackwell Science, New Brunswick, New Jersey, 424p.

Pesson. P, Louveaux. Pollinisation et productions végétales. INRA Editions, 640 p.

Paul, S et Ferdinand P. (2005) Guide des plantes médicinales (Analyse, Description et Utilisation de 400 plantes), 339p.

Pelosi, N (2008). Know Your Power: A Message to America's Daughters, 192p.

Pfiffner, L. (2023). Vers de terre architectes des sols fertiles (N°1619). FiBL, Suisse, 12p.

Pfiffner, L. J., Mikami, A. Y., Huang-Pollock, C., Easterlin, B., Zalecki, C., & McBurnett, K. (2007). A randomized controlled trial of integrated home–school behavioral treatment for ADHD, predominantly inattentive type. Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 46, 1041–1050.

Pfiffner, L. J., Villodas, M., Kaiser, N., Rooney, M., & McBurnett, K. (2013). Educational outcomes of a collaborative school–home behavioral intervention for ADHD. *School Psychology Quarterly, 28*(1), 25–36.

Quitterie, C du Ranquet. (2019). Propriétés thérapeutiques de l'huile essentielle de clou de girofle (Syzygium aromaticum), Université de Limoges, thèse de doctorat.

Raja M., Srinivasan V., Selvaraf S. et Mahapatra S. (2015) Eugenol : Aversatrlephytomedicine. Journal of pharmacy and pharmaceutical sciences,35-40.

Razafindrakoto S.D. (2013). *Etude des interactions plante-vers de terre (Dichogaster saleins) dans les cultures de riz et de l'éleusine.* Antsirabe: ASJA, 52 p.

Royal Botanic Gardens, Kew. (2023). Syzygium aromaticum (L.) Merr. & L.M. Perry. In Plants of the World Online. Retrieved from https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:601900-1

Sarabar. (N.d.). Clous de girofle. https://sarabar.fr/epices/40-clous-de-girofle.html

Saurel et *al*., 2010. La vie cachée des sols : L'élément essentiel d'une gestion durable et écologique des milieux. Programme GESSOL, France 10 p.

Stamford F., Tavares A., Jacobs S., Capasso F., Mascolo N., Autore G. et Romano V. (1988) The biological activity of eugenol, a major constituent of nutmeg (Myristicafragrans) : Studies on prostaglandins, volume 2, 124-130.

SWABY. R.J. (1950). Earthworm research in the European Journal of Soil Science, 195-196.

Teuscher, E., Anton, R. and Lobstein, A. (2005) Plantes aromatiques: Épices, aromates, condiments et leurs huiles essentielles. Tec & Doc., Paris, 285-289.

Tremblay, D. (2014). Infirmières : vocation, engagement et parcours de vie, éditions du remue-ménage à Montréal, 156p.

Usta R. et Copti R. (2000). Effect of cinnamon, clove and some of their constituents on the ATPase activity and alanine absorption, édition Food and Chemical Toxicology, 93 p.

Vigot, M., & Cluzeau, D. (2014). Les vers de terre (Guide pratique). Chambre Régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes, en collaboration avec la Chambre d'Agriculture de la Vienne et l'Observatoire Participatif des Vers de Terre (Université de Rennes), la chambre d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine, 20p.

Zhang, Y., Zhang, Z., & Ge, W. (2018). An Efficient Platform for Generating Somatic Point Mutations with Germline Transmission in the Zebrafish by CRISPR/Cas9-mediated Gene Editing. The Journal of Biological Chemistry, 293(17), 6611–6622.

Futura Sciences. (2019, 25 octobre). Science décalée : la première carte mondiale des vers de terre. Futura. https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/animaux-science-decalee-premiere-carte-mondiale-vers-terre-78177/